

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ТИХООКЕАНСКИЙ ИНСТИТУТ
ДИСТАНЦИОННОГО ОБРАЗОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЙ**



З. М. Карабцова

ГЕОДЕЗИЯ

**ВЛАДИВОСТОК
2002**

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ.....	4
Введение.....	6
МОДУЛЬ I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ГЕОДЕЗИИ.....	7
Глава I. ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗИИ. ЗНАЧЕНИЕ ГЕОДЕЗИИ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ОБОРОНЕ СТРАНЫ. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ.....	7
§ 1. Предмет геодезии.....	7
§ 2. Значение геодезии в народном хозяйстве и обороне страны.....	7
§ 3. Процессы производства геодезических работ.....	8
§ 4. Исторический очерк развития геодезии.....	8
§ 5. Современное развитие геодезии.....	10
Глава II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ОБЩЕЙ ФИГУРЫ ЗЕМЛИ.....	11
§ 6. Общая фигура и размеры Земли.....	11
§ 7. Метод проекций. Географические координаты.....	11
§ 8. Изображение земной поверхности на сфере и на плоскости.....	13
Глава III. ПЛАН И КАРТА.....	14
§ 9. План местности. Профиль.....	14
§ 10. Масштаб плана. Численный, линейный и поперечный масштабы. Точность масштаба.....	15
§ 11. Влияние кривизны Земли на горизонтальные и вертикальные расстояния.....	17
§ 12. Понятие о карте. Различие между картой и планом.....	19
§ 13. Номенклатура карт и планов.....	20
§ 14. Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция.....	22
§ 15. Плоские прямоугольные координаты.....	24
§ 16. Прямая и обратная геодезические задачи.....	27
Глава IV. ОРИЕНТИРОВАНИЕ.....	29
§ 17. Ориентирование линий.....	29
§ 18. Связь между магнитными и истинными азимутами.....	32
§ 19. Сближение меридианов.....	33
Глава V. РЕЛЬЕФ МЕСТНОСТИ И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ.....	35
§ 20. Методы изображения рельефа на планах и картах.....	35
§ 21. Изображение геометрических форм горизонталями.....	35
§ 21. Элементы рельефа земной поверхности.....	37
§ 22. Определение по горизонталям форм рельефа.....	39
§ 23. Свойства горизонталей.....	40
Глава VI. ПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНом И КАРТОЙ.....	42
§ 24. Приборы, используемые при работе с планом и картой.....	42
§ 25. Ориентирование плана или карты.....	47
§ 26. Определение направления линии, заданной на плане или на карте.....	49
§ 27. Нанесение линий на план или карту по заданным направлениям.....	50
§ 28. Чтение рельефа.....	51
§ 29. Бассейн и его границы.....	52
§ 30. Определение по горизонталям отметок точек, уклона линии, направления и крутизны ската.....	53
§ 31. Масштабы заложений.....	54
§ 32. Построение по горизонталям профиля местности и проектирование линии заданного уклона.....	56
Глава VII. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ И ПЛАНАМ.....	58
§ 33. ГРАДУСНАЯ И КИЛОМЕТРОВАЯ СЕТКИ КАРТЫ. ЗАРАМОЧНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ.....	58
§ 34. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК НА КАРТЕ.....	59
§ 35. ОРИЕНТИРОВАНИЕ КАРТЫ ПО КОМПАСУ.....	59
§ 36. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОГО И МАГНИТНОГО АЗИМУТОВ И ДИРЕКЦИОННОГО УГЛА НАПРАВЛЕНИЯ ПО КАРТЕ.....	60
§ 37. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ПЛАНу ИЛИ КАРТЕ С ГОРИЗОНТАЛЯМИ.....	60
§ 38. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПО ПЛАНу ИЛИ КАРТЕ.....	65
§ 39. МЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ.....	69
Модуль III.....	Ошибка! Закладка не определена.
Глава VIII. СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	75
§ 40. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ.....	75
§ 41. ПОНЯТИЕ ОБ ОПОРНЫХ СЕТЯХ.....	75
§ 42. КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ СЕТЕЙ.....	75
§ 43. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ.....	76

§ 44. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ СГУЩЕНИЯ И СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ	78	
§ 45. ЗАКРЕПЛЕНИЕ И ОБОЗНАЧЕНИЕ НА МЕСТНОСТИ ПУНКТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ		79
§ 46. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЪЕМКАХ МЕСТНОСТИ	81	
§ 47. ВЫБОР МАСШТАБА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК И ВЫСОТЫ СЕЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА	83	

Введение

Геодезия или топография является базовой дисциплиной для студентов специальности прикладная геодезия, география, метеорология, гидрология, океанология. Целью ее изучения является получения студентами знаний и навыков позволяющим им в конечном итоге выполнить весь комплекс топографических и съемочных работ.

Учебник составлен на основе курса лекций , читаемых автором для студентов вышеперечисленных специальностей.

Учебный материал составлен по принципу изложения от общего к частному.

Большое внимание уделено разделам по изучению координат применяемых в геодезии, рельефу местности , работе с картами , а также современным геодезическим приборам.

По каждому разделу составлено определенное количество тестов, способствующих усвоению и проверки качества знаний студентов.

Для приобретения практических навыков при работе с геодезическими приборами студенту необходимо отработать определенное количество часов на кафедре под руководством преподавателя.

Список литературы.

1. Поклад Г.Г Геодезия М., Недра, 1988г.
2. Кудрицкий Д.М. Геодезия Л., Гидрометеиздат,1982г.
3. Геодезия. Под ред. В.П. Савиных и В.Р. Яценко М., Недра,1991г.
4. Прикладная геодезия. Под ред. Г.П. Левчука М., Недра, 1981
5. Геодезия. Топографические съемки. Справочное пособие. Под. Ред. В.П. Савиных и В.Р. Яценко М., Недра, 1991г.
6. Визгин А.А. и др. Практикум по инженерной геодезии М., Недра,1989г.

МОДУЛЬ I. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ И ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ГЕОДЕЗИИ

Глава I. ПРЕДМЕТ ГЕОДЕЗИИ. ЗНАЧЕНИЕ ГЕОДЕЗИИ В НАРОДНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ОБОРОНЕ СТРАНЫ. ИСТОРИЧЕСКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИИ

§ 1. Предмет геодезии

Геодезия—наука о производстве измерений на местности, определении фигуры и размеров Земли и изображении земной поверхности в виде планов и карт.

«Геодезия» — слово греческое и в переводе на русский язык означает «землеразделение».

Название предмета показывает, что геодезия как наука возникла из практических потребностей человека. Задача определения фигуры и размеров Земли составляет предмет высшей геодезии. Вопросы, связанные с изображением небольших частей земной поверхности в виде планов, составляют предмет геодезии или топографии. Изучение методов и процессов создания сплошных изображений значительных территорий земной поверхности в виде карт относится к картографии.

С развитием фотографии и особенно авиации стали широко применять для создания планов и карт фотоснимки земной поверхности. Вопросы, относящиеся к получению планов и карт путем фотографирования местности с земли, составляют предмет наземной фототопографии, с воздуха - аэрофототопографии.

Геодезия развивается в тесной связи с другими научными дисциплинами. Огромное влияние на развитие геодезии оказывают математика, физика, астрономия. Математика вооружает геодезию средствами анализа и методами обработки результатов измерений. На основе физики рассчитывают оптические приборы и инструменты для геодезических измерений. Астрономия обеспечивает необходимые в геодезии исходные данные.

Тесную связь геодезия имеет также с географией, геологией и в особенности с геоморфологией. Знание географии обеспечивает правильную трактовку элементов ландшафта, который составляют: рельеф, естественный покров земной поверхности (растительность, почвы, моря, озера, реки и т. д.) и результаты деятельности людей (населенные пункты, дороги, средства связи, предприятия и т. д.). Формы рельефа и закономерности их изменения познаются при помощи геологии и геоморфологии.

Применение фотоснимков в геодезии требует знания фотографии. Для графического оформления планов и карт необходимо изучение приемов топографического черчения.

§ 2. Значение геодезии в народном хозяйстве и обороне страны

Геодезия имеет большое практическое значение в разнообразных отраслях народного хозяйства страны. Геодезические измерения нужны при трассировании дорог, каналов, подземных сооружений (метро, трубопроводов, кабельных линий и т. д.), воздушных сетей (линий электропередач, связи и т. п.), при разведках месторождений полезных ископаемых (угля, нефти, торфа и т. п.). Съёмка территорий, перенесение в натуру проектов зданий и сооружений, различные измерения на отдельных стадиях строительства и, наконец, определение деформаций и сдвигов сооружений в процессе их эксплуатации осуществляются при помощи геодезии.

Геодезические работы ведутся при планировке, озеленении и благоустройстве городов и рабочих поселков. Организация и землеустройство колхозов и совхозов, осушение и орошение земель, лесоустройство требуют применения геодезии.

Велика роль геодезии в деле обороны страны. «Карта - глаза армии». Карта используется для изучения местности, для отражения на ней боевой обстановки, для разработки боевых операций и т. д. Наряду с широким использованием готовой геодезической продукции — планов и карт - в современной боевой обстановке нельзя обойтись и без геодезических измерений.

От инженера-строителя современные условия требуют разносторонней геодезической подготовки. Инженерное проектирование выполняется по картам. Чтобы умело пользоваться картой, надо знать ее свойства и научиться читать карту. В процессе проектирования может оказаться

необходимым изучить местность более детально, чем это позволяет сделать имеющаяся карта. В этих случаях надо уметь произвести съемку местности для получения плана с достаточными подробностями, т. е. необходимо знать топографию. Высокое развитие авиации и аэрофотосъемки дает возможность широко применять новые методы проектирования инженерных сооружений, основанные на использовании аэрофотосъемочных материалов; овладение этими методами требует знаний по аэрофототопографии. Наконец, при осуществлении проекта инженер должен уметь производить геодезические работы, необходимые для перенесения проекта инженерных сооружений на местность.

§ 3. Процессы производства геодезических работ

Геодезические работы разделяются на полевые и камеральные.

Главное содержание полевых работ составляет процесс измерений, камеральных - вычислительный и графический процессы.

1. Измерительный процесс состоит из измерений на местности, выполняемых для получения планов и карт или для специальных целей, например, прокладки трасс, разбивки сооружений.

Объектами геодезических измерений являются: углы - горизонтальные и вертикальные и расстояния - наклонные, горизонтальные и вертикальные. Для производства этих измерений применяются геодезические инструменты и приборы. К ним относятся:

- а) приборы для измерения линий (мерные ленты, проволоки, рулетки, дальномеры и т. д.);
- б) угломерные инструменты (гониометры, буссоли, теодолиты);
- в) приборы для измерения вертикальных расстояний (нивелиры, рейки и т. д.).

Результаты измерений заносят в соответствующие журналы по образцам, принятым на производстве. Очень часто при этом составляют на местности схематические чертежи, называемые абрисами.

2. Вычислительный процесс заключается в математической обработке числовых результатов измерений.

Геодезические вычисления производятся по определенным схемам. Удачно составленные схемы позволяют вести вычисления в определенной последовательности, быстро находить требуемые результаты и своевременно контролировать правильность вычислений. Для облегчения вычислительного труда применяются, различные вспомогательные средства: таблицы, графики, номограммы, счетные линейки, счеты и вычислительные машины.

3. Графический процесс заключается в выражении результатов измерений и вычислений в виде чертежа с соблюдением установленных условных знаков. В геодезии чертеж служит не иллюстрацией, прилагаемой к какому-либо документу, а продукцией производства геодезических работ, на основании которой в дальнейшем производятся расчеты и проектирование. Такой чертеж должен составляться по проверенным и точным данным и обладать высоким качеством графического исполнения.

§ 4. Исторический очерк развития геодезии

Геодезия возникла в глубокой древности. Дошедшие до нас памятники свидетельствуют о том, что за много веков до нашей эры в Египте и Китае имелось представление о том, как в различных случаях измерять земельные участки. Приемы измерения земли были известны и в древней Греции, где они получили теоретическое обоснование и положили начало геометрии, что в переводе с греческого означает земле измерение. Геодезия и геометрия долго взаимно дополняли и развивали одна другую. Геодезия как наука складывалась и развивалась тысячелетиями.

Потребность в измерении Земли возникла на Руси еще в очень отдаленные времена. В Государственном Эрмитаже (в Ленинграде) хранится камень, на котором высечена надпись: «В лето 6576 Глеб князь мерил морем по льду от Тмуторокана до Корчева 11 тысяч сажень». Это означает, что в 1068 г., т. е. в XI веке, было измерено расстояние между городами Таманью и Керчью через Керченский пролив по льду. В старейшем русском законодательном памятнике XII века «Русская Правда» содержатся постановления о межах, т. е. о границах земельных владений. Позже, в XV веке, описания земель и границ владений сопровождалась измерениями. Работы по описанию земель продолжались и в последующие века, а в XVIII и XIX веках производилось сплошное генеральное межевание земель.

Измерения земной поверхности производились не только в интересах землевладения и земельного обложения налогами, но и для строительных и военных целей. На западных и восточных рубежах нашей родины сохранились остатки оборонительных сооружений, свидетельствующие о таланте и самобытности мастерства древних русских строителей. Русская землеизмерительная техника развивалась также под влиянием потребности государства в географической карте. Карта Московского государства «Большой Чертеж» была первой русской картой. Время составления ее точно неизвестно. Изготовленная в одном экземпляре, она несколько раз пополнялась и исправлялась, а в 1627 г. за ветхостью была вычерчена заново. Первая карта Сибири была составлена в 1667 г. при тобольском воеводе П. И. Годунове. На этой карте была изображена территория от Уральского хребта до Тихого океана. В 1697 г. подробная карта Сибири была составлена сибирским «летописцем» С. Е. Ремезовым. Карта размером около 2х3 м исполнена на холсте. «Большой Чертеж» и карты Сибири являются главнейшими картографическими работами, выполненными в России в допетровскую эпоху.

Картографические произведения допетровской эпохи еще не имели строгой научной основы.

Новые экономические условия и политическая обстановка, сложившиеся при Петре I (1672—1725 гг.), предъявили новые требования к карте. Понадобились более совершенные карты в связи с развитием торговли, мореплавания, усилением обороны страны и развитием строительства заводов и фабрик для снабжения армии.

Первые топографические съемки в России были начаты в 1696 г. на реке Дону, а в 1715 г.—на реке Иртыше. В 1718—1722 гг. геодезисты И. М. Евреинов и Ф. Ф. Лужин выполнили топографические и географические работы на Камчатке и на Курильских островах. В 1720 г. «для сочинения ландкарт», т. е. для топографических съемок, геодезисты были направлены в шесть губерний.

В 1739 г. был учрежден Географический департамент Академии наук, объединивший картографические работы в стране. В период с 1757 по 1763 г. во главе Географического департамента стоял Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765 гг.). Деятельность Географического департамента за этот период была очень плодотворна.

Первоначальной основой для карт служили астрономические пункты, положение каждого из которых на земной поверхности определялось широтой и долготой, полученными из астрономических измерений. Позже для той же цели стали применять более совершенную основу, получаемую при помощи геодезических измерений и называемую геодезической опорной сетью.

К концу XVIII века в России было определено 67 астрономических пунктов. Это было большим достижением для того времени. Ни одно государство Западной Европы не имело тогда такого числа астрономических пунктов.

Первые геодезические опорные сети были проложены в Виленской губернии и в Прибалтийском крае. Они создавались методом триангуляции, т. е. построением рядов смежных треугольников, вершины которых служили опорными точками. Высокая научная постановка таких работ в России принадлежит знаменитому русскому астроному и геодезисту, основателю и первому директору Пулковской астрономической обсерватории Василию Яковлевичу Струве (1793—1864 гг.).

Со времени организации в России Корпуса военных топографов, т. е. с 1822 г., съемочные работы получили быстрое развитие, причем они, как правило, выполнялись на основе триангуляции. Работы по прокладке триангуляции производились, помимо Корпуса военных топографов, и другими ведомствами: Горным - в Донбассе, Межевым - на Кавказе, Переселенческим управлением - в некоторых районах Сибири, Гидрографическим — по берегам морей, но результаты этих работ имели лишь местное значение и не были согласованы между собой.

С XVIII века в России народу со съемками для картографических целей стали развиваться и совершенствоваться специальные съемки: межевые, лесные, гидрографические, путей сообщения и др. С развитием водных путей сообщения начали производить съемочные и гидрографические работы по изучению берегов Азовского, Черного, Балтийского, Каспийского и Белого морей. Были начаты работы по строительству водных систем и регулированию рек. До XVIII века основными средствами сообщения в России были реки в их естественном состоянии, а также сеть трактов и гужевых дорог. В XVIII веке началось строительство шоссейных дорог, а в XIX - железных дорог с паровой тягой, переустройство старых портов и строительство новых. Все это способствовало дальнейшему росту и развитию инженерных применений геодезии. В конце XIX века вдоль дорог стали производить точное нивелирование, для закрепления которого закладывались на станционных зданиях и в стенах капитальных сооружений постоянные знаки - марки и реперы. Координаты

опорных точек и высоты марок над уровнем моря с описанием их расположения опубликовывались в виде каталогов.

§ 5. Современное развитие геодезии

В последние десятилетия стремительный технический прогресс и внедрение новой вычислительной техники привели к появлению новых методов и технологий в обработке результатов геодезических измерений. Появились новые направления в картографировании и создании карт. Сегодня геодезия – это, по большей части, спутниковая геодезия, основанная на системах GPS (США) и ГЛОНАСС (РОССИЯ). Трудно представить современную геодезию без тесного взаимодействия с аэрокосмическим зондированием, геоинформатикой. Электронные карты и атласы, трехмерные картографические модели и другие геоизображения стали привычными средствами исследования для геодезистов и других специалистов в науках о Земле.

Глава II. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНО ОБЩЕЙ ФИГУРЫ ЗЕМЛИ

§ 6. Общая фигура и размеры Земли

Положение точек земной поверхности обычно определяют относительно общей фигуры Земли. Под общей фигурой Земли в геодезии понимают фигуру, ограниченную мысленно продолженной поверхностью океанов, находящихся в спокойном состоянии. Такая замкнутая

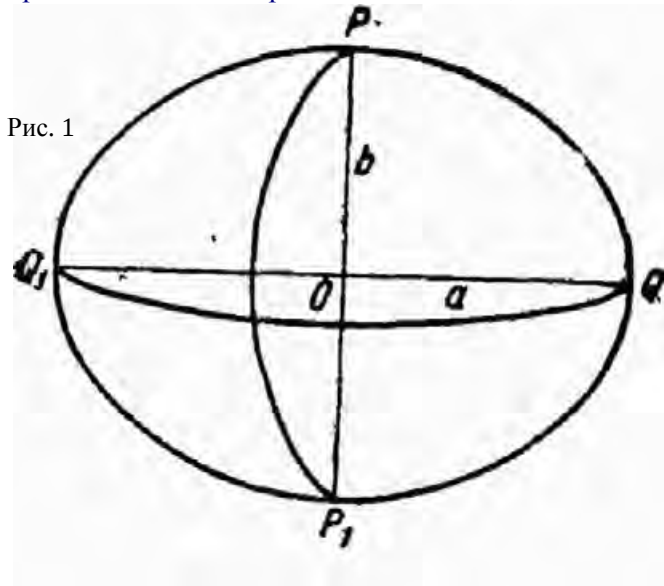


Рис. 1

поверхность в каждой своей точке перпендикулярна к отвесной линии, т. е. к направлению действия силы тяжести и, следовательно, всюду горизонтальна. Ее называют **уровенной поверхностью Земли** или поверхностью геоида. Геоид - тело, не имеющее правильной геометрической формы. Однако поверхность геоида ближе всего подходит к поверхности эллипсоида вращения, получающегося от вращения эллипса PQP_1Q_1 (рис. 1) вокруг малой оси PP_1 . Поэтому практически при геодезических и картографических расчетах поверхность геоида заменяют математической поверхностью эллипсоида вращения, называемого также сфероидом. Линии пересечения поверхности сфероида плоскостями, проходящими через ось

вращения, называются **меридианами** и представляются на сфероиде эллипсами, а линии пересечения плоскостями, перпендикулярными к оси вращения, называются **параллелями** и являются окружностями. Параллель, плоскость которой проходит через центр сфероида, называется **экватором**. Линии $OQ=a$ и $OP=b$ (рис. 1) называются большой и малой полуосями сфероида; a - радиус экватора, b - полуось вращения Земли. Размеры земного сфероида определяются длинами этих полуосей.

Величина $a = \frac{a-b}{a}$ называется сжатием сфероида. Величины a , b , a могут быть определены

посредством градусных измерений, которые позволяют вычислить длины дуги меридиана в 1° . Зная длину градуса в различных местах меридиана, можно установить фигуру и размеры Земли.

Размеры земного сфероида и его сжатия определялись неоднократно учеными разных стран.

С 1946 г. для геодезических и картографических работ в России приняты размеры земного сфероида Красовского

$a=6\,378\,245$ м, $b=6\,356\,863$ м, $a=1:298,3$.

Сжатие земного сфероида составляет приблизительно 1:300. Если представить себе глобус с большой полуосью $a=300$ мм, то разность $a-b$ для такого глобуса составит всего 1 мм. Ввиду малости сжатия общую фигуру Земли иногда принимают приближенно за шар радиуса $R=6371$ км.

§ 7. Метод проекций. Географические координаты

Метод проекций. Для многих практических целей можно допустить, что поверхности геоида и сфероида на данном участке совпадают, образуя одну уровенную (горизонтальную) поверхность $МН$ (рис. 2). Физическая земная поверхность имеет сложную форму: на ней встречаются неровности в виде гор, котловин, лощин и т. д. Горизонтальные участки встречаются редко. При изучении физической земной поверхности воображают, что ее точки A, B, C, D и E проектируются отвесной линией на уровенную, т. е. горизонтальную поверхность $МН$, на которой при этом получают точки a, b, c, d и e , называемые горизонтальными проекциями соответствующих точек физической земной поверхности. Каждой линии или контуру на физической земной поверхности соответствует линия или контур на воображаемой горизонтальной поверхности $МН$. Задача изучения физической земной поверхности распадается, таким образом, на две: 1) определение положения горизонтальных проекций точек на уровенной поверхности $МН$ и 2) нахождение высот ($Aa, Bb \dots$) точек физической земной поверхности над поверхностью $МН$.

Высоты, отнесенные к уровню океана или моря, называются абсолютными, а отнесенные к

Рис. 2

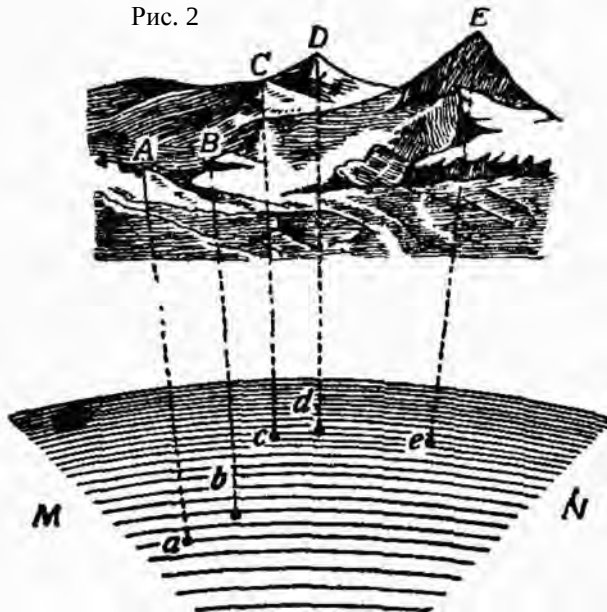
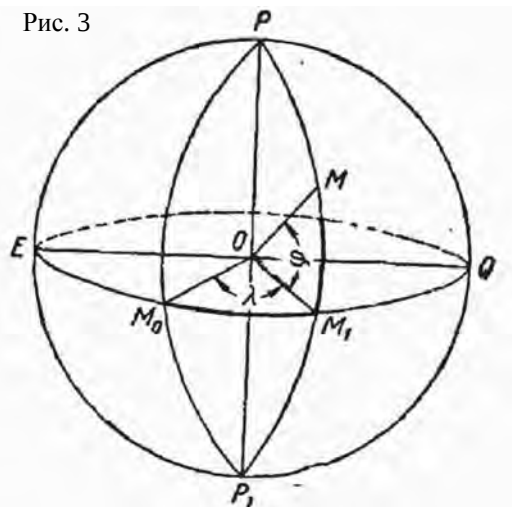


Рис. 3



произвольной уровенной поверхности, параллельной $МН$, - условными. Числовые значения высот точек земной поверхности называют отметками. Обычно за начало счета абсолютных высот принимают средний уровень океана или открытого моря. В СССР счет абсолютных высот ведется от нуля Кронштадтского футштока (футшток - медная доска с горизонтальной чертой, вделанная в гранитный устой моста обводного канала. Горизонтальная черта называется нулем футштока).

По данным 1946—1947 гг., средний уровень Балтийского моря в Кронштадте ниже нуля футштока на 10 мм.

Положение горизонтальных проекций точек земной поверхности на уровенной поверхности $МН$ (рис. 2) может быть определено *координатами*, взятыми в какой-нибудь системе (координаты - это величины, определяющие положение любой точки на поверхности или в пространстве относительно принятой *системы координат*).

Географические координаты. Примем уровенную поверхность $МН$ (рис. 2) за поверхность сферы.

Единой системой координат для всех точек Земли служит система географических координат. Ее составляют плоскость начального меридиана $РМ_0P_1$ и плоскость экватора EQ (рис. 3). За начальный принимается меридиан, проходящий через Гринвич на окраине Лондона. Положение всякой точки M на сфере в этой системе координат определяется углом φ , образованным отвесной линией $МО$ в этой точке с плоскостью экватора, и углом λ , составленным плоскостью меридиана $РМР_1$ данной точки с плоскостью начального меридиана.

Угол φ называется географической широтой, а λ —географической долготой точки M ; широты φ считаются в обе стороны от экватора от 0 до 90°; широты, отсчитываемые от экватора к северу, называются северными, к югу — южными. Долготы λ , считаются от начального меридиана в обе стороны на восток и на запад от 0 до 180° и называются соответственно восточными и западными. Широты и долготы называются географическими координатами. Географические координаты могут быть определены независимо для каждой отдельной точки из астрономических наблюдений. Высоты тех же точек могут быть получены при помощи нивелирования. Широта, долгота и высота вполне

определяют положение каждой отдельной точки A, B, C, D, E земной поверхности (см. рис. 2) относительно общей фигуры Земли.

§ 8. Изображение земной поверхности на сфере и на плоскости

Когда говорят об изображении земной поверхности, то имеют в виду контуры или очертания различных предметов местности: озер, рек, каналов, дорог, лесов, гор, котловин, седловин и т. д.

Так как общую фигуру Земли в первом приближении можно рассматривать как сферу, то изображение земной поверхности естественнее всего получать на сфере. Представим себе уменьшенную модель общей фигуры Земли в виде глобуса. По географическим координатам можно нанести на такой глобус каждую отдельную точку Земли, для чего сначала надо построить на глобусе сетку меридианов и параллелей, называемую градусной. Имея для каждой точки её отметку, можно выразить на глобусе и рельеф, т. е. получить уменьшенную наглядную модель земной поверхности со всеми контурами и неровностями. Однако даже самые большие глобусы не позволили бы изобразить на них все необходимые контуры с достаточной подробностью. Кроме того, глобусы непригодны для инженерного проектирования. Поэтому на практике обычно прибегают к плоским изображениям.

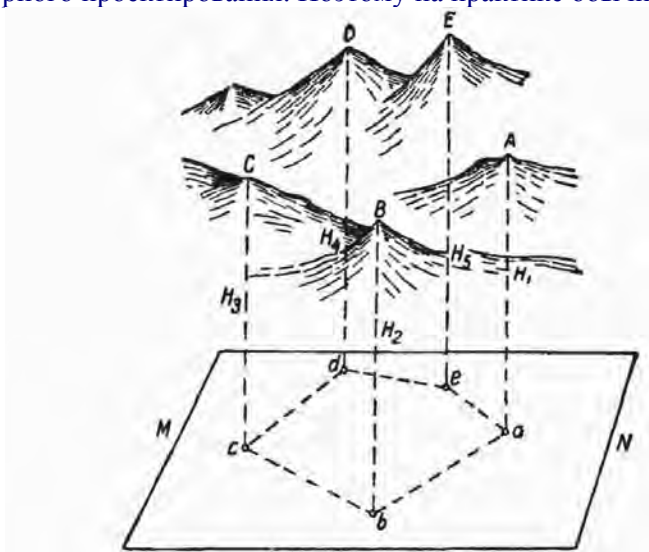


Рис. 4

Если изображаемый участок физической земной поверхности невелик (в пределах площади круга диаметром не более 20 км), то соответствующую ему часть воображаемой уровенной поверхности MN (см. рис. 2) можно принять за горизонтальную плоскость. В таком случае точки земной поверхности, например A, B, C, D, E (рис. 4), проектируют на воображаемую горизонтальную плоскость MN перпендикулярами: $Aa, Bb, \dots, Ee$. Если проектируемые точки принять за вершины многоугольника, то плоская фигура $abcde$ представит горизонтальную проекцию фигуры $ABCDE$ местности. Очевидно, горизонтальная проекция $abcde$ не будет подобна фигуре местности $ABCDE$. Она будет подобна ей лишь в том случае, если все точки данного контура местности лежат в одной плоскости, параллельной плоскости MN .

Для получения изображения на плоскости криволинейного контура местности надо найти горизонтальные проекции характерных его точек, настолько близких между собой, чтобы элементы кривой можно было считать прямыми. Тогда соответствующая кривая в плоскости MN будет горизонтальной проекцией криволинейного контура местности.

Глава III. ПЛАН И КАРТА

§ 9. План местности. Профиль

При помощи геометрических построений горизонтальные проекции контуров местности можно нанести на бумагу в уменьшенном и подобном виде. *Изображение в уменьшенном и подобном виде горизонтальных проекций контуров местности называется планом.*

Обращаясь к рис.2 и 4, легко видеть, что одной горизонтальной проекции точек а, b, с, d, е недостаточно для полного представления о взаимном расположении их на местности; надо еще знать относительно уровенной поверхности высоты этих точек $H_1=Aa$, $H_2=Bb$ и т. д. Однако, если на плане у соответствующих проекций надписать их отметки, то такой план будет недостаточно нагляден, так как довольно трудно представить себе одновременно все точки плана расположенными на высотах, соответствующих этим числам. Отмеченный недостаток устраняется при помощи особого условного способа выражения формы земной поверхности (рельефа) *кривыми равных высот*, называемыми *горизонталями* или *изогипсами*. По форме и взаимному расположению этих кривых можно судить о рельефе местности. При изображении рельефа дна водоемов и водотоков (озер, прудов, рек и т. п.) на планах проводят иногда *кривые равных глубин*, называемые *изобатами*.

Имея план с изображением на нем рельефа горизонталями или просто план с надписанными на нем отметками, можно составить изображение вертикального разреза местности по некоторому заданному направлению. Такое изображение называется *профилем*.

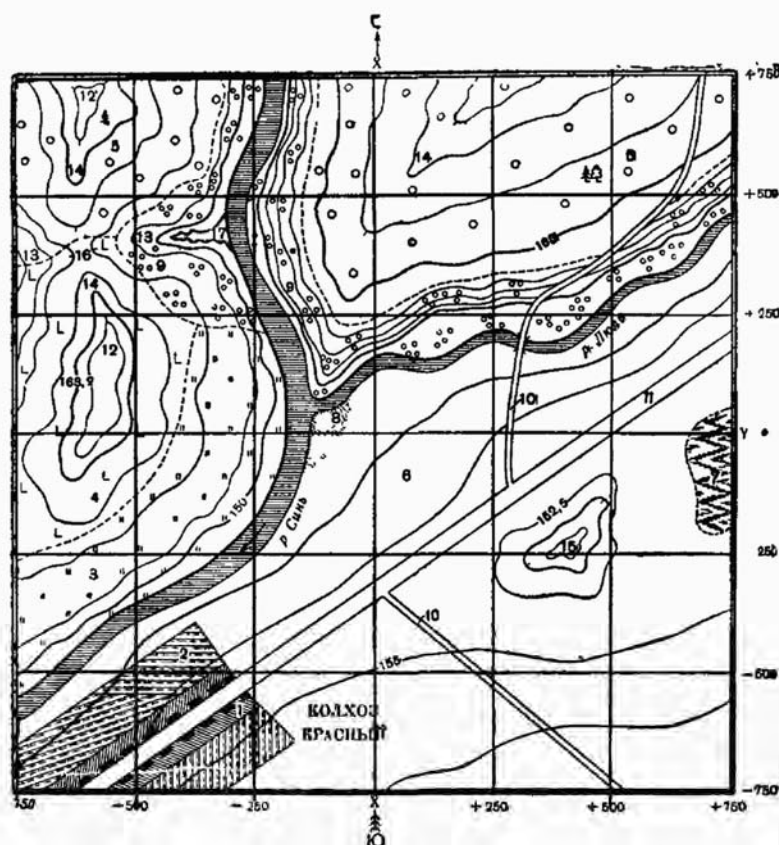


Рис. 5 План местности.

На рис. 5 представлен план, на котором показано шоссе 11, идущее через колхоз «Красный», постройки 1 и огороды 2 колхоза, грунтовые дороги 10, реки, мост на грунтовой дороге через р. Люль, луг 3, вырубленный лес 4, хвойный и смешанный лес 5, пашня 6, болото 7, песок 8, кустарник 9. Неровности местности, или рельеф, выражены на плане горизонталями. На вершине одного из холмов 12 показана точка с абсолютной отметкой 163,2 м. Направление ската холмов показано короткими штрихами, перпендикулярными к горизонталям, называемыми *бергштрихами*.

Бергштрихи поставлены и у горизонталей, изображающих лощины 13. Сочетание этих лощин с двумя противоположными хребтами 14 представляет *седловину* 16 — форму, напоминающую седло. Правее седловины показан овраг 17. левее болота — котловина 15. Одинаковые по форме выпуклости и вогнутости земной поверхности изображаются горизонталями одинаково. В этом недостаток горизонталей. Для различения таких форм на плане и ставят бергштрихи.

По плану можно решать различные задачи: определять расстояния между отдельными пунктами, находить отметки отдельных точек, измерять углы между заданными направлениями, определять крутизну скатов, измерять площади фигур, показанных на плане и т. п.

При помощи плана и профиля проектируют сооружения (дороги, каналы, мосты, дорожные трубы и т. д.). Для инженерных целей необходимы планы с изображением на них предметов местности (ситуации) и рельефа. Такие планы называются топографическими. Однако для решения отдельных специальных задач оказываются достаточными планы, на которых указана только ситуация без рельефа. Такие планы называются контурными или ситуационными.

Точность решения задач при помощи плана зависит в значительной мере от полноты содержания плана и степени детальности изображения на нем различных предметов и неровностей местности. Подробность изображения различных контуров местности на плане, в свою очередь, зависит от степени уменьшения горизонтальных проекций контуров при перенесении их с натуры на план, т. е. от *масштаба* плана.

§ 10. Масштаб плана. Численный, линейный и поперечный масштабы. Точность масштаба

Отношение длины отрезка линии на плане к горизонтальной проекции соответствующего отрезка линии на местности называется масштабом плана. Если масштаб выражается дробью с числителем единица,

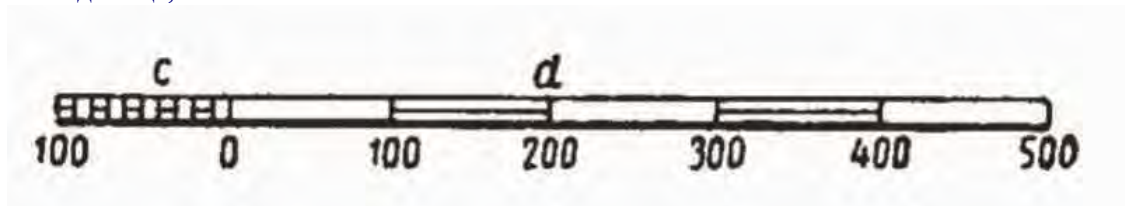


Рис. 6 Линейный масштаб.

например, $\frac{1}{500}$, $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{5000}$, $\frac{1}{10000}$, $\frac{1}{25000}$ и т.д., то он называется **численным**

масштабом. Знаменатель численного масштаба показывает, во сколько раз горизонтальные проекции линий местности уменьшены на плане. Чем больше дробь, тем крупнее масштаб. Более крупный масштаб позволяет нанести на план больше подробностей и дает возможность более точно решать задачи по плану.

При составлении плана необходимо длину каждой линии местности уменьшать в одно и то же число раз; это можно сделать при помощи линейного масштаба. Для построения линейного масштаба (рис. 6) на прямой откладывают несколько раз какой-нибудь отрезок, например 1 или 2 см. Откладываемый отрезок называется основанием масштаба. На рис. 6 за основание масштаба взят 1 см. Крайний левый отрезок обычно делят на 10 равных частей. Каждому отрезку на линейном масштабе соответствует определенный отрезок на местности. Отрезки, отложенные от нулевой черточки вправо, в масштабе 1 : 10000, представят на местности 100, 200, 300, 400, 500 м, а влево - 10; 20; 30; ...; 100 м. Если какой-либо отрезок линии плана оказался на масштабе равным cd , то ему соответствует на местности 240 м. Наименьший отрезок по такому масштабу соответствует 10 м на местности.

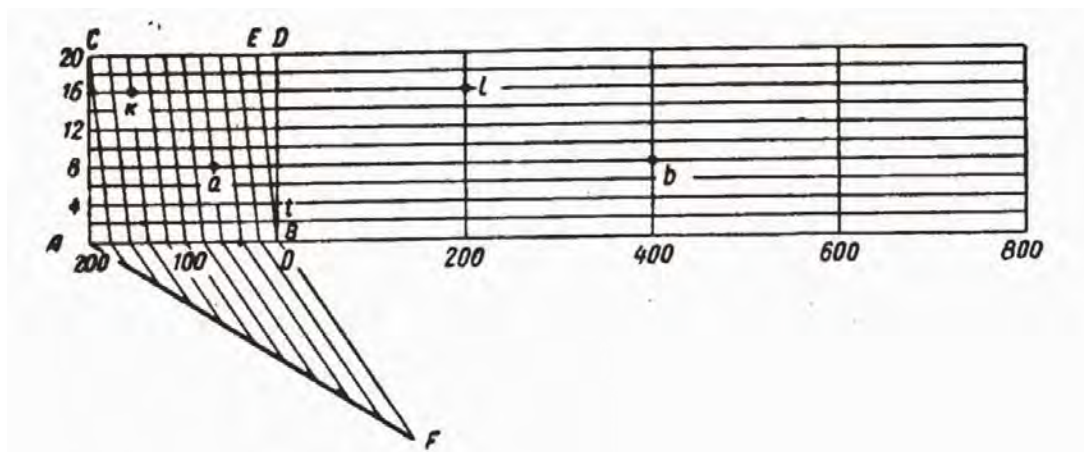


Рис. 7 Нормальный поперечный масштаб.

Более мелкие деления можно получить, построив **поперечный масштаб**. Примем за основание поперечного масштаба отрезок АВ, равный 2 см (рис. 7), и разделим его на 10 равных частей. Это можно сделать так: под произвольным к основанию углом проведем прямую АF, на ней от точки А отложим 10 произвольных, но равных частей.

Соединив потом точки В и F, проведем через все точки деления линии, параллельные BF. Эти линии и разделят основание АВ на 10 равных частей. На линии АС, перпендикулярной к основанию, отложим 10 произвольных, но равных между собой отрезков и через точки деления проведем линии, параллельные АВ, как показано на рис. 7. Отрезки между наклонными линиями, параллельными

линии ВЕ, равны десятым долям основания АВ, т. е. $ED = \frac{AB}{10}$, а отрезки, заключенные между

перпендикуляром ВD и наклонной ВЕ, равны сотым долям основания. Очевидно, наименьший из этих отрезков t будет в 10 раз меньше EB, т. е. $t = \frac{ED}{10} = \frac{AB}{10 \cdot 10} = \frac{AB}{100}$. Описываемый масштаб

называется нормальным поперечным масштабом.

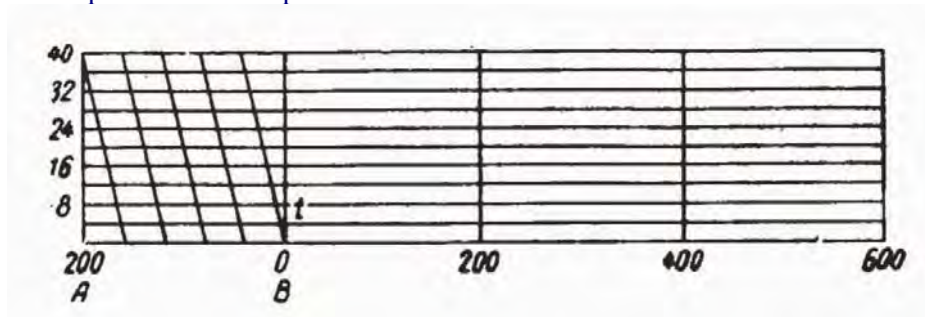


Рис. 8 Поперечный масштаб.

Если основание АВ разделить на 5 частей (рис. 8), а на перпендикуляре отложить 10 равных между собой частей, то наименьшее деление t будет равно $t = \frac{AB}{5 \cdot 10} = \frac{AB}{50}$. Вообще, если

основание поперечного масштаба разделить на n частей, а на линии, перпендикулярной к основанию, отложить m произвольных, но равных между собой отрезков, то наименьшее деление t такого поперечного масштаба будет

равно $t = \frac{AB}{nm}$.

Цифры, подписанные внизу масштабов, показанных на рис. 7 и 8, соответствуют численному масштабу 1:10000.

Так как в обоих масштабах основание АВ соответствует на местности 200 м, то в первом случае наименьшее деление поперечного масштаба $t = \frac{200m}{10 \cdot 10} = 2m$ на местности, а во втором

$t = \frac{200m}{5 \cdot 10} = 4m$. Отрезки ab и kl (рис. 7) применительно к масштабу 1 : 10000 соответствуют на местности 468 м и 356 м.

Если поперечный масштаб для данного численного неудобен, то строят поперечный масштаб с другим основанием. Например, для численного масштаба 1 :2000 основание в 2 см соответствовало бы $2 \times 2000 \text{ см} = 40 \text{ м}$ на местности. Но удобнее за основание взять 2,5 см, что будет соответствовать на местности $2,5 \times 2000 \text{ см} = 50 \text{ м}$.

Принято считать 0,1 мм наименьшим расстоянием, различаемым непосредственно глазом. Горизонтальное расстояние на местности, соответствующее в данном масштабе 0,1 мм на плане, называют точностью масштаба. Так, для масштабов 1:500, 1:1000, 1:5000, 1 : 10000, 1 :25 000 точность соответственно равна: 0,05 м, 0,1 м, 0,5 м, 1,0 м, 2,5 м. Это значит, что отрезки, меньшие указанных, уже не будут изображаться на плане данного масштаба. Задаваясь наименьшими длинами линий местности, которые должны быть изображены на плане, можно установить необходимый масштаб плана. Так, например, если наименьший отрезок на местности, который должен изобразиться на плане, равен 0,2 м, то, очевидно, план должен быть составлен в масштабе не мельче 1 :2000. В самом деле, по условию 0,01 см на плане должно соответствовать 0,2 м на местности или 1 см плана - 2000 см на местности, а это значит, что численный масштаб плана должен быть 1 : 2000.

§ 11. Влияние кривизны Земли на горизонтальные и вертикальные расстояния

Примем общую фигуру Земли за сферу радиуса R . (рис. 9) и выберем на ней две произвольные точки A и B . Расстояние между этими точками пусть будет d , а центральный угол, соответствующий дуге d , обозначим a . Вместо сферической поверхности возьмем плоскость, касательную к ней в точке A , и продолжим радиус OB до пересечения с этой плоскостью в точке C . Пусть при этом отрезок касательной $AC=t$, тогда в горизонтальном расстоянии между точками A и B произойдет ошибка $\Delta d=t-d$, а в вертикальном $\Delta h=OC-OB$, из рис.9 находим $t=Rtg\alpha$ и $d=Ra$, где угол

$$a = \frac{d}{R} \quad (\text{III.I})$$

выражен в радианах.

Тогда $\Delta d=R(tg\alpha - a)$. Так как практически, a весьма незначительно в сравнении с R , то угол a настолько мал, что приближенно можно принять

$$tg\alpha - a = \frac{a^3}{3}.$$

Учитывая (III.1), найдем

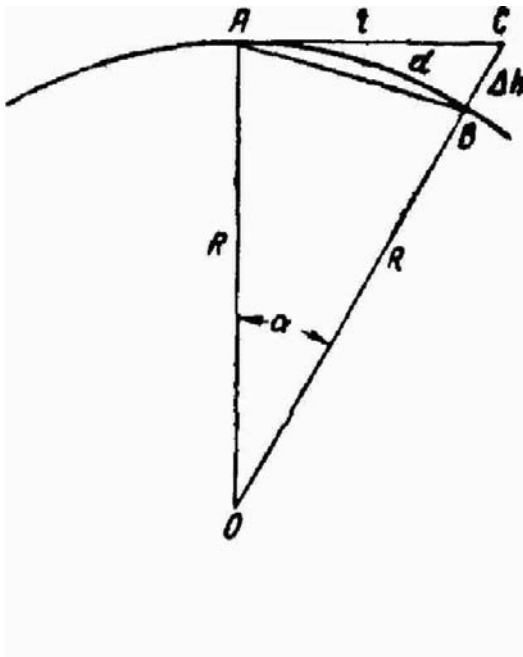


Рис. 9 Определение расстояния с учетом кривизны Земли.

$$\Delta d = R \frac{d^3}{3} = \frac{1}{3} \frac{d^3}{R^2} \quad (\text{III.2})$$

Приняв $R=6371$ км: $d=10$ км, по формуле (III.2) получим $\Delta b=1$ см и $\Delta b : d = 1 : 1000000$.

Отсюда следует, что заменяя дугу AB отрезком касательной AC , при расстояниях до 10 км сделаем ошибку, меньшую $1 : 1\,000\,000$ длины этой дуги. Такая ошибка считается допустимой при самых точных измерениях горизонтальных расстояний на земной поверхности. С увеличением же d ошибка Δd растет очень быстро, так как она пропорциональна кубу расстояний.

Угол $BAC = \frac{1}{2}\alpha$ как угол, составленный касательной и хордовой. По малости этого угла отрезок Δh можно рассматривать как дугу радиуса d . Тогда

$$\Delta h = \frac{1}{2}\alpha \cdot d.$$

Подставив вместо α его выражение из формулы (III.1) найдем

$$\Delta h = \frac{1}{2} \cdot \frac{d^3}{R}. \quad (\text{III.3})$$

Придавая в формуле (III.3) различные числовые значения d , получим значения Δh , приведенные в табл.1.

Таблица 1

d (км)	0.5	1	2	3
Δh (см)	2	8	31	71

Для инженерных целей высоты точек земной поверхности необходимо бывает определять с относительно высокой точностью, допуская на 1 км ошибку не более 2 см. Отсюда заключаем, что *при измерении вертикальных расстояний нельзя пренебрегать кривизной Земли даже при небольших горизонтальных расстояниях между точками.*

Обращаясь снова к рис.2, заметим, что в горизонтальной плоскости MN в пределах площади круга диаметром 20 км отрезки ab , bc , cd ... практически сохраняют ту же длину, что и на сфере. Углы между этими отрезками от замены сферической поверхности плоскостью MN также практически не изменяют своей величины. Поэтому и вся фигура $abcde$ как да сфере, так и на плоскости практически будет изображаться одинаково. В этом смысле мы и говорим, что контуры местности при проектировании их на плоскость в пределах площади круга диаметром 20 км изобразятся без искажений, вызываемых кривизной Земли.

§ 12. Понятие о карте. Различие между картой и планом

В тех случаях, когда на плоскости изображают значительную территорию, нельзя пренебрегать кривизной Земли, а следует ее учитывать. На больших площадях проектирование контуров отвесными линиями производят уже не на плоскость, а на сферическую поверхность; при этом отвесные линии в различных точках земной поверхности нужно считать не параллельными между собой, а пересекающимися в центре сферы.

Сферическая поверхность не может быть развернута на плоскости без складок и разрывов, поэтому спроектированные на сферическую поверхность контуры местности не могут быть перенесены на плоскость бумаги с сохранением подобия, т. е. без искажений. Задача при этом состоит не в полном устранении искажений, что невозможно, а в уменьшении искажений и в математическом определении их значений с тем, чтобы по искаженным изображениям можно было с помощью вычислений получать действительные величины. *Построенные по определенным математическим законам уменьшенные изображения на плоскости значительных частей земной поверхности, размеры которых не позволяют пренебрегать кривизной Земли, называются картами.*

При создании карт прежде всего строят географическую сеть меридианов и параллелей, называемую **картографической сеткой**, внутри которой располагают изображаемые контуры.

Картографическая сетка служит внешним признаком, отличающим карту от плана. Существенное же различие между картой и планом состоит в следующем:

1. план - это изображение проекций **НЕБОЛЬШИХ** участков земной поверхности на **горизонтальную плоскость**; карта - изображение проекций **БОЛЬШИХ** территорий Земли на **сферическую поверхность**;
2. длины, углы и площади контуров горизонтальной проекции на плане **НЕ ИСКАЖАЮТСЯ**, а на картах, вообще говоря, искажаются.

Другими словами, масштаб плана остается постоянным для всех частей плана. На картах же и в особенности на тех, которые изображают всю Землю или большую часть ее поверхности, масштаб меняется не только в различных частях карты, но и по различным направлениям, выходящим из одной точки.

При построении карты предполагают, что поверхность Земли изображается сначала на глобусе определенного размера, а затем уже с его поверхности переносится на плоскость.

Вдоль одной или нескольких линий (меридианов, параллелей или других линий) масштаб картографической сетки равен масштабу глобуса, служащего основанием для построения карты. Этот масштаб называется **ГЛАВНЫМ**. В других частях сетки масштабы будут иные. Их называют **ЧАСТНЫМИ**.

Чем меньше часть земной поверхности, которую охватывает карта, тем ближе карта по своим свойствам к плану и тем меньше отклонения частных масштабов от главного. Значительные отклонения частных масштабов от главного имеют географические карты, которые охватывают большие территории; они дают обобщенную характеристику местности и составлены в очень мелких масштабах. Топографические карты, служащие для подробного ознакомления с местностью, составляемые в более крупных масштабах и охватывающие на отдельных листах сравнительно небольшие территории, по своим свойствам весьма близки к планам.

Влияние масштаба на содержание и использование карт так велико, что карты принято классифицировать по масштабам, различая карты крупного, среднего и мелкого масштабов. Такое деление условно. В советской практике принято считать крупномасштабными карты масштабов 1:100000 и крупнее, среднемасштабными — от 1:200000 до 1:1000000 и мелкомасштабными — мельче 1:1000000.

Крупномасштабные карты называются **топографическими**. Это наиболее подробные карты с изображением на них контуров и рельефа земной поверхности.

Основной государственной картой России является карта масштаба 1:1 000000. Размер рамки каждого листа этой карты составляет 4° по широте и 6° по долготе. В северных широтах от 60 до 76° листы сдвигаются, а от 76 до 88° учетверяются по долготе. Размерам рамки листа миллионной

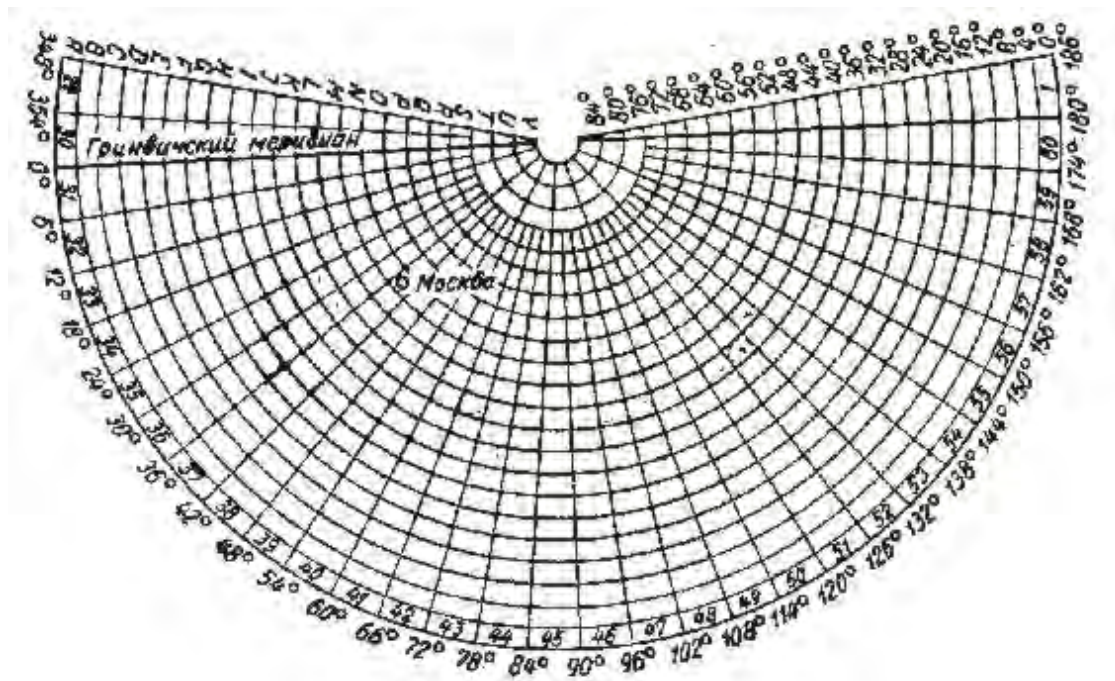
карты, на котором находится Москва, соответствует на местности площадь приблизительно в (444 x 372) км².

Каждому листу карты **Рис. 20 Система обозначения листов карты М 1:1000000** миллионного

масштаба соответствуют 144 листа масштаба 1:100000; московскому листу карты этого масштаба на местности соответствует площадь приблизительно в (37 x 31) км². Каждый лист карты масштаба 1:100000 охватывает территорию, при изображении которой кривизна Земли практически почти неощутима. Тем более это справедливо для листов карт более крупных масштабов.

Листу карты масштаба 1:100000 соответствуют 4 листа карты масштаба 1:50000. Размеры рамки московского листа карты пятидесятитысячного масштаба примерно соответствуют площади в $\left(\frac{37}{2} \times \frac{1}{2}\right)$ км², или (18,5x15,5) км². Следовательно, каждым листом карты масштаба 1:50 000 и крупнее можно пользоваться как планом.

§ 13. Номенклатура карт и планов



Для удобства пользования многолистной картой каждый ее лист получает определенное обозначение, причем расположение отдельных листов указывается в особой таблице, называемой **сборной**. Система обозначения отдельных листов карты называется **номенклатурой** карты.

В основу номенклатуры карт различных масштабов в России положена государственная карта масштаба 1:1000000.

Деление на листы этой карты выполняется следующим образом. Вся земная поверхность делится меридианами, проводимыми через 6°, на 60 колонн. Колонны нумеруются арабскими цифрами; счет колонн ведется с запада на восток от меридиана с долготой 180° (рис. 10). Колонны в свою очередь разделяются на ряды параллелями, проводимыми через 4°. Ряды обозначаются заглавными буквами латинского алфавита, счет рядов ведется от экватора к северному и южному полюсам. Проведенные таким образом меридианы и параллели служат рамками отдельных листов карты.

Номенклатура листа складывается из указания ряда и колонны, в которых расположен данный лист; например, N-37—номенклатура листа, на котором находится Москва.

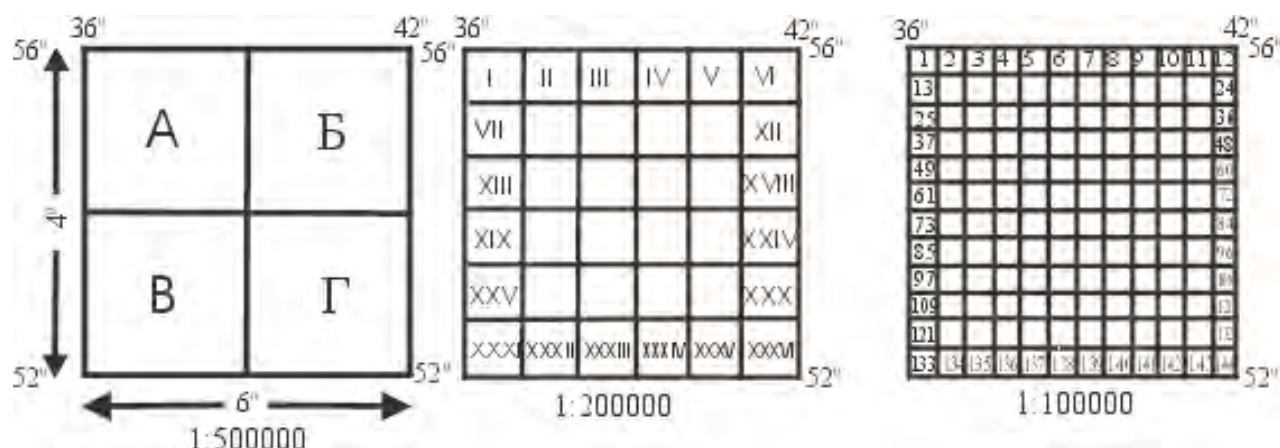


Рис. 11 Номенклатура листов карт среднего масштаба

Одному листу карты масштаба 1:1000000 соответствуют: 4 листа карты масштаба 1:500000, обозначаемые заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, присоединяемыми к номенклатуре миллионного листа; 9 листов карты масштаба 1:300000,

обозначаемые римскими цифрами I—IX, помещаемыми впереди номенклатуры миллионного листа; 36 листов карты масштаба 1:200 000, обозначаемые римскими цифрами I—XXXVI, присоединяемыми справа к номенклатуре миллионного листа; 144 листа карты масштаба 1:100000, обозначаемые арабскими цифрами 1—144, следующими за номенклатурой миллионного листа (рис. 11). Данные этой разграфки для листа карты N-37 масштаба 1:1 000000 приведены в табл. 2.

Таблица 2

Масштаб карты	Число листов в одном листе карты масштаба 1:1000000	Номенклатура последнего листа	Размер рамки	
			По широте	По долготе
1:500000	4	N-37-Г	2°	3°
1:300000	9	IX-N-37	1°20'	2°
1:200000	36	N-37-XXXVI	40'	1°
1:100000	144	N-37-144	20'	30'

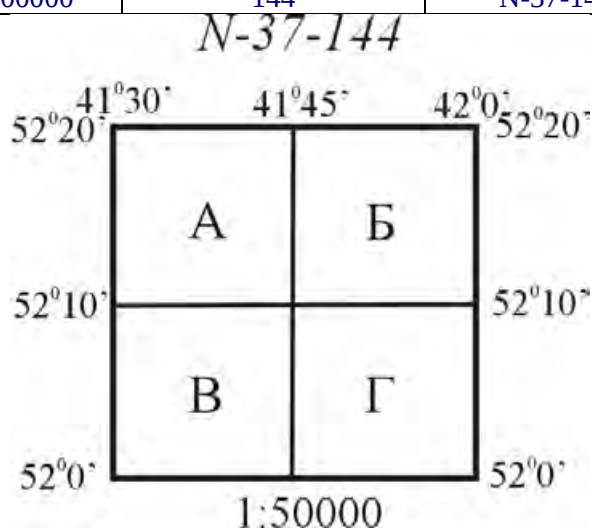


Рис. 12. Номенклатура листа карты М 1:50000

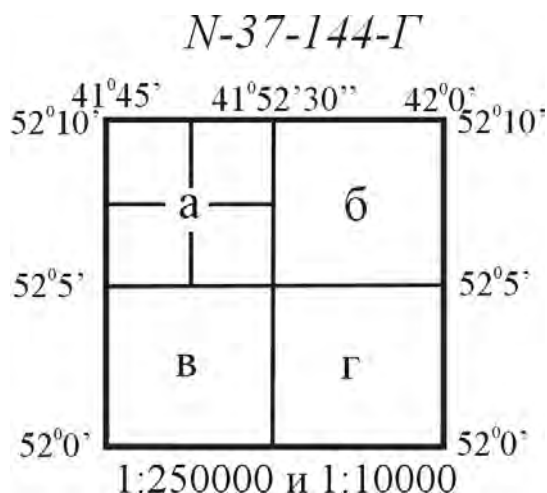


Рис. 13. Номенклатура листов карт М 1:25000 и М 1:10000

Лист карты масштаба 1:100000 служит основой для разграфки и номенклатуры листов карт более крупных масштабов. Одному листу карты масштаба 1:100000 соответствуют 4 листа карты масштаба 1:50000, которые обозначаются заглавными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, присоединяемыми к номенклатуре стотысячного листа. Каждый такой лист (рис. 12) имеет рамку размером 10' по широте и 15—по долготе. Номенклатура последнего листа, соответствующего листу карты N-37-144 масштаба 1:100000, будет N-37-144-1'. Одному листу масштаба 1 :50 000 соответствуют 4 листа масштаба 1 :25 000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, присоединяемыми к номенклатуре пятидесятитысячного листа (рис. 13); одному листу масштаба 1:25000 соответствуют 4 листа масштаба 1:10000, обозначаемые арабскими цифрами 1—4, следующими за номенклатурой двадцатипяти тысячного листа.

Данные для разграфки листа карты масштаба 1:100000 на листы карт более крупных масштабов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Масштаб карты	Число листов в одном предыдущего масштаба	Номенклатура последнего листа	Размер рамки	
			По широте	По долготе
1:100000	-	N-37-144	20'	30'
1:50000	4	N-37-144-Г	10	15
1:25000	4	N-37-144-Г-г	5	7,5
1:10000	4	N-37-144-Г-г-4	2,5	3,75

Лист карты масштаба 1:100000 служит также основой для разграфки и номенклатуры листов планов масштабов 1:5000 и 1:2000.

Одному листу карты масштаба 1:100000 соответствуют 256 (16 x 16) листов плана масштаба 1:5000, которые обозначаются цифрами 1, 2, ..., 256, заключаемыми в скобки. Каждый такой лист имеет рамку размером $\frac{20'}{16} = 1'15''$ по широте и $\frac{30'}{16} = 1'52'',5$ по долготе. Номенклатура последнего листа плана масштаба 1:5000, соответствующего листу карты N-37-144 масштаба 1 : 100000, будет N-37-144-(256).

Одному листу плана масштаба 1 :5000 соответствуют девять листов плана масштаба 1:2000, которые обозначаются строчными буквами русского алфавита а, б, в, г, д, е, ж, з, и, заключаемыми в скобки. Каждый такой лист имеет рамку размером $\frac{1'15''}{3} = 25''$ по широте и $\frac{1'52'',5}{3} = 37'',5$ по долготе. Номенклатура последнего листа плана масштаба 1:2000, соответствующего листу N-37-144-(256), будет N-37-144-(256-и). Приведенные данные представлены в табл. 4.

§ 14. Равноугольная поперечно-цилиндрическая проекция

Положение точек земной поверхности на **глобусе** определяется географическими координатами при помощи градусной сетки, а **на карте** - теми же координатами при помощи картографической сетки. На плане и топографической карте для той же цели пользуются плоскими прямоугольными координатами. Чтобы установить связь между географическими координатами любой точки Земли на сфере или сфероиде и прямоугольными координатами той же точки на плоскости, применяют особый способ проектирования всего земного шара на плоскость по частям, или по так называемым **ЗОНАМ**; весь земной шар разделяют при этом меридианами на шести- или трехградусные зоны, простирающиеся от северного полюса к южному (рис. 14).

Таблица 4

Масштаб карты	Число листов в одном предыдущего масштаба	Номенклатура последнего листа	Размер рамки	
			По широте	По долготе
1:100000	-	N-37-144	20'	30'
1:5000	256	N-37-144-(256)	1'15''	1'52'',5
1:2000	9	N-37-144-(256-и)	25''	37'',5

Деление поверхности земного шара на шестиградусные зоны соответствует разграфке листов миллионной карты. Счет зон ведется на восток от нулевого меридиана, проходящего через Гринвич, а счет колонн - на восток от меридиана с долготой 180° , поэтому номер зоны для данного листа миллионной карты равен номеру колонны минус 30. Так, для листа миллионной карты, имеющего номенклатуру N-37, зона будет иметь номер 7. Отсюда легко сообразить долготы меридианов на восточной и западной границах этой зоны. Долгота восточного меридиана, очевидно, будет $6^\circ \times 7 = 42^\circ$, а западного $42^\circ - 6^\circ = 36^\circ$. Средний меридиан седьмой зоны имеет долготу 39° . Каждую данную зону проектируют на плоскость отдельно при помощи цилиндра.

Если общую фигуру Земли рассматривать как сферу, то цилиндр должен иметь в поперечном сечении круг. Ось такого цилиндра, проходящую через центр сферы, надо вообразить в плоскости земного экватора так, чтобы шар касался цилиндра по среднему меридиану 1 данной зоны. На поверхность такого цилиндра и проектируют избранную зону под условием сохранения равенства углов на сфере и на цилиндре, а затем цилиндр разворачивают на плоскости. В результате получают изображение данной зоны в проекции на плоскость (рис.15). Такая проекция называется **равноугольной поперечно – цилиндрической***. так как она получается при помощи цилиндра, ось которого расположена поперек земной оси, и углы местности изображаются в этой проекции без искажений. Средний меридиан зоны изображается прямой. Вся зона переходит со сферы на плоскость в несколько расширенном виде.

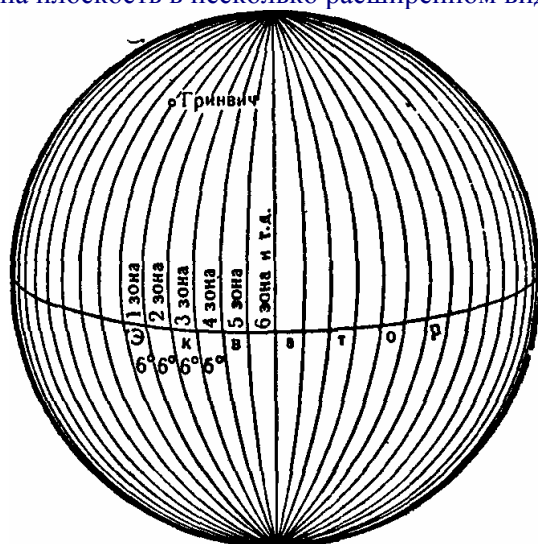


Рис. 14. Разбивка фигуры Земли на 6-ти градусные зоны.

Все длины линий в этой проекции несколько преувеличены по сравнению с их натуральными горизонтальными проекциями; искажения длин тем больше, чем дальше линия расположена от среднего меридиана зоны. На границах зон в пределах широт от 30 до 70° относительные ошибки, происходящие от искажения длин линий в этой проекции, колеблются от 1:1000 до 1:6000. Когда такие ошибки недопустимы, прибегают к трехградусным зонам.

На картах, составленных в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции, искажения длин в различных точках проекции различны, но по разным направлениям, выходящим из одной и той же точки, эти искажения будут одинаковы. Круг весьма малого радиуса, взятый на уроненной поверхности, изобразится в этой проекции тоже кругом. Поэтому говорят, что рассматриваемая проекция конформна, т. е. сохраняет подобие фигур на сфере и в проекции при весьма малых размерах этих фигур. Таким образом, изображения контуров земной поверхности в этой проекции весьма близки к тем, которые получаются на планах, а вблизи среднего меридиана зоны практически такие же, как и на планах.

Проектируя последовательно одну зону за другой, можно представить в этой проекции всю поверхность земного шара. В географическом отношении такая проекция не имеет практического значения, так как она дает не сплошное изображение всей земной поверхности, а с разрывами, увеличивающимися к полюсам. Эта проекция ценна тем, что *она, во-первых, позволяет выбирать системы плоских прямоугольных координат по всей поверхности Земли с единым началом координат для каждой данной зоны; во-вторых, дает возможность находить по географическим координатам любой точки земного шара или сфероида прямоугольные координаты ее изображения и, наоборот, по данным плоским прямоугольным координатам точки в этой проекции вычислить соответствующие им географические координаты на сфере или на сфероиде.*

§ 15. Плоские прямоугольные координаты

В зональной системе начало координат для всех точек данной зоны выбирается в точке пересечения среднего меридиана данной зоны с экватором (рис. 15). Изображение среднего меридиана принимается за ось абсцисс, поэтому название этого меридиана - осевой. Изображение земного экватора в виде прямой, перпендикулярной к осевому меридиану, служит осью ординат. Счет абсцисс ведется от экватора к полюсам, причем к северу от экватора абсциссы считаются положительными, к югу - отрицательными. Ординаты, отсчитываемые от осевого меридиана на восток, считаются положительными, на запад - отрицательными.

Для точки *A* (рис. 15) прямоугольными координатами будут: абсцисса *x* и ордината *y*. Для территории России, расположенной в северном полушарии, все абсциссы положительны. Чтобы не иметь дела с различными знаками ординат, на практике ординату точек среднего меридиана считают не за нуль, а за 500 км. Кроме того, впереди каждой ординаты указывается еще номер зоны, в которой расположена точка. Так, например, запись 7 487 230 указывает на то, что точка находится в седьмой зоне и что ее ордината

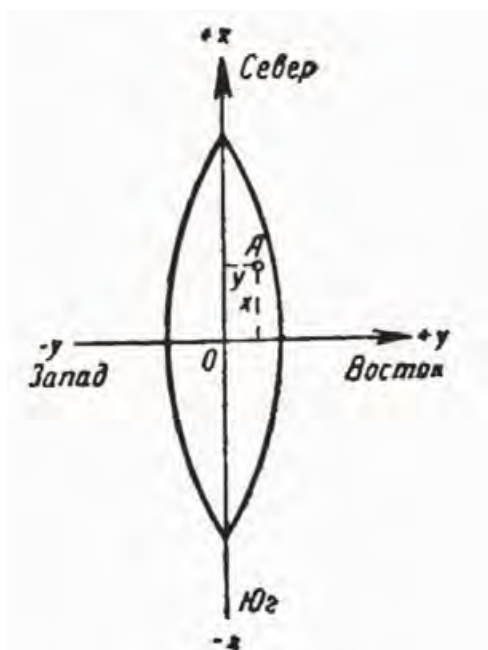


Рис. 15. Зональная система координат

$$Y = 487\,230 - 500\,000 = -12\,770 \text{ м.}$$

Для облегчения пользования прямоугольными координатами на карту наносят **сетку квадратов**, образованных прямыми, параллельными осям координат и проведенными через определенное число километров. Такую сетку называют **километровой**.

На рис. 16 показан лист карты масштаба 1:10000, ограниченный меридианами с долготами $18^{\circ}00'$ и $18^{\circ}03'45''$ и параллелями с широтами $54^{\circ}42'30''$ и $54^{\circ}45'$, надписанными в углах рамки, а на самой рамке нанесены деления, обозначающие минуты дуг меридианов и параллелей. Соединяя крайние точки одноименных минутных делений северной и южной сторон рамки, а также соответствующие точки делений западной и восточной сторон, получим на карте сетку меридианов и параллелей, служащую для определения по карте географических координат ее точек и для нанесения на карту точек по географическим координатам.

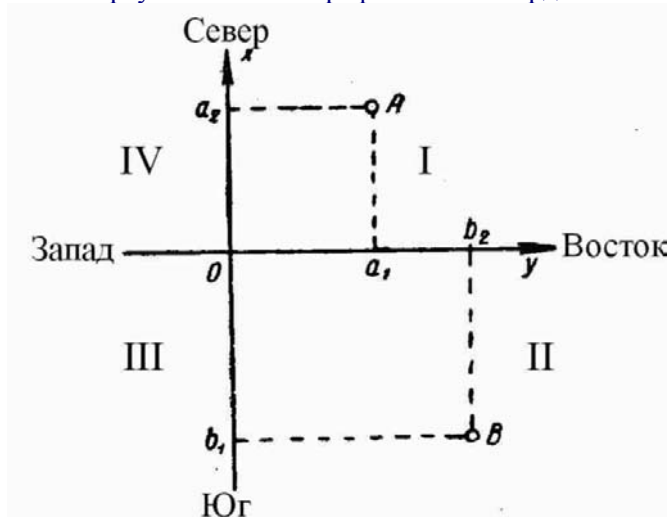


Рис. 17. Произвольная система прямоугольных координат

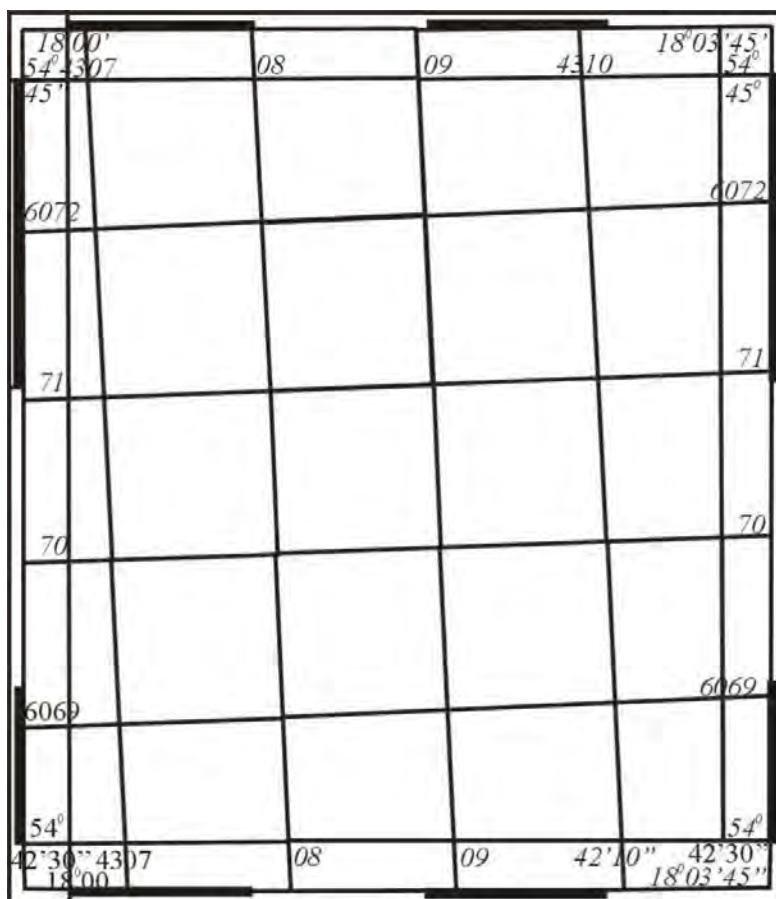


Рис. 16. Карта с нанесенной километровой сеткой

На том же листе карты нанесена километровая сетка линий, параллельных и перпендикулярных осевому меридиану данной зоны. Эти линии называют вертикальными и горизонтальными линиями километровой сетки. Нижняя линия сетки, перпендикулярная к осевому меридиану, имеет надпись 6 069; это означает, что все точки данной линии отстоят от экватора на 6069 км по осевому меридиану. Полная надпись таких расстояний сделана только на крайних линиях; промежуточные линии надписаны двумя последними цифрами соответствующих расстояний. Первая километровая линия, параллельная осевому меридиану, имеет надпись 4307. Здесь цифра 4 обозначает номер зоны, а три остальные цифры выражают в километрах увеличенную на 500 ординату точек этой линии, так что ее ордината равна $307 - 500 = -193$ км, следовательно, километровая линия расположена к западу от осевого меридиана 4-й зоны на расстоянии 193 км. Полные надписи километровых линий, параллельных осевому меридиану, также даны только для крайних линий. При помощи километровой сетки можно определять в зональной системе прямоугольные координаты точек карты и наносить на карту точки по данным их координатам. Зональная* система координат введена в практику геодезических работ с 1928 г., а в качестве общесоюзной принята в 1932 г.

Произвольная система прямоугольных координат. Часто положение точек на плане определяют относительно системы прямоугольных координат, начало которой выбирается произвольно. В этом случае систему прямоугольных координат составляют две взаимно перпендикулярные прямые Ox и Oy (рис. 17), называемые осями координат: Ox называется осью абсцисс, Oy — осью ординат. Точка O пересечения осей служит началом координат. Положение любой точки A в этой системе определяется отрезками $Aa_1=x$ (абсцисса) и $Aa_2=y$ (ордината), параллельными осями координат. Значения координат x и y сопровождаются знаками плюс или минус. В геодезии принимают направление оси абсцисс совпадающим с направлением меридиана, проходящего через начало координат; за положительное направление этой оси принимают направление на север. Направление оси ординат считается положительным на восток и отрицательным на запад. Оси координат разделяют плоскость чертежа на четыре части, называемые четвертями: СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ; знаки координат точек, лежащих в этих четвертях, показаны в табл. 5.

Таблица 5

Четверти Координаты	I СВ	II ЮВ	III ЮЗ	IV СЗ
x	+	-	-	+
y	+	+	-	-

Применяемая в геодезии система прямоугольных координат называется правой, так как нумерация четвертей и направление отсчета углов в этой системе ведется по направлению движения часовой стрелки, т. е. вправо. В аналитической геометрии применяется левая система прямоугольных координат, в которой нумерация четвертей и направление отсчета углов ведется в обратном направлении, как в тригонометрии.

Легко установить, что знаки координат точек, расположенных в одноименных четвертях правой и левой систем, совпадают. Это позволяет применять формулы тригонометрии без всяких изменений независимо от того, в какой из этих систем производятся вычисления.

§ 16. Прямая и обратная геодезические задачи

В геодезической практике встречаются две типичные задачи – прямая и обратная.

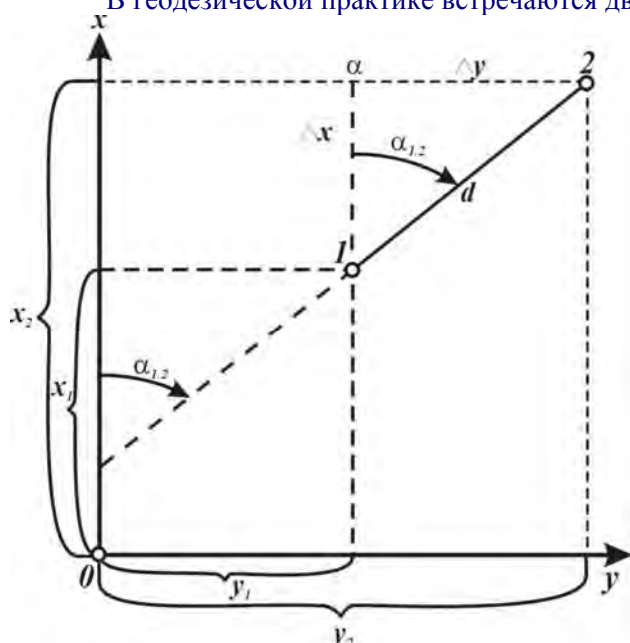


Рис. 18. Прямая и обратная задачи

Прямая геодезическая задача. Даны координаты первой точки x_1 и y_1 , горизонтальное расстояние от первой до второй точки d и дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ линий 1-2. Нужно определить координаты x_2 и y_2 второй точки.

Спроектируем точки 1 и 2 на оси координат (рис.18). Проекция линии d на ось X , очевидно будет равна $\Delta x = x_2 - x_1$.

Из прямоугольного треугольника $1a2$ находим

$$\left. \begin{aligned} \Delta x &= d \cos \alpha_{1,2}, \\ \Delta y &= d \sin \alpha_{1,2}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.4})$$

И далее координаты точки 2

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{1,2},$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y_{1,2}.$$

В зависимости от величины дирекционного угла приращения координат могут иметь различные знаки. Знаки приращений определяются знаками тригонометрических функций ($\sin$ и $\cos$) соответствующей четверти. В табл.6 показана зависимость между дирекционными углами и знаками приращений координат.

Таблица 6.

Приращения координат	Дирекционный угол			
	0 - 90° (I четверть)	90 - 180° (II четверть)	180 - 270° (III четверть)	270 - 360° (IV четверть)
Δx	+	-	-	+
Δy	+	+	-	-

Обратная геодезическая задача. Даны координаты x_1 и y_1 первой и x_2 и y_2 второй точек (см. рис.28). Нужно определить дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ линии 1-2 и горизонтальное расстояние d .

Зная координаты 1-й и 2-й точек, легко определить приращения координат:

$$\Delta x = x_2 - x_1, \Delta y = y_2 - y_1.$$

Согласно равенству (III.6) отношение Δy к Δx позволяет определить

$$\operatorname{tg} \alpha_{1,2} = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

Угол, полученный по тангенсу из таблиц натуральных значений тригонометрических функций, представляет собой табличный угол $r_{1,2}$. Для перехода от табличного угла к дирекционному необходимо учесть знаки приращения координат, зависящие от знаков тригонометрических функций (*sin* и *cos*). Например, Δy имеет знак минус, а Δx - знак плюс. Тогда, очевидно, *sin* $\alpha_{1,2}$ отрицательный, а *cos* $\alpha_{1,2}$ - положительный, следовательно, направление располагается в IV четверти (см. табл.6), а дирекционный угол рассчитывается по формуле $\alpha_{1,2} = 360^\circ - r_{1,2}$ (см. табл.7). Дирекционный или табличный угол получают из таблиц натуральных значений тригонометрических функций.

Таблица 7.

Ориентирующий угол	Четверть			
	I (CB)	II (IOB)	III (IOЗ)	IV (CЗ)
Румб или табличный угол	$r_1 = A_1$	$r_2 = 180^\circ - A_2$	$r_3 = A_3 - 180^\circ$	$r_4 = 360^\circ - A_4$
Азимут или дирекционный угол	$A_1 = r_1$	$A_2 = 180^\circ - r_2$	$A_3 = 180^\circ + r_3$	$A_4 = 360^\circ - r_4$

Далее из этих же таблиц выбирают значения *sin* $\alpha_{1,2}$ и *cos* $\alpha_{1,2}$ и определяют расстояние d по формулам

$$d = \frac{\Delta y}{\sin \alpha_{1,2}} = \frac{y_2 - y_1}{\sin \alpha_{1,2}},$$

$$d = \frac{\Delta x}{\cos \alpha_{1,2}} = \frac{x_2 - x_1}{\cos \alpha_{1,2}}.$$

Расстояние можно определить по теореме Пифагора из прямоугольного треугольника $1a2$ (см. рис.18):

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

Глава IV. ОРИЕНТИРОВАНИЕ

§ 17. Ориентирование линий

Ориентировать линию - значит определить ее направление относительно меридиана.

Вообразим в данной точке земной поверхности отвесную линию; плоскость, проходящая через эту отвесную линию и ось вращения Земли, называется плоскостью географического или истинного меридиана в данной точке.

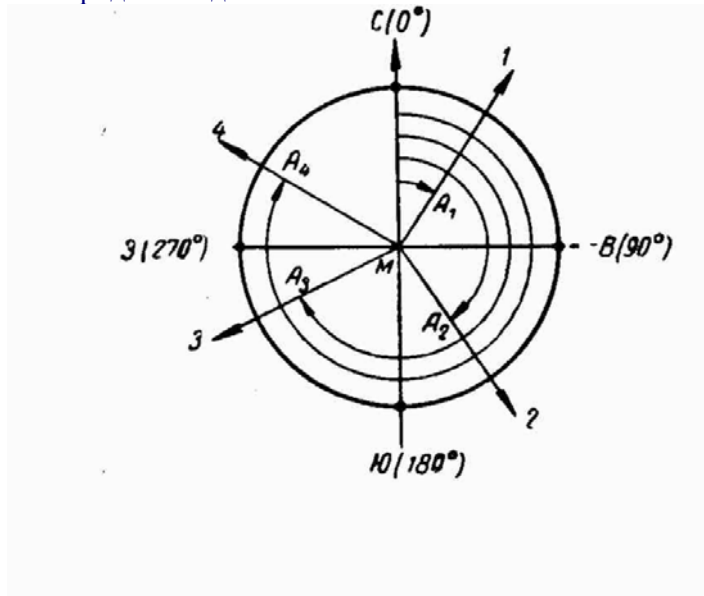


Рис. 19. Углы ориентирования

Направление истинного меридиана определяется на данной точке при помощи астрономических наблюдений, а направление магнитного меридиана - при помощи магнитной стрелки, которая устанавливается под действием земного магнетизма в направлении магнитного меридиана. Концы стрелки, обращенный северному полюсу Земли, называют северным, а другой конец - южным. Магнитный меридиан в данной точке земной поверхности, как правило, не совпадает с истинным: угол между ними называется склонением магнитной стрелки. Склонение называют восточным или западным, смотря по тому, отклоняется ли северный конец магнитной стрелки к востоку или к западу от географического меридиана.

Для ориентирования линий служат углы ориентирования, называемые азимутами, дирекционными углами и румбами.

Азимуты. Азимутом называется горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки до направления данной линии; азимуты могут иметь значения от 0 до 360°. Азимут называется истинным, если он отсчитывается от истинного меридиана, и магнитным, если он отсчитывается от магнитного меридиана.

Пусть линия СЮ (рис. 19) — направление меридиана в точке М (истинного или магнитного), ЗВ - направление, перпендикулярное к меридиану. Тогда направление МВ укажет на восток, а МЗ — на запад.

Рассмотрим проекции линий местности M_1 , M_2 , M_3 и M_4 на горизонтальную плоскость. Горизонтальные углы A_1 , A_2 , A_3 и A_4 представят азимуты этих линий. Если линия СЮ есть истинный меридиан, то и азимуты этих линий будут истинными азимутами. Если же СЮ - магнитный меридиан, то эти углы - магнитные азимуты.

Так как меридианы в разных точках Земли не параллельны между собой, то азимут одной и той же линии в разных ее точках различен. Так, для линии M_1M_2 (рис. 20) азимут в точке M_1 равен A_1 , в точке M_2 — A_2 ; азимут A_2 отличается от азимута A_1 на величину угла γ между меридианами этих точек. Этот угол γ называется сближением меридианов. Его легко представить, если провести мысленно через одну из двух данных точек направление, параллельное меридиану другой точки. На рис. 20 угол γ представлен как угол между меридианом $C_2Ю_2$ точки M_2 и направлением $C_1'Ю_1' \parallel C_1Ю_1$.

Как видно из рисунка,

$$A_2 - A_1 = \gamma.$$

Если точки M_1 и M_2 близки, то можно принять $\gamma=0$, и тогда $A_2=A_1$, а меридианы в соответствующих точках можно рассматривать как параллельные.

Азимут данного направления называется прямым, а противоположного - обратным.

Для линии M_1M_2 (рис. 20) A_1 и A_2 —прямые азимуты этой линии в разных ее точках, A_2 - обратный азимут той же линии в точке M_2 .

Как видно на рис. 20,

$$A_2' = A_1 + 180^\circ + \gamma \quad (\text{IV.1})$$

$$A_2' = A_2 + 180^\circ, \quad (\text{IV.2})$$

т. е. прямой и обратный азимуты одной и той же линии в разных ее точках отличаются между собой на $180^\circ + \gamma$; прямой и обратный азимуты данной линии в одной и той же точке различаются на 180° .

Дирекционные углы. Дирекционные углы применяются в геодезии для ориентирования линий относительно осевого меридиана, или линии, ему параллельной. Если на рис. 20 меридиан $C_1Ю_1$ в точке M_1 будем рассматривать как осевой в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции, линию $C_2Ю_2$ как истинный меридиан в точке M_2 , а линию $C_1'Ю_1'$, параллельную $C_1Ю_1$, как одну из вертикальных линий километровой сетки, то A_2 представит истинный азимут, а α - дирекционный угол линии M_1M_2 в точке M_2 , т. е. дирекционный угол отсчитывается от северного направления осевого меридиана или линии, ему параллельной, по ходу часовой стрелки до направления данной линии в пределах $0 - 360^\circ$. Из рисунка видно, что

$$A_2 - \alpha = \gamma, \quad (\text{a})$$

т. е. разность между истинным азимутом и дирекционным углом какой-нибудь линии в данной на ней точке равна сближению истинного меридиана в этой точке с осевым меридианом зоны.

Из формулы (a) находим, что

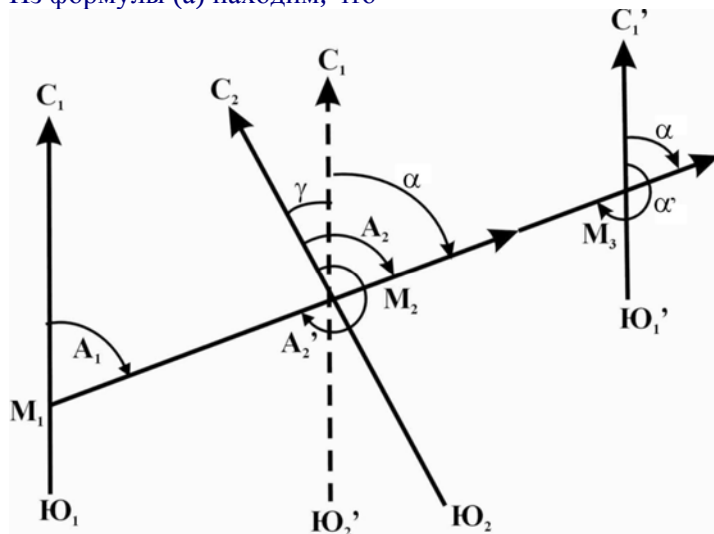


Рис. 20. Связь между истинным азимутом и дирекционным углом.

$$A_2 = \alpha + \gamma. \quad (\text{IV.3.})$$

На рис. 20 точка M_2 была взята восточнее осевого меридиана. Если же точка M_2 расположена западнее осевого меридиана $C_1Ю_1$ (рис. 22), тогда

$$A_2 = \alpha - \gamma.$$

Но обыкновенно сближение меридианов для точек, расположенных к западу от осевого меридиана, выражают числом отрицательным. Тогда формула (IV.3) будет общей для обоих случаев.

В отличие от азимута A дирекционный угол α (рис. 20) одной и той же линии в разных ее точках остается постоянным; в точке M_3 он будет такой же, как и в точке M_2 .

На небольших участках, когда по малости величиной γ можно пренебречь и меридианы в различных точках рассматривать как параллельные между собой, то один из них, с которым

совмещают ось абсцисс произвольной системы прямоугольных координат, принимается за осевой меридиан. В таких случаях направления линий определяются дирекционными углами.

Дирекционный угол a данного направления M_1M_2 называется прямым, а дирекционный угол a' противоположного направления M_2M_1 называется обратным. Как видно из рис. 20,

$$a' = a + 180^\circ,$$

т. е. *обратный дирекционный угол равен прямому плюс 180°* . Эта формула является общей для всех случаев. Однако практически в тех случаях, когда $a > 180^\circ$ (как на рис. 21), следует применять формулу

$$a' = a - 180^\circ.$$

Пусть, например, $a = 300^\circ 30'$. Тогда $a' = 300^\circ 30' + 180^\circ = 480^\circ 30'$, или $a' = 480^\circ 30' - 360^\circ = 120^\circ 30'$. По последней формуле тот же ответ получается проще:

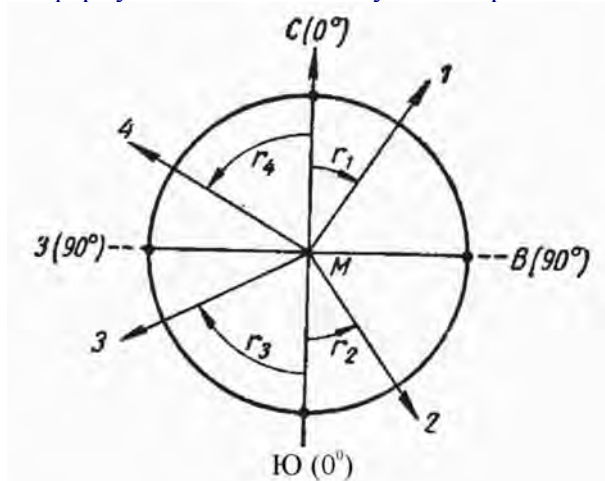


Рис. 22. Четверти в которых расположены румбы $a' = 300^\circ 30' - 180^\circ = 120^\circ 30'$.

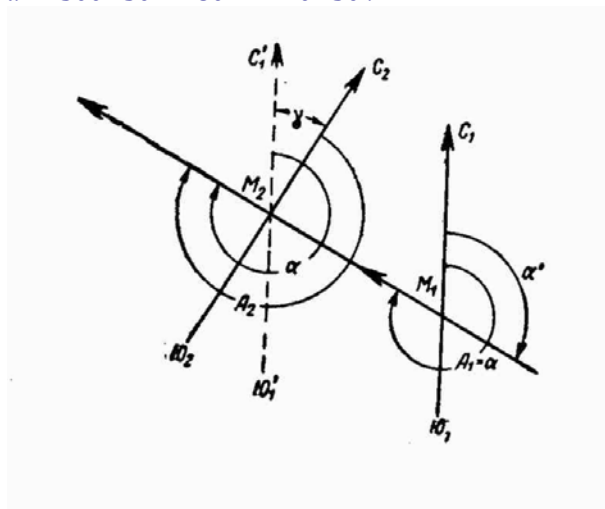


Рис. 21. Прямой и обратный дирекционные углы

Румбы. Иногда на практике удобнее определять направление линий острыми углами. В этих случаях пользуются румбами. *Румбом, называется острый горизонтальный угол отсчитываемый от ближайшего направления*

меридиана (северного или южного) до данной линии. Румбы могут иметь значения только в пределах между 0 и 90° . На рис. 22 обозначены румбы четырех линий M_1 , M_2 , M_3 и M_4 , направления которых на рис. 20 были определены азимутами. Чтобы определить румбом направление данной линии относительно меридиана, необходимо, кроме числового значения румба, указать название той четверти, в которой проходит линия. Так, линии M_1 , M_2 , M_3 и M_4 имеют соответственно румбы СВ : r_1 , ЮВ : r_2 , ЮЗ : r_3 , СЗ : r_4 . В зависимости от того, отсчитываются ли румбы от магнитного или истинного меридиана, их называют магнитными или истинными.

Из сопоставления рис. 19 и 22 видно, что для линий северо-восточного направления азимут A_1 по величине равен румбу r_1 . Для линий юго-восточного направления азимут и румб в сумме

составляют 180° . Если линия проходит в юго-западной четверти, то ее азимут больше румба на 180° , и, наконец, для линий северо-западного направления азимут и румб составляют в сумме 360° . Эти соотношения позволяют переводить азимуты в румбы и обратно. Например, если азимут линии $A = 215^\circ$, то ее румб равен $A - 180^\circ = 215^\circ - 180^\circ = 35^\circ$ и имеет название ЮЗ. Если азимут линии $A = 100^\circ$, то ее румб равен $180^\circ - A = 180^\circ - 100^\circ = 80^\circ$ и имеет название ЮВ и т. д.

Если на рис. 19 меридиан СЮ рассматривать как осевой или как линию, параллельную осевому меридиану данной зоны, то углы A_1, A_2, A_3 и A_4 представят дирекционные углы линий M_1, M_2, M_3 и M_4 и должны быть обозначены соответственно a_1, a_2, a_3 и a_4 . При этом условии на рис. 22 мы найдем соответствующие им румбы, которые назовем осевыми.

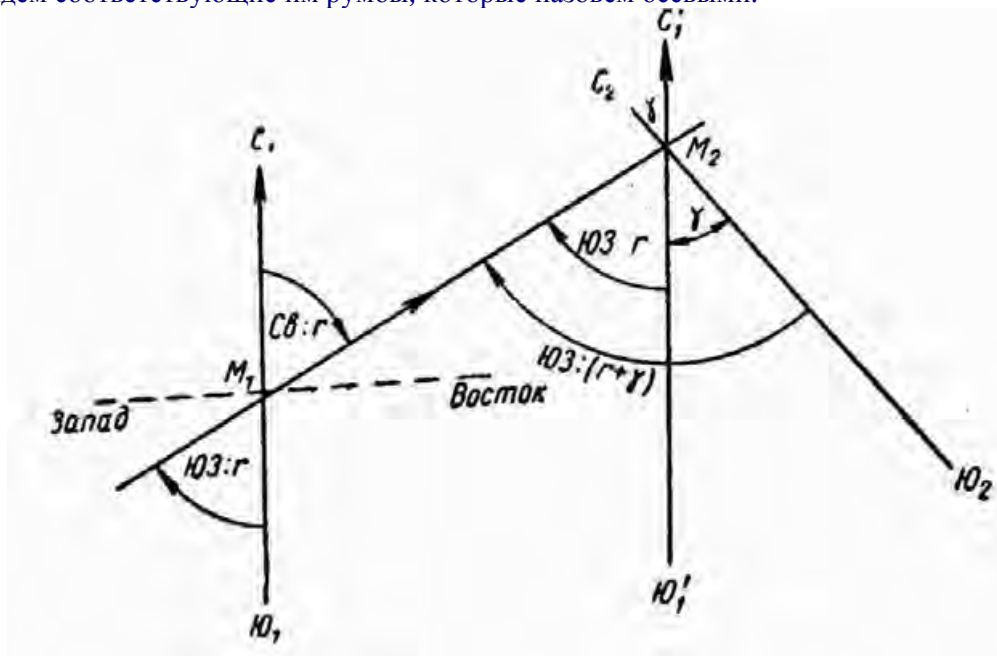


Рис. 23. Прямой и обратный румбы

Румб в точке M_1 линии M_1M_2 (рис. 23) данного направления называется **прямым**, а противоположного направления - **обратным**. Прямой и обратный румбы в одной и той же точке данной линии равны, но имеют названия противоположных четвертей. Прямой и обратный румбы одной и той же линии в разных ее точках имеют названия противоположных четвертей и отличаются на величину сближения меридианов в этих точках. Осевые прямой и обратный румбы одной и той же линии в разных ее точках имеют названия противоположных четвертей, но равны по величине. Так, например, румб СВ: r линии M_1M_2 в точке M_1 есть прямой румб, а обратный в той же точке будет ЮЗ: r ; обратный румб той же линии в точке M_2 будет тоже ЮЗ: r ; если он осевой, и ЮЗ: $(r + \gamma)$ - если он истинный или магнитный.

§ 18. Связь между магнитными и истинными азимутами

Для перехода от магнитного азимута к истинному надо знать величину и название (восточное или западное) **склонения магнитной стрелки**. Магнитное склонение для данного места можно получить на ближайшей метеорологической станции, по топографической карте или по специальной карте склонений. Если A (рис. 24) - истинный азимут линии MN , а A_M — ее магнитный азимут, то при восточном склонении σ_B магнитной стрелки, находящейся в положении, например, M_1 ,

$$A = A_M + \sigma_B,$$

а при западном склонении, когда стрелка расположится, например, на линии M_2 ,

$$A = A_M - \sigma_B.$$

Если условимся, восточное склонение считать положительным, а западное — отрицательным, то в обоих случаях получим

$$A = A_M + \sigma, \quad (\text{IV. 4})$$

т. е. истинный азимут равен магнитному плюс склонение магнитной стрелки.

Величина магнитного склонения в разных точках земной поверхности различна и в одном и том же месте земной поверхности не остается постоянной. Различают суточные, годовые и вековые изменения склонения. Суточные изменения склонения в средних широтах России не превышают 15'. Вековые изменения за период около 500 лет достигают 22°,5. Есть места, где магнитной стрелкой вовсе нельзя пользоваться. Это места магнитных аномалий, в которых наблюдаются значительные местные изменения склонения.

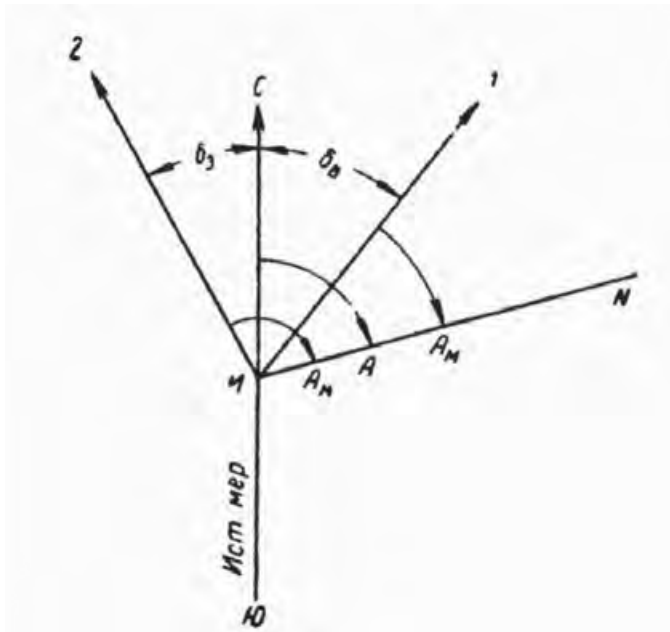


Рис. 24. Связь между $A_{ист}$ и $A_{маг}$.

Свободно подвешенная за центр тяжести магнитная стрелка не висит горизонтально, а уклоняется одним концом вниз (северным - в северном полушарии, южным - в южном), образуя с горизонтальной плоскостью некоторый угол, называемый **наклоном магнитной стрелки**. Наклонение различно в разных точках Земли и не остается постоянным в одном и том же месте, подвергаясь, подобно склонению, вековым и суточным изменениям.

§ 19. Сближение меридианов

При работе с картой, составленной в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции, направления линий по карте определяют дирекционными углами. Для перехода от дирекционных углов к истинным азимутам по формулам, данным в § 16, надо знать сближение меридианов.

Приблизительно сближение меридианов можно найти так. Примем общую фигуру Земли за шар, радиус которого $R=6371$ км (рис. 25). На какой-нибудь параллели с широтой φ возьмем две точки A и B , линейное расстояние между которыми пусть будет 1 км.

В точках A и B вообразим касательные к меридианам, проходящим через эти точки. Эти касательные называются **полуденными линиями**. Тогда угол между касательными представит сближение меридианов точек A и B . Для точек A и B , расположенных в пределах одной какой-нибудь зоны, угол γ настолько мал, что рис. 25 расстояние l можно рассматривать как дугу радиуса AT . Тогда угол γ , выраженный в радианах, будет

$$\gamma = \frac{l}{AT},$$

Но

$$AT = R \operatorname{tg}(90^\circ - \varphi) = R \operatorname{ctg} \varphi = \frac{R}{\operatorname{tg} \varphi},$$

следовательно,

$$\gamma = \frac{l}{R} \operatorname{tg} \varphi.$$

Так как в одном радиане 3438', то сближение меридианов, выраженное в минутах, будет равно

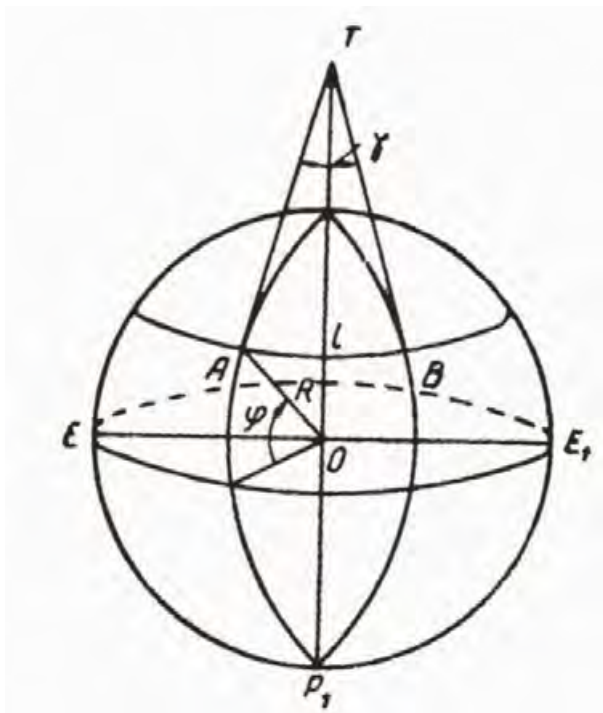


Рис. 25. Сближение меридианов

$$\gamma' = \frac{l}{R} \operatorname{tg} \varphi \cdot 3438'.$$

Подставив сюда вместо R его значение, получим

$$\gamma' = 0,540 l_{km} \cdot \operatorname{tg} \varphi. \quad (\text{IV.5})$$

Если $l_{km}=1$, то

$$\gamma' = 0,540 \operatorname{tg} \varphi. \quad (\text{IV.5}')$$

т. е. *приблизленно сближение меридианов на один километр (выраженное в минутах) равно половине тангенса широты места.*

Так, для точки с $\varphi=55^{\circ}46'$ по формуле (IV.5') $\gamma=0',8$.

При определении направлений во многих случаях ошибка в 1' считается допустимой. В таких случаях сближением меридианов на 1 км можно пренебречь, и на этом расстоянии меридианы в соответствующих точках можно рассматривать как параллельные.

Глава V. РЕЛЬЕФ МЕСТНОСТИ И ЕГО ИЗОБРАЖЕНИЕ

§ 20. Методы изображения рельефа на планах и картах

Для изображения рельефа на планах и картах в тех случаях, когда важнее всего точность изображения, применяется метод горизонталей.

Горизонтали. Горизонталь на местности можно представить как след, образованный пересечением поверхности воды с физической поверхностью Земли на изображаемом участке. Лучшим примером горизонталей на местности служит береговая линия стоячей воды.

Представим себе, что какой-нибудь холм весь залит водой и уровень воды имеет отметку 100 м относительно некоторого условного горизонта. Предположим теперь, что уровень воды упал на 5 м и часть холма обнажилась. Отметка нового уровня воды теперь 95 м. След, образованный пересечением этого уровня с поверхностью холма, и представляет 95-ю горизонталь на местности. Очевидно, это замкнутая кривая.

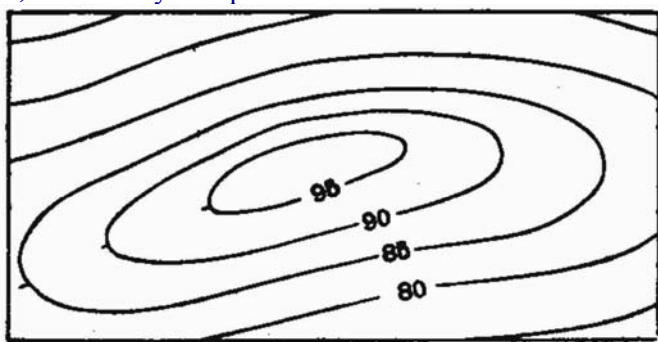


Рис. 26. Изображение местности горизонталями

Уменьшенное изображение горизонтальной проекции этой кривой представит соответствующую горизонталь на плане. Предположим, что уровень воды еще упал на 5 м, тогда получим представление о следующей, 90-й горизонтали и т. д. В результате будем иметь на плане ряд замкнутых горизонталей (рис. 26), по виду и расположению которых можно судить о виде холма. Разность высот двух последовательных горизонталей называется **высотой сечения**. В зависимости от масштаба, характера рельефа и назначения плана (карты) высоты сечения принимают равными 1, 2, 5, 10 м и т. д.

Чем меньше высота сечения, тем точнее должна быть выполнена работа по съемке рельефа.

При детальном изображении слабо выраженного рельефа допускают и дробные интервалы между горизонталями, например, 0,2; 0,25; 0,5 м.

Штрихи. Большую наглядность, но зато меньшую точность в изображении рельефа дает штриховка. Короткие, почти параллельные штрихи проводят перпендикулярно к горизонталям. Их толщина и промежутки между ними находятся в определенной зависимости от крутизны скатов.

Способ штрихов не применяется при составлении планов в инженерной практике, так как не обеспечивает измеримости рельефа.

Пунктир. Для изображения рельефа на картах мелкого масштаба иногда применяют метод пунктира, при этом рельеф выражается при помощи точек различных диаметров.

Цветная пластика. При этом способе рельеф изображается в зависимости от высоты различными оттенками нескольких цветов. Этот метод нагляден и пластичен.

В дальнейшем рассматривается только способ горизонталей как наиболее пригодный для инженерных целей.

§ 21. Изображение геометрических форм горизонталями

На поверхности Земли всегда можно найти формы, напоминающие простейшие геометрические тела. Посмотрим, как они изображаются горизонталями. Возьмем прямой круговой конус (рис. 27). Рассечем его горизонтальными плоскостями, проведенными на равных расстояниях одна от другой. В сечении получим окружности. Это будут горизонтالي в натуре. Проектируя их отвесными линиями на горизонтальную плоскость MN , получим концентрические окружности с одинаковыми расстояниями между ними.

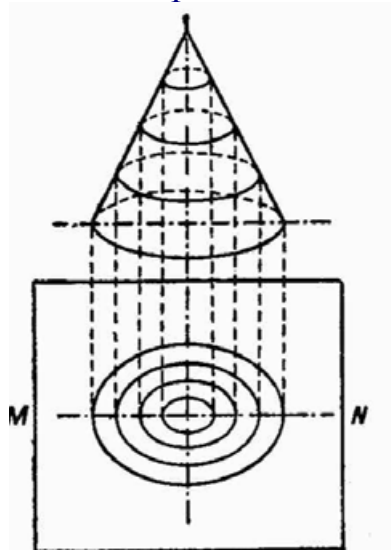


Рис. 27. Прямой конус

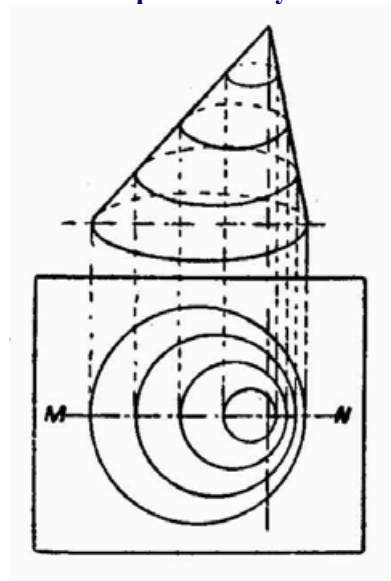


Рис. 28. Боковой конус

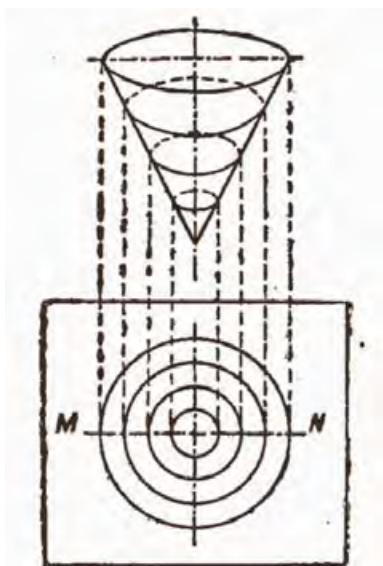


Рис. 29. Чашеобразная впадина

Если бы в основании конуса была не окружность, а эллипс, то на плане горизонтали получились бы в виде эллипсов. Наклонный конус изобразится в горизонталях эксцентрическими окружностями или эллипсами в зависимости от того, будет ли направляющая конуса окружностью (рис. 28) или эллипсом. Так как для данной фигуры расстояние между горизонталями по высоте одинаково, то горизонтальное расстояние между последовательными горизонталями на плане, очевидно, характеризует собой степень крутизны боковой поверхности конуса или крутизну ската на местности. Крутизна боковой поверхности прямого кругового конуса везде одинакова, поэтому и горизонтальные расстояния между концентрическими окружностями на плане везде одинаковы. У наклонного конуса крутизна боковой поверхности не одинакова, поэтому горизонтали на плане идут то ближе, то дальше одна от другой. Чем круче боковая поверхность конуса, тем ближе между собой горизонтали, и, наоборот, чем положе боковая поверхность, тем дальше отстоят горизонтали. Поверхность полушария представится на плане в горизонталях концентрическими сближающимися окружностями. Наклонная плоскость изображается равноотстоящими параллельными прямыми.

Если конус или полушарие повернуть вершиной вниз, то получится воронкообразная (рис. 29) или чашеобразная впадина. Следы сечения этих поверхностей горизонтальными плоскостями такие же, как и для соответствующих им выпуклых форм, поэтому план в горизонталях для одинаковых по форме возвышенностей и впадин один и тот же.

Это недостаток горизонталей. Чтобы можно было отличить возвышенность от впадины, горизонтали, как было уже отмечено, снабжаются бергштрихами и надписываются.

§ 21. Элементы рельефа земной поверхности

Рельеф земной поверхности весьма разнообразен. Различают следующие основные формы рельефа: равнину, гору, котловину, хребет, лощину и седловину.

Равнина имеет плоскую форму. Если высота равнин над уровнем океана не превышает 200 м, их называют **низменностями** или **низменными**. Равнины, лежащие над уровнем океана выше 200 м, называются **возвышенными** или **плоскогорьями**. Выпуклость земной поверхности, напоминающая купол или конус, называется **горой** или **холмом** в зависимости от высоты. Холмом называют возвышенность, приподнимающуюся над окружающей местностью не более чем на 200 м (рис. 30, а).

Гора имеет **вершину**, **склоны** и **подошву**. Вершина горы называется **плато**, если она плоская, и **пик** или **сопка**, если она остроконечная. Боковую поверхность горы называют **склоном** или **скатом**. Склоны гор бывают пологие, покатые и крутые. Пологими называются скаты, наклоненные к горизонту под углом до 5°; покатыми - от 5 до 20° и крутыми - от 20 до 45°. Очень крутой, стенообразного характера склон называется **обрывом** или **кручей** (рис. 30, б). Высокий обрыв называется **утесом**. Площадка на склоне возвышенности называется **уступом**

или **террасой** (рис. 30, б). Подножие или подошва горы - это линия перехода ее боковой поверхности в окружающую местность.

Горе, как выпуклой форме земной поверхности, соответствует противоположная пониженная форма - **КОТЛОВИНА**, представляющая собой чашеобразное углубление или впадину (рис. 30, в).

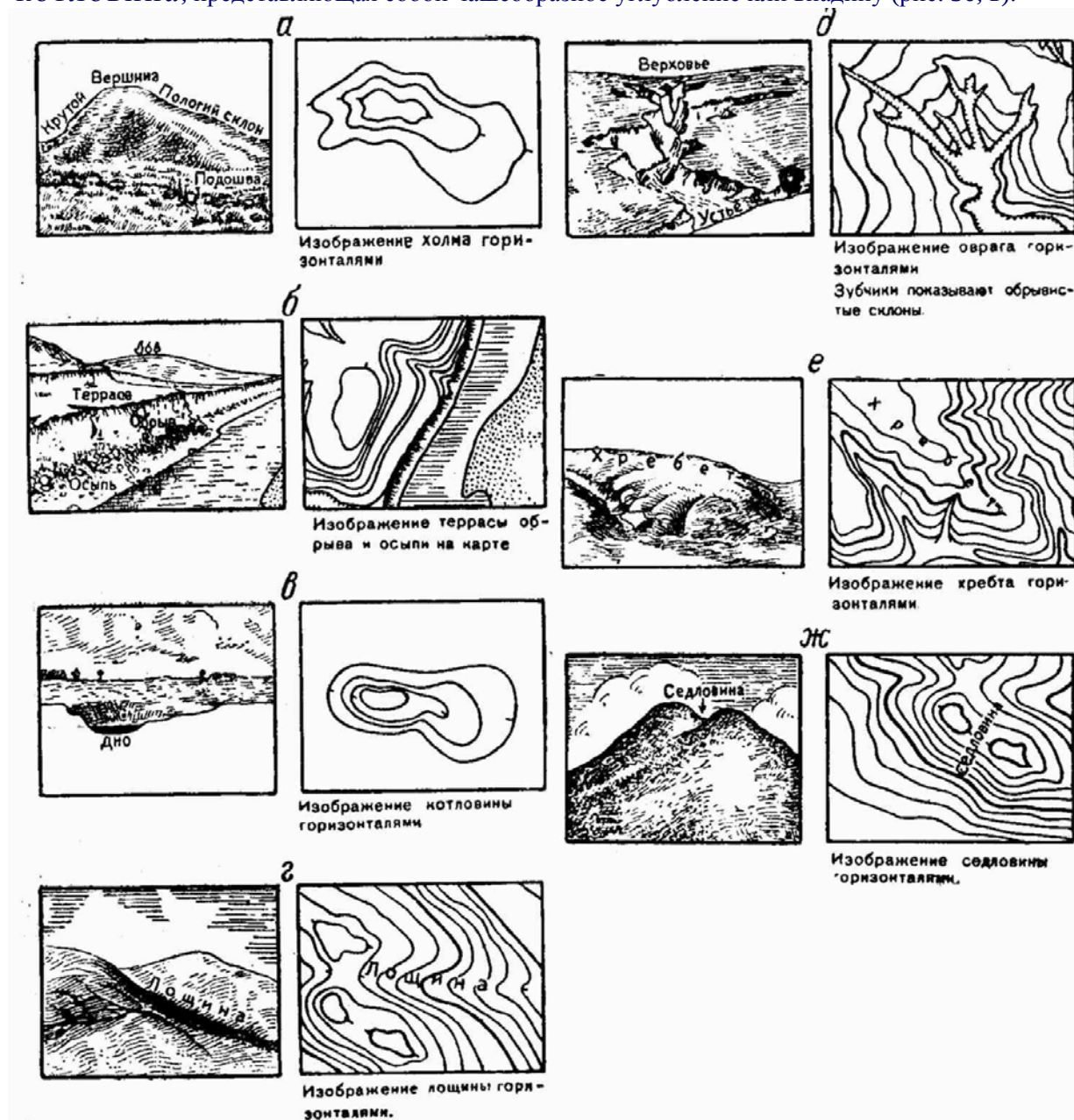


Рис. 30. Примеры изображения местности в горизонталях

Боковую поверхность котловины называют **СКЛОНОМ** (реже - **ЩЕКОЙ**), а самую низкую ее точку - **ДНОМ**. Линия перехода боковой поверхности котловины в окружающую местность называется **бровкой**.

Из пониженных форм рельефа самой распространенной является **ЛОЩИНА** - вытянутое в одном направлении желобообразное углубление земной поверхности с наклоненным в одну сторону дном (рис. 30, з) Лощина является углублением, размытым текучей водой. Склоны лощины (щеки) пересекаются по линии, называемой **ОСЬЮ ЛОЩИНЫ** или **ВОДОСЛИВНОЙ ЛИНИЕЙ**.

Падающая на склоны лощины дождевая вода стекает к оси лощины и отсюда течет по ней. Ось лощины большей частью служит руслом реки или ручья.

Широкая лощина с пологим дном носит название **ДОЛИНЫ**. Узкая лощина с крутыми склонами в равнинной местности называется **оврагом** или **балкой** (рис. 30, г), а в горной -

Рис. 31. Холм

Рис. 32. Котловина

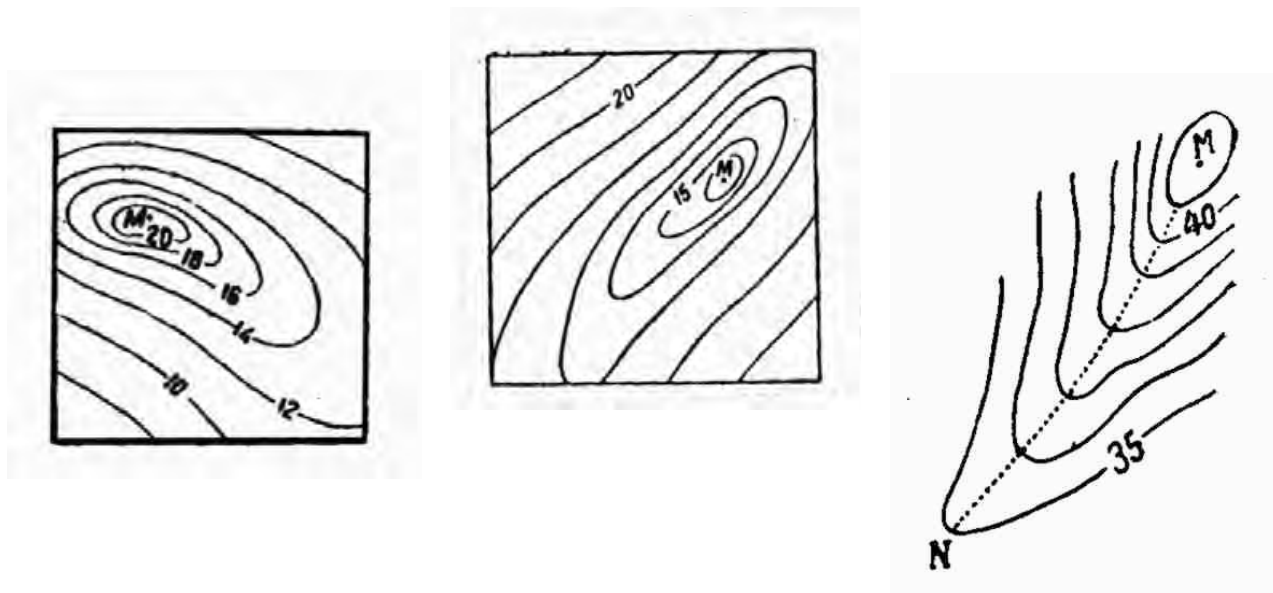
Рис. 33. Хребет

тесниной или **ущельем**.

Под влиянием весенних вод, ливней, а иногда и подземных ключей или источников овраг растёт от устья сверху, врезаясь своей вершиной все дальше в окружающую местность. Дождевая вода, падающая на склоны оврага, размывает их и образует сначала небольшие углубления, потом рытвины и, наконец, овраги; таким образом, у главного оврага появляются боковые овражки. Овраги с обнаженными склонами и дном называются **деятельными** или **растущими**. Овраги, у которых склоны и дно покрыты растительностью, называются **закрепленными**: растительность, закрепляя почву, приостанавливает рост таких оврагов.

Противоположная лощине выпуклая форма земной поверхности, постепенно понижающаяся в одном направлении, называется **хребтом** (рис. 30, е). Обыкновенно две лощины отделяются одна от другой более или менее значительным хребтом. Линия пересечения его склонов называется **осью хребта**, **водоразделом** или **водораздельной линией**. Склоны хребтов имеют волнообразную поверхность, поэтому и водораздельная линия обыкновенно волнообразна. Она проходит по самым высоким точкам хребта. Если склоны пересекаются под острым углом, то вершина хребта называется **гребнем**. Наиболее низкие места водоразделов называются **перевалами**. Они обыкновенно служат путями сообщения между противоположными склонами хребта и в горных странах называются **горными проходами**. На перевалах форма земной поверхности обычно имеет вид седла и по тому называется **седловиной** (рис.30,ж).

§ 22. Определение по горизонталям форм рельефа



Пусть горизонтالي имеют вид замкнутых кривых, как это показано на рис. 31. Нетрудно убедиться, что представленные на плане горизонтالي изображают холм. В самом деле, если из точки *М* перемещаться по любому направлению, то будем постепенно понижаться, пересекая последовательно горизонтالي 20, 18, 16, 14 и т. д. Точка *М* - вершина холма. Замкнутые горизонтالي с отметками, возрастающими в стороны от *М* (рис. 32), указывают на то, что поверхность земли образует в этом месте впадину, т. е. форму, противоположную холму. Допустим теперь, что горизонтали на плане имеют вид разомкнутых кривых, обращенных выпуклостью в одну сторону (рис. 33). Рассматривая отметки горизонталей, замечаем, что по направлению от точки *М* к *Н* местность понижается; в поперечном направлении она сначала повышается, достигает наибольшей

высоты на линии MN и потом понижается. Такая выпуклость земной поверхности представляет хребет, а линия MN - его водораздел.

Легко определить, что на рис. 34 изображена форма, противоположная хребту, т. е. лощина. Линия MN является осью этой лощины. Сопоставляя рис. 33 и 34, видим, что горизонтали, изображающие хребет, обращены выпуклостью вниз по склону, а лощину - выпуклостью вверх по склону.

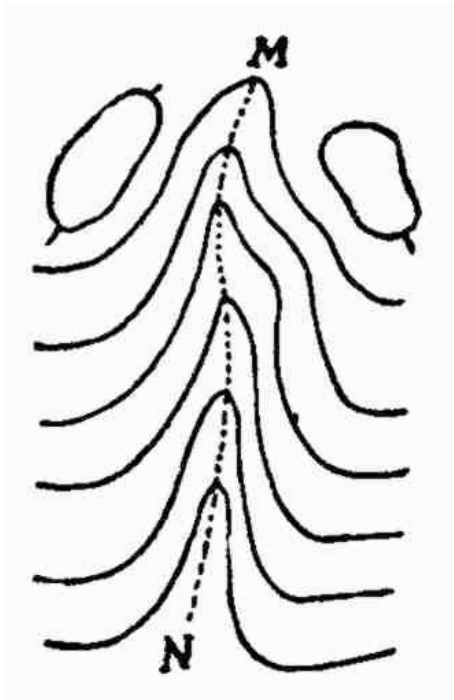


Рис. 34. Лощина

Рассмотрим, наконец, горизонтали, изображенные на рис. 35. На север и на юг от точки A местность понижается, а на восток и на запад от точки A местность повышается. Следовательно, представленные на плане горизонтали изображают седловину.

§ 23. Свойства горизонталей

Из понятия о горизонталях вытекают следующие их свойства:

1. Все точки, лежащие на одной и той же горизонтали, имеют на местности одинаковую высоту.

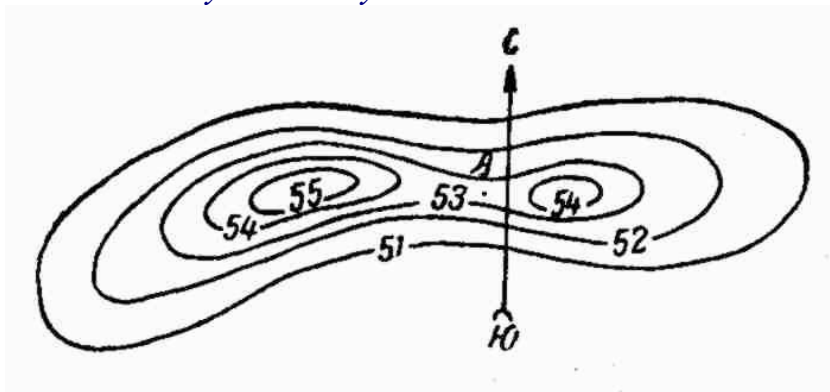


Рис. 35. Седловина

2. Все горизонтали, замыкающиеся в пределах плана или карты, обозначают или холм или котловину; они опознаются по бергштрихам или по надписям.

3. Так как всю физическую поверхность Земли можно рассматривать - как возвышение над уровнем моря, то все горизонтали должны быть непрерывными как в пределах плана или карты, так и за их пределами. Горизонталь, не замкнувшаяся в пределах плана, обрывается у его рамки.

4. *Горизонтали не могут пересекаться на плане. Редкое исключение из этого правила будет лишь в том случае, когда горизонталями изображается нависший утес (рис. 36).*

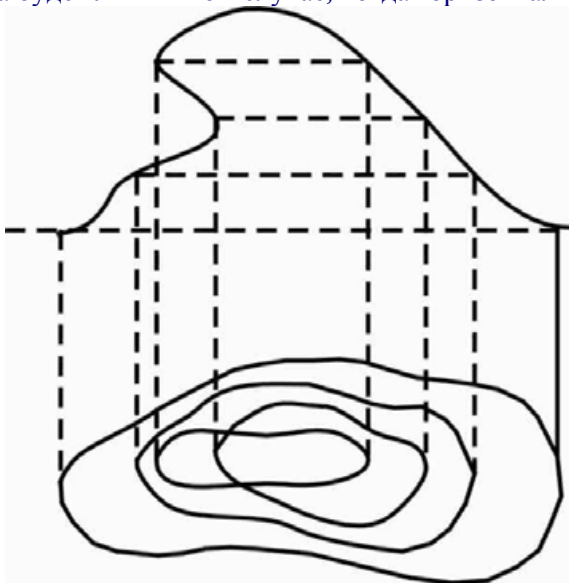


Рис. 36. Утес

5. Так как горизонтали находятся по высоте на одинаковом расстоянии одна от другой, то *расстояния между ними в плане характеризуют крутизну ската*. На склонах, имеющих равномерный скат, промежутки между горизонталями одинаковы. На крутых скатах промежутки между горизонталями меньше, чем на пологих.

6. *Самое короткое расстояние между горизонталями - перпендикулярная к ним линия - соответствует направлению наибольшей крутизны.*

7. *Водораздельные линии и оси лощин пересекаются горизонталями под прямыми углами* (см. рис. 33 и 34).

8. *Горизонтали, изображающие наклонную плоскость, имеют вид параллельных прямых.*

Глава VI. ПОЛЬЗОВАНИЕ ПЛАНОМ И КАРТОЙ

§ 24. Приборы, используемые при работе с планом и картой

Линейка деревянная, металлическая или из пластмассы применяется для проведения прямых линий. Линейка, на которой нанесены миллиметровые деления, используется также для откладывания или измерения отрезков прямых.

Линейка должна удовлетворять следующим условиям:

- а) *поверхности, которыми линейка накладывается на бумагу, должны быть плоскостями;*
- б) *ребра линейки должны быть прямолинейными.*

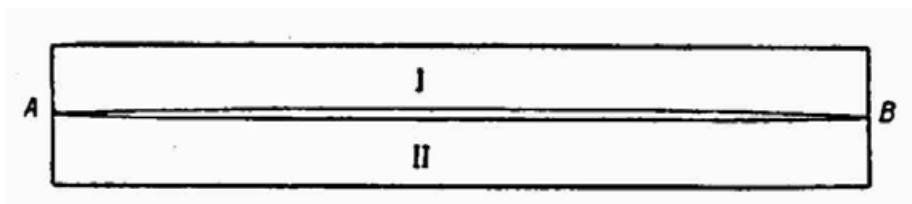


Рис. 38 Линейка деревянная.

Для проверки выполнения первого условия кладут линейку на выверенную плоскость чертежной доски и смотрят, нет ли просветов между линейкой и доской. Если просветов нет, то линейка удовлетворяет первому условию. Для проверки прямолинейности ребер проводят на бумаге по испытуемому ребру линейки остро очиненным карандашом линию *AB* (рис. 38). Переложив линейку около испытуемого ребра из I положения во II, снова проводят по тому же ребру линию между точками *A* и *B*. Если обе проведенные линии совпадут, то второе условие считается выполненным. Линейки, не удовлетворяющие указанным условиям, к работе не пригодны.

Если на линейке нанесены деления, то последние сравниваются с делениями выверенной металлической линейки.

Треугольник в сочетании с линейкой служит для проведения прямых, параллельных и перпендикулярных линий к данной прямой. *Поверхности и ребра треугольника должны удовлетворять условиям, предъявляемым к линейке, а угол между катетами должен быть прямым.* Выполнение последнего условия проверяется так. Малым катетом треугольник прикладывают к краю выверенной линейки *AB* (рис. 39) и по краю большого катета проводят карандашом линию *ab*.

Затем, не сдвигая линейки, перекладывают треугольник из I положения во II и снова проводят карандашом линию по краю большого катета. Если обе проведенные линии совпадут, то условие выполнено.

Циркуль-измеритель состоит из двух ножек с острыми концами; противоположные концы ножек соединены шарниром. *Ножки циркуля должны быть одинаковой длины и, сведенные вместе, должны давать один тонкий накол — точку.*

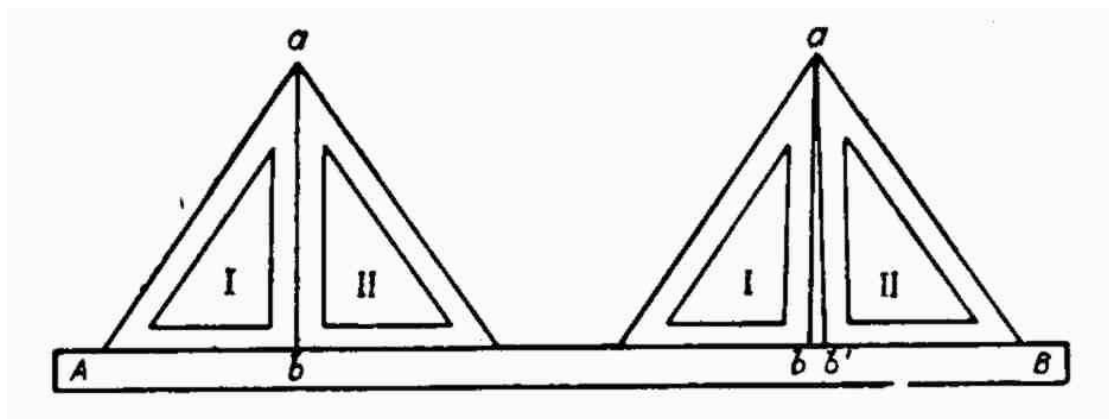


Рис. 39 Треугольник

Штангенциркуль. Для измерения и откладывания больших расстояний применяется штангенциркуль, состоящий из бруска, вдоль которого могут перемещаться две муфты *B* и *C* (рис. 40), имеющие каждая ножку с острым концом. После закрепления муфт одну из них можно передвигать в небольших пределах при помощи микрометрического винта *b*.

Курвиметр (рис. 41) применяется для измерения длин кривых линий. Он состоит из коробки, внутри которой находится система зубчатых колес; на верхней крышке помещается циферблат с двумя шкалами делений и стрелка. Коробка оканчивается колесиком. Это колесико ведут при измерении по линии, удерживая за ручку курвиметр перпендикулярно к плоскости чертежа. Движение колесика передается системе зубчатых колес и стрелке, показывающей на циферблате по одной шкале число пройденных сантиметров, а по другой - число дюймов. Зная масштаб плана или карты, нетрудно определить длину линии в натуре. Если например, масштаб плана 1:10000, а отсчет по шкале курвиметра 10,5 см, то длина соответствующей длины на местности будет $10000 \times 10,5 \text{ см} = 1050 \text{ м}$.

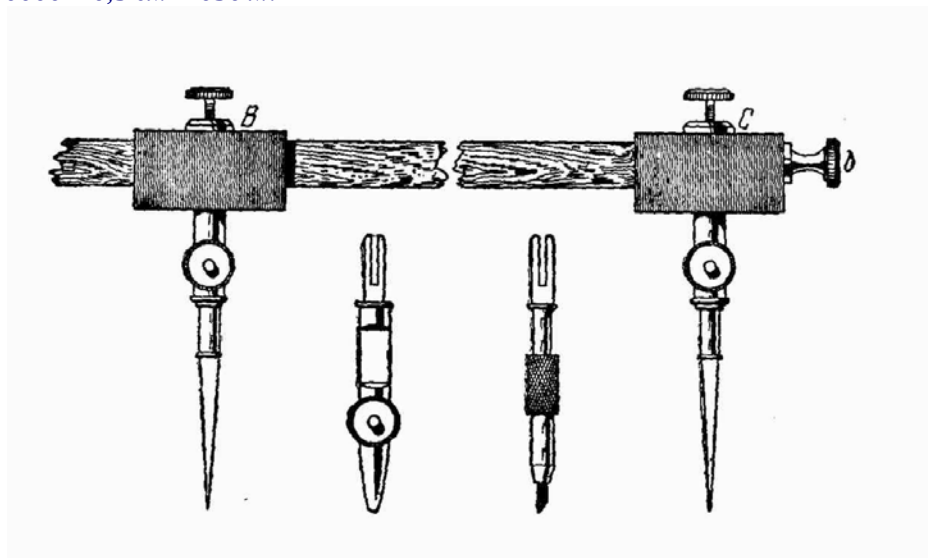


Рис. 40 Штангенциркуль.

До применения курвиметра необходимо определить цену деления его шкал. Для этого проводят курвиметром по линии, имеющей определенную длину, например 20 см. Если при этом стрелка пройдет 20 делений, то цена одного деления соответствующей шкалы будет равна $20 \text{ см} / 20 = 1 \text{ см}$, если же стрелка покажет, например 18 делений то цена одного деления будет $20 \text{ см} / 18 = 1,11 \text{ см}$. Цену деления определяют несколько раз и за окончательный результат принимают среднее арифметическое из всех результатов измерений, если они не содержат грубых ошибок.

Транспортир. Этот прибор служит для измерения и построения углов на бумаге. Он делается из металла или целлулоида и имеет вид полукруга, опирающегося на линейку (рис. 42). Центр *C* полукруга находится на скошенном выступе верхнего ребра линейки. Внешняя полукруглость разделена на градусы. Иногда последние делят и на более мелкие части.

Транспортир должен удовлетворять следующим условиям:

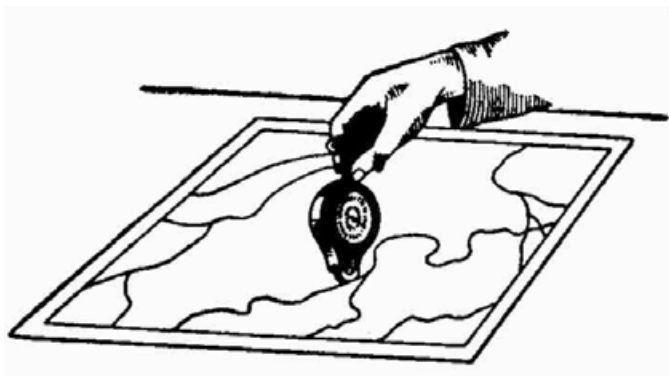


Рис. 41 Курвиметр

- а) нижнее ребро линейки должно быть прямой линией;
- б) нижнее ребро линейки должно быть параллельно нулевому диаметру транспортира;
- в) центр C полукруга и штрих 90° должны лежать на прямой, перпендикулярной к нулевому диаметру транспортира;
- г) деления полукруга должны быть равны между собой.

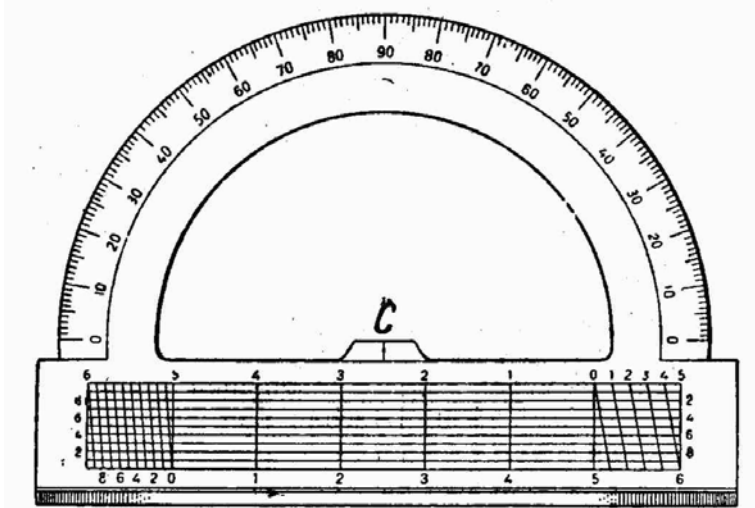


Рис. 42 Транспортир.

Выполнение первого условия проверяется, как описано выше. Для проверки соблюдения второго условия прочерчивают на бумаге прямую линию, совмещают с ней нулевой диаметр транспортира и затем прочерчивают по нижнему ребру транспортира вторую прямую линию; обе прямые должны быть параллельны, в чем легко убедиться при помощи треугольника и линейки. Если это условие не выполнено, то транспортир для работы непригоден.

Для проверки выполнения третьего условия транспортир прикладывают к одной из сторон прямого угла (тщательно построенного) так, чтобы центр C полукруга совпал с вершиной угла, а нулевой штрих - со стороной угла; если при этом вторая сторона пройдет через деление 90° , то условие выполнено. В противном случае транспортиром нельзя пользоваться.

Для проверки равенства делений полукруга можно поступить так: построив при помощи транспортира какой-нибудь угол, например, в 20° , вращают транспортир вокруг его центра, совмещая одну сторону этого угла последовательно со штрихами 2° , 4° , 6° и т. д. В случае равенства делений с другой стороной угла должны совпадать штрихи 22° , 24° , 26° и т. д. Равенство делений можно проверить и при помощи циркуля, если измерять длину между штрихами в разных частях транспортира. Если деления полукруга не равны, то транспортир непригоден для построения и измерения углов.

При помощи обыкновенного транспортира дуги отсчитываются с точностью до $1/4^\circ$. У некоторых транспортиров имеются приспособления (верньеры), позволяющие повысить точность отсчетов до 5 и даже до $1'$.

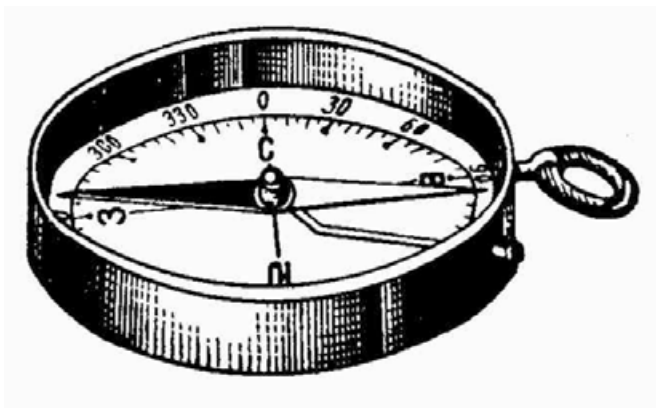


Рис. 43 Компас.

Компасы используются для ориентирования на местности относительно стран света; они бывают различных систем. В геодезии применяются компасы следующего устройства. В небольшой круглой коробке (рис. 43) в центре кольца с градусными делениями укреплен острый штифт, на котором свободно вращается магнитная стрелка. Северный конец стрелки синий, южный - светлый. Для предохранения острия от притупления стрелка при хранении и переноске компаса приподнимается и плотно прижимается к стеклянной крышке компаса особым рычажком, называемым **арретиром**. На дне коробки против штрихов 0° , 90° , 180° и 270° нанесены буквы С, В, Ю, З, обозначающие названия стран света. Размещены буквы так, что если вращением коробки подвести штрих с буквой С (нулевой штрих кольца) под северный конец свободно и спокойно лежащей на острие стрелки, то буква В будет обращена на восток, Ю - на юг и З - на запад. Установка компаса в такое положение называется **ориентированием** его по странам света.

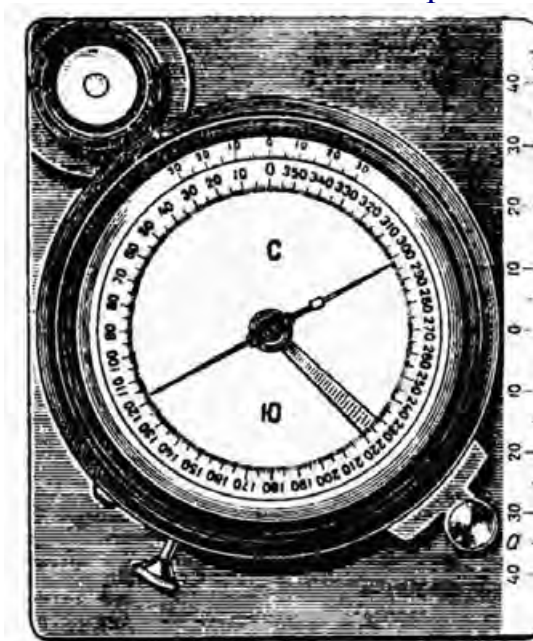


Рис. 44 Буссоль

При работе с компасом его градусное кольцо надо держать горизонтально и не допускать наличия поблизости железных и стальных предметов. При помощи градусного кольца компаса можно определить магнитный азимут направления на любой предмет местности. Для этого, ориентируя компас, кладут на него по диаметру тоненькую линейку и, направив ее на предмет, читают по концу, обращенному к предмету, магнитный азимут. Бывают компасы с румбическим кольцом, позволяющие читать магнитные румбы направлений.

Более точное ориентирование может быть осуществлено при помощи компаса больших размеров и более совершенной конструкции. Такой компас называется **буссолью**. Буссоли применяются как самостоятельные приборы или служат частями других геодезических инструментов. На рис. 44 представлена буссоль, применяемая для ориентирования планов и карт.

Коробка буссоли помещена на пластинке со скошенным краем, на котором нередко наносят миллиметровые деления. На пластинке иногда помещается круглый уровень, служащий для приведе-

ния градусного кольца буссоли в горизонтальное положение. Коробка буссоли имеет арретир. Один конец магнитной стрелки снабжен передвижной муфтой для уравнивания стрелки.

Буссоль должна удовлетворять следующим условиям.

1. *Коробка буссоли не должна содержать железа.* Соблюдение этого условия обеспечивается заводами, изготовляющими инструменты. Для проверки надевают стрелку на иголку, воткнутую в стол, и подносят коробку к стрелке разными частями. При отсутствии железа стрелка не должна колебаться.

2. *Магнитная стрелка должна обладать достаточной чувствительностью.* Для проверки соблюдения этого условия приводят градусное кольцо буссоли в горизонтальное положение и, дав стрелке успокоиться, производят отсчет по одному из ее концов; затем, поднося железный предмет, отводят конец стрелки в сторону и, когда стрелка успокоится, снова отсчитывают по тому же концу стрелки; оба отсчета должны быть одинаковы. Так поступают несколько раз. Если отсчеты неодинаковы, то можно предположить, что стрелка слабо намагничена, или острие шпильки недостаточно отточено, или плохо отшлифована внутренняя поверхность шляпки стрелки. Эти недостатки исправляются в мастерской.

3. *Магнитная стрелка должна быть уравновешена.* Для проверки выполнения этого условия приводят при помощи уровня градусное кольцо буссоли в горизонтальное положение; если концы свободной стрелки будут находиться в плоскости кольца буссоли, то условие выполнено; в противном случае передвижением муфточки, имеющейся на одном конце стрелки, добиваются совмещения плоскости стрелки с плоскостью градусного кольца.

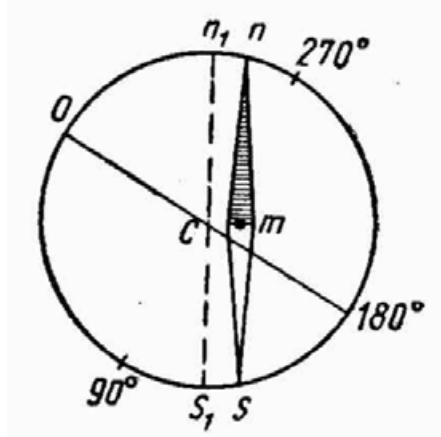


Рис. 45 Проверка буссоли.

4. *Ось вращения магнитной стрелки должна проходить через центр градусного кольца буссоли.* Для проверки соблюдения этого условия приводят градусное кольцо буссоли в горизонтальное положение и, вращая буссоль, отсчитывают по обоим концам свободной стрелки на разных местах градусного кольца. Если разность таких отсчетов будет равна 180°, то условие выполнено. В противном случае говорят, что магнитная стрелка имеет эксцентриситет. Устранить эксцентриситет магнитной стрелки нельзя, но влияние его можно и необходимо исключить. Для этого надо отсчитывать по кольцу буссоли по обоим концам стрелки.

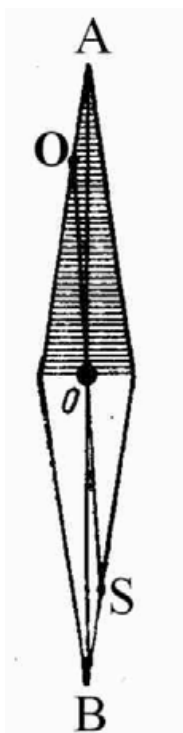


Рис. 46 **Магнитная ось стрелки**

В самом деле, из рис. 45 видно, что если ось от вращения стрелки не проходит через центр С градусного кольца, то вместо направления n_1s_1 стрелка укажет направление $ns \parallel n_1s_1$, и насколько отсчет n по северному концу будет преуменьшен, настолько по южному концу измененный на 180° отсчет s будет преувеличен, так как $n_1n = s_1s$; следовательно, взяв среднее арифметическое из обоих отсчетов, получим верный результат.

5. *Магнитная ось стрелки должна совпадать с геометрической.* Если магнитная ось ns (рис. 46) не совпадает с геометрической AB , то в определение направления линий относительно магнитного меридиана войдет ошибка, равная величине угла noA . Для определения величины этого угла снимают крышку буссоли и берут отсчет по северному концу A стрелки, затем снимают стрелку со шпилья, перевинчивают шляпку на другую сторону стрелки, снова надевают стрелку на острие шпилья и берут новый отсчет по тому же концу стрелки. Разность отсчетов, очевидно, выразит двойную величину угла noA . При проверке буссоль должна быть неподвижна.

Если шляпка стрелки не вывинчивается, то угол noA можно обнаружить, сравнивая показания данной стрелки с показаниями стрелки поверенной буссоли.

Если магнитная ось не совпадает с геометрической, то в каждый результат измерений по буссоли надо вводить поправку на величину угла noA или заменить стрелку другой (у которой обе оси совпадают).

6. *Деления градусного кольца буссоли должны быть верны.* Правильность нанесения делений может быть проверена циркулем. Так как деления наносят делительной машиной, то это условие обычно бывает выполнено.

7. *Нулевой диаметр кольца буссоли должен быть параллелен скошенному краю пластинки.* Проверка производится непосредственным измерением циркулем расстояния между диаметром, проходящим через 0° , и скошенным краем пластинки.

§ 25. Ориентирование плана или карты

Ориентировать план или карту значит расположить их так, чтобы направления на плане или на карте были параллельны соответствующим им направлениям горизонтальных проекций на местности.

Ориентирование плана или карты можно осуществить по буссоли или по линии местности, изображенной на плане или на карте, например по оси дороги, улицы и т. п.

Ориентирование по буссоли. Ориентировать план или карту по буссоли можно при помощи изображенных на них меридианов или километровых линий координатных сеток.

Если план составлен по магнитному меридиану, то для его ориентирования (рис. 47) нужно привести план в горизонтальное положение, положить на него буссоль или компас так, чтобы диаметр СЮ был направлен по меридиану буквой С на север, и освободить стрелку. Когда стрелка успокоится, осторожным вращением плана вместе с лежащей на нем буссолью (компасом) подвести штрих с буквой С (нулевой штрих кольца) под северный конец стрелки, и план будет ориентирован.

Для ориентирования плана или карты при помощи буссоли по истинному меридиану надо знать склонение магнитной стрелки, соответствующее данному листу плана или карты (обычно склонение магнитной стрелки показывается для года съемки на самой карте).

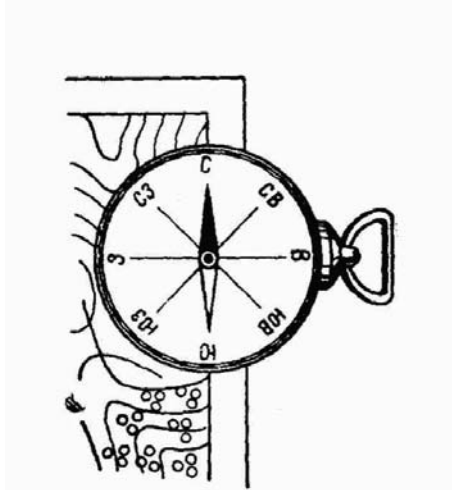


Рис. 47 Ориентирование по буссоли

Пусть, например, склонение $\delta = +6^\circ$. Тогда, положив буссоль на карту так, чтобы нулевой диаметр СЮ был направлен по истинному меридиану, поворачивают карту вместе с буссолью до тех пор, пока по северному концу магнитной стрелки получится отсчет 6° к востоку от нулевого штриха кольца буссоли.

Для ориентирования плана или карты по буссоли или компасу при помощи километровой координатной сетки надо знать, кроме склонения магнитной стрелки δ , еще и сближение меридианов γ ; последнюю величину также можно найти на самой карте.

Ориентирование плана или карты совмещением нулевого диаметра буссоли или компаса СЮ с вертикальной линией километровой сетки (рис. 48) производится подобно предыдущему. В этом случае поворачивают план или карту вместе с буссолью (компасом) так, чтобы по северному концу магнитной стрелки получился отсчет, равный $\delta - \gamma$ к востоку или к западу от нулевого штриха в зависимости от знака этой величины.

Разность $\delta - \gamma$ представляет величину угла, образованного направлением магнитной стрелки с вертикальной линией километровой сетки.

Для произвольно взятого направления PQ (рис. 48) этот угол равен $\alpha - A_m$. В самом деле, на основании формул (IV.3) и (IV.4) можем написать:

$$\alpha = A - \gamma$$

и

$$A_m = A - \gamma,$$

откуда находим

$$\alpha - A_m = \delta - \gamma.$$

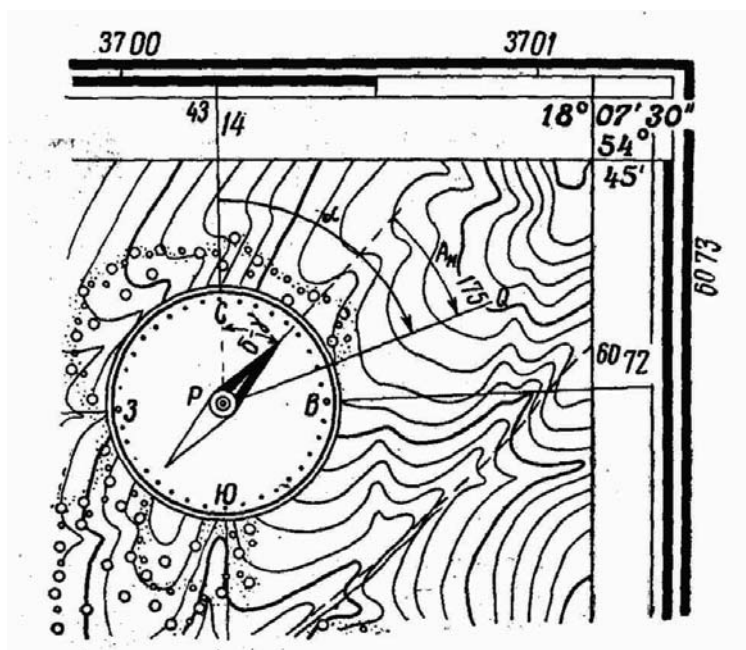


Рис. 48 Ориентирование по линии.

Если, например $\delta = +6^\circ$ и $\gamma = -2^\circ$, то $\delta - \gamma = +8^\circ$. В таком случае для ориентирования карту вместе с bussolью надо повернуть так, чтобы по северному концу магнитной стрелки получился отсчет 8° к востоку от нулевого штриха кольца bussoli или компаса.

Ориентирование по линии. Для ориентирования плана или карты по линии местности нужно найти ее на плане или на карте и стать на этой линии (на местности), после чего поворотом плана или карты направить опознанную на них линию параллельно соответствующей линии на местности. Такое ориентирование удобно делать при помощи специальной трехгранной линейки.

§ 26. Определение направления линии, заданной на плане или на карте

Направление линии, заданной на плане или на карте, определяется относительно магнитного, истинного или осевого меридиана при помощи транспортира или bussoli.

Для решения задачи при помощи транспортира на плане или на карте проводят меридиан через точку, в которой надо измерить азимут или румб данной линии. Так, например, чтобы определить направление AB (рис. 49), в точке A прочерчивают направление ns , параллельное ближайшему меридиану ab . Меридианы $ab, cd, ef...$ на рис. 49 показаны через l' по долготы. На карте их проводят при помощи градусных делений на рамках листа. Затем прикладывают транспортир к линии ns так, чтобы нулевой диаметр проходил по ней, а центр был совмещен с точкой A . Отсчет по транспортиру, соответствующий линии AB , выразит ее истинный азимут (угол nAB). Так как полученный в данном случае угол меньше 90° , то истинный румб этой линии северо-восточный и по величине равен азимуту. Подобным образом нетрудно определить направления и других линий, указанных на карте.

Зная склонение магнитной стрелки, можно нанести на карту магнитный меридиан в точке A (рис. 49) и измерить транспортиром непосредственно по карте магнитный азимут или румб линии AB . Равным образом, если на плане или на карте будет нанесена километровая координатная сетка, то для всех линий трассы могут быть непосредственно измерены транспортиром дирекционные их углы или соответствующие им осевые румбы.

Та же задача может быть решена на плане или на карте и при помощи bussoli. Положив карту горизонтально, прикладывают к меридиану ns скошенный край bussoli так, чтобы штрих, соответствующий букве C bussoli, был обращен к точке n карты. Освободив стрелку и дав ей успокоиться, поворачивают карту вместе с bussolью в горизонтальной плоскости до тех пор, пока под северный конец находящейся в покое магнитной стрелки подойдет штрих при букве C bussoli. Запретив после этого карту, можно по ней при помощи bussoli непосредственно измерять истинные азимуты или румбы любых заданных линий. Если теперь к линии AB на карте (рис. 49) приложить окошенным краем bussolь (рис. 50), то свободная магнитная стрелка bussoli будет параллельна линии ns , а нулевой диаметр bussoli параллелен линии AB . Следовательно, угол между нулевым

диаметром буссоли и северным направлением магнитной стрелки, т. е. отсчет по северному концу стрелки, и выразит величину истинного азимута линии AB .

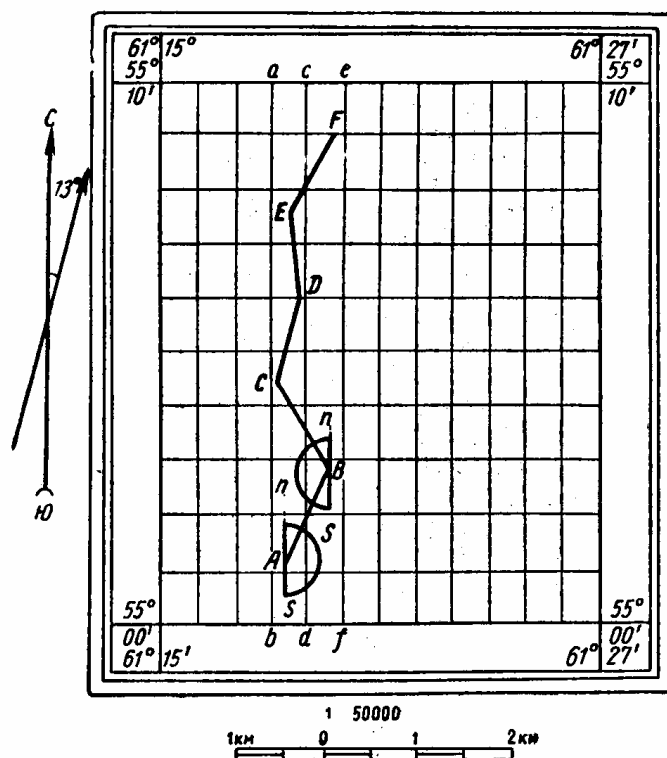


Рис. 49

Если аналогичные действия произвести относительно магнитного меридиана или километровых линий координатной сетки, то при помощи буссоли непосредственно можно измерить магнитные азимуты и дирекционные углы или соответствующие им румбы.

§ 27. Нанесение линий на план или карту по заданным направлениям

Направления линий могут быть заданы азимутами, дирекционными углами или румбами. По этим данным линии могут быть нанесены на план или карту при помощи транспортира или буссоли.

Чтобы нанести на карту линию AB (рис. 49) по заданному истинному азимуту при помощи транспортира, через данную точку A проводят истинный меридиан ns этой точки; прикладывают транспортир нулевым диаметром к меридиану, располагая полуокружность транспортира справа, если заданный азимут не больше 180° , и слева, если он больше 180° , совмещают центр транспортира с данной точкой A и отмечают по дуге транспортира от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки точку, соответствующую значению азимута; через эту точку и проводят линию AB .

Аналогично может быть построена линия по магнитному азимуту. В последнем случае на плане или на карте надо иметь направление магнитного меридиана.

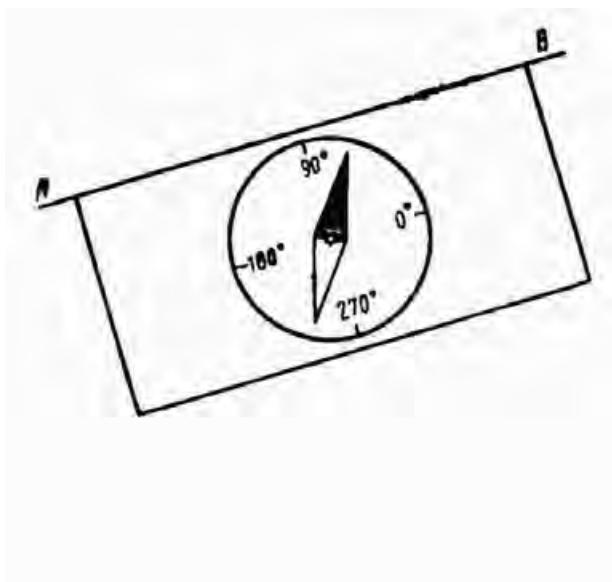


Рис. 50 Ориентирование линии при помощи буссоли.

При построении линий на плане или на карте с километровой координатной сеткой по дирекционным углам или соответствующим им румбам можно прикладывать транспортир не только к координатной линии, проходящей с юга на север через данную точку, но и к любой другой километровой линии, близко расположенной к данной точке. Когда ребро транспортира будет иметь требуемое направление, то через данную точку легко провести с помощью треугольника и линейки линию, параллельную ребру транспортира и направленную от данной точки в ту же сторону.

При помощи буссоли эта задача решается так. Положив карту горизонтально, прикладывают к меридиану $\mu\sigma$ (рис. 50) данной точки скошенный край буссоли так, чтобы штрих при букве С буссоли был обращен к точке μ карты; освободив стрелку и дав ей успокоиться, поворачивают карту вместе с буссолью в горизонтальной плоскости до тех пор, пока под северный конец стрелки подойдет штрих при букве С буссоли. Закрепив в этом положении карту, прикладывают к данной точке скошенным краем буссоль и поворачивают ее около этой точки до тех пор, пока северный конец стрелки покажет отсчет, соответствующий данному азимуту. После этого по скошенному краю буссоли прочерчивают линию.

Подобным же образом можно нанести на план или карту линию, заданную магнитным азимутом или дирекционным углом. В этих случаях задача решается относительно магнитного меридиана или километровых линий.

§ 28. Чтение рельефа

Зная, как изображаются горизонталями основные формы рельефа, можно распознать все элементы рельефа, изображенные на плане или на карте. При чтении рельефа весьма важно учитывать гидрографию. Она помогает отличать возвышенности от углублений. Озера, как правило, расположены в котловинах, а реки - в долинах.

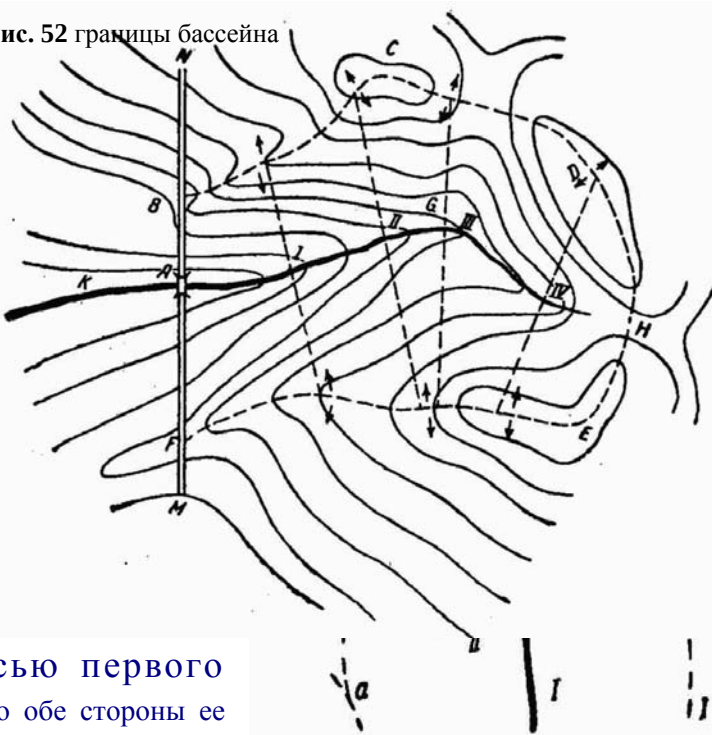
Если на плане с горизонталями выделить оси долин и водоразделы, то получится сеть линий на первый взгляд между собой не связанных. Но такое впечатление только кажущееся. Внимательный анализ покажет, что между этими линиями существует зависимость.

Примем самую большую долину за главную и назовем ось ее **осью первого порядка**. Как правило, от этой оси по обе стороны ее найдем оси второстепенных долин. Назовем их **осями второго порядка**. От них, в свою очередь, пойдут

ответвления, которые могут быть названы **осями третьего порядка** и т. д. Таким образом, оси долин образуют как бы систему связанных между собой линий. Такую систему можно представить в виде дерева (рис. 51), стволом которого служит ось главной долины, а ветвями - оси второстепенных долин.

Долины отделяются одна от другой более или менее значительными хребтами. Оси этих хребтов также образуют систему, напоминающую собой дерево, ветви которого входят в промежутки между ветвями долин. Это можно видеть на том же рис. 53, где оси долин показаны сплошными линиями, а оси хребтов - пунктиром. Римскими цифрами обозначены номера осей долин, а арабскими - номера водоразделов. Между каждыми двумя осями долин легко обнаружить соответствующий им водораздел. Выделив оси долин и хребтов, легче читать по плану рельеф местности. Эти линии, таким образом, являются как бы опорой при чтении рельефа.

Рис. 52 границы бассейна



§ 29. Бассейн и его границы

Бассейном или **водосборной площадью** называется часть земной поверхности, с которой вода, образуемая от атмосферных осадков и вообще верховая вода, должна по условиям рельефа стечь в данный водоток (реку, ручей, овраг, балку и т. п.). Границами водосборной площади служат водораздельные линии. На рис. 52 показаны границы бассейна для искусственного сооружения в точке А. Водораздельная линия *BCDHEF* проведена пунктиром перпендикулярно к горизонталям. Линия *КА-I-II-III-IV* является водосливной.

Определение площадей бассейнов различных водотоков имеет практическое значение. Эти данные, в частности, нужны для расчета искусственных сооружений при постройке дорог. Если, например, дорога пересекает ложину, то она должна пройти по насыпи. Чтобы стекающая по ложине вода не задерживалась насыпью и не размывала ее, в насыпи делают отверстие в виде трубы или моста. Размеры этих отверстий рассчитываются в зависимости от количества протекающей через них воды. Количество же воды зависит от площади, с которой она собирается, т. е. от площади бассейна. Площади бассейнов больших водотоков обычно определяются по картам среднего масштаба, а бассейнов малых водотоков - по крупномасштабным картам не мельче 1:50 000.

§ 30. Определение по горизонталям отметок точек, уклона линии, направления и крутизны ската

Определение отметок. Если данная точка лежит на горизонтали, то ее отметка устанавливается по высоте этой горизонтали.

Пусть точка c (рис. 53) лежит между горизонталями с отметками 73 и 72. Определим ее отметку.

Для этого проведем через точку c линию ab , перпендикулярную к горизонталям, т. е. являющуюся кратчайшим расстоянием между горизонталями. Предполагается, что местность изменяется по высоте плавно, т. е. линия ab не имеет изломов в вертикальной плоскости. Отрезок ab на плане представляет горизонтальную проекцию некоторой линии местности (рис. 54), точка B которой выше точки a на 1 м. Отрезок ab называют **ЗАЛОЖЕНИЕМ** соответствующей ему линии местности aB . Возьмем миллиметровку или клетчатую бумагу и перенесем на нее с плана циркулем заложение ab . По вертикали из точки B отложим на миллиметровке в любом масштабе десять равных отрезков и последнюю точку B будем считать имеющей высоту 73. При этом bB будет равно 1 м. Соединив точки a и B прямой, получим профиль местности по линии ab плана. Возьмем теперь с плана в раствор циркуля заложение ac и перенесем его на профиль. В точке c профиля проведем вертикаль cC , которая в пересечении с линией aB профиля (в точке C) представит изображение соответствующей точки местности. Высоту точки C легко отсчитать по миллиметровке. В данном случае она равна 72,65 м. Отметку точки C можно получить и аналитически, для чего к отметке 72 прибавляют величину cC , которая определяется из подобия треугольников bBa и cCa .

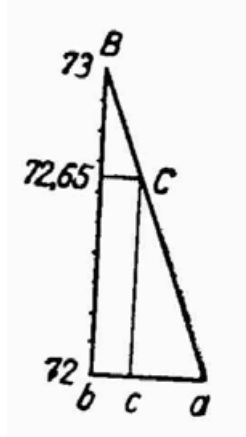


Рис. 54

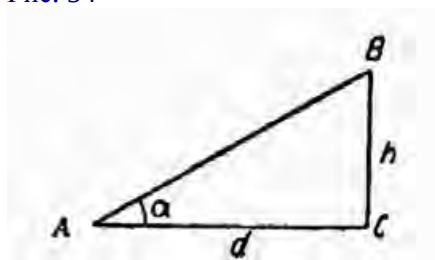


Рис. 55 Определение уклона линии

Определение уклона. Пусть линия местности AB (рис. 55) наклонена к горизонту AC под углом α . Тангенс этого угла называется **УКЛОНОМ** линии и обозначается буквой I

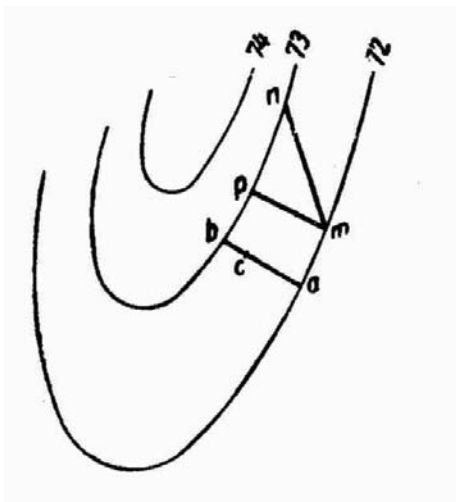


Рис. 53 Определение отметки точки.

$$i = \operatorname{tg} \alpha \quad (\text{VII.1})$$

Как видно из рисунка, $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{d}$, следовательно, г. е. *уклон линии равен отношению*

превышения h к заложению d . Если, например, $h=1$ м, а $d=20$ м, то $i=0,05$.

Положив в формуле (VII.2) $d=1$, получим $i=h$. Отсюда заключаем, что уклон линии численно можно рассматривать как превышение, приходящееся на единицу горизонтального расстояния. Уклон $i=0,05$ показывает, что линия местности повышается или понижается на 5 см через каждый метр или на 5 м через каждые 100 м, горизонтального расстояния.

На основании данного определения можно найти уклон линии, заложение которой mn (рис. 53) показано на плане между двумя соседними горизонталями. Так как точки m и n лежат соответственно на горизонталях 72 и 73, то превышение h равно 1 м. Заложение $mn=d$ измерим по плану при помощи масштаба. Пусть оно равно 28 м; тогда $i = \frac{h}{d} = \frac{1}{28} = 0,036$. Уклоны часто выражают в процентах. В этом случае полученный уклон будет $i=3,6\%$.

Определение направления и крутизны ската. Возьмем на рис. 53 линию mp между горизонталями 72 и 73. Длина линии mp меньше длины линии mn , а вертикальное расстояние между горизонталями в обоих случаях одно и то же - 1 м. Следовательно, линия, соответствующая заложению mp круче линии, соответствующей mn . Очевидно, *самому короткому расстоянию между двумя соседними горизонталями будет соответствовать самая крутая линия на местности*. Вода, падающая на склон, стекает по линии наибольшего уклона, поэтому направление этой линии принимается за направление ската, а уклон этой линии служит мерой его крутизны.

§ 31. Масштабы заложений

Масштаб для определения уклонов. Крутизна ската определяется крутизной линии mp (рис. 53). Мерой этой крутизны служит уклон линии

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{d}.$$

На рис. 53 вертикальное расстояние между горизонталями $h = 1$ м. следовательно

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{d},$$

откуда

$$id = 1, \quad (\text{VII. 3})$$

т. е. *произведение уклона на заложение для данного плана есть величина постоянная*. Зная одну из этих величин, легко найти другую. Обыкновенно по заложению d определяют уклон i по формуле

$$i = \frac{h}{d}. \quad (\text{VII.4})$$

Чтобы не прибегать каждый раз к вычислениям, строят на плане график, который называют **масштабом заложений**. Он позволяет по данному заложению a графически определять уклон i .

Примем в формуле (VII. 4) $h=1$, а i последовательно равным: 0,008; 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,70; 1,00, найдем соответствующие значения $d = \frac{1}{i}$, они будут равны 125;

100; 33,3; 20; 14,3; 10; 5; 3,3; 2,5; 2; 1,4; 1. На вертикальной прямой отложим произвольные равные отрезки (рис. 57) и подпишем у концов их последовательно 0,008; 0,01; 0,03 и т. д. Через каждую точку проведем горизонтальную прямую и на ней отложим в масштабе плана соответствующее заложение d . Концы отложенных отрезков соединим кривой. Полученный график и представит масштаб заложений. При помощи этого масштаба легко определить уклон линии, взятой по плану между двумя соседними горизонталями. Так, например, взяв циркулем отрезок ab (рис. 53), переносим его с плана на график и помещаем, как указано на рис. 57. Легко видеть, что заложению ab соответствует уклон 0,04.

Масштаб для определения углов наклона. Зная уклон i линии, можно определить из (VII.1) и угол a наклона ее к горизонту

$$\text{tga} = i = \frac{h}{d}. \quad (\text{VII.5})$$

Иногда предпочитают строить масштаб заложений так, чтобы он выражал крутизну в углах наклона. Для построения такого масштаба при $h=1$ имеем из (VII.5):

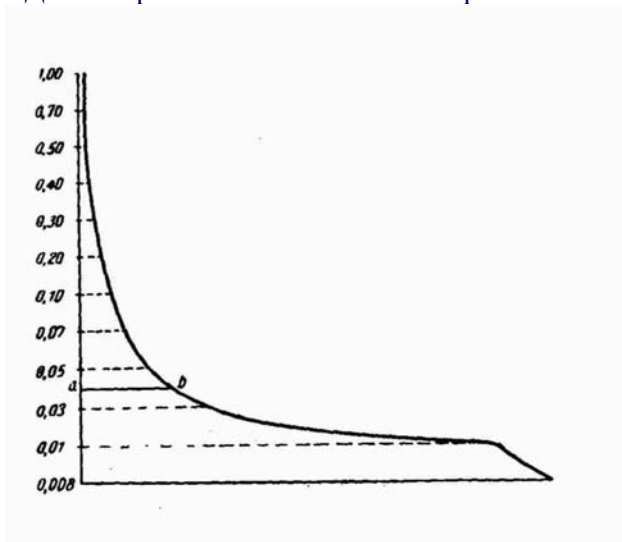


Рис. 57 Масштаб заложений.

$$\text{tga} = \frac{1}{d}.$$

или

$$\text{ctga} = d. \quad (\text{VII. 6})$$

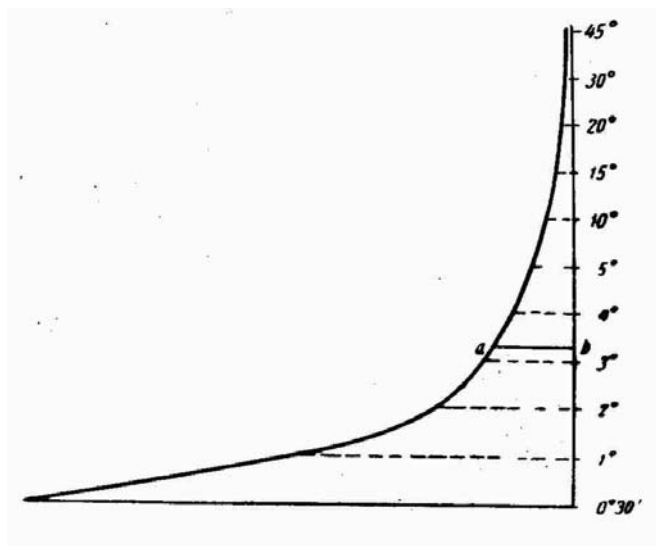


Рис. 56 **Определение угла наклона.**

Из таблиц натуральных значений тригонометрических функций выписываем котангенсы: 114,6; 57,3; 28,6; 19,1; 14,3; 11,4; 5,7; 3,7; 2,8; 1,7 и 1 углов $0^{\circ}30'$; 1° ; 2° ; 3° ; 4° ; 5° ; 10° ; 15° ; 20° ; 30° ; и 45° . Формула (VII.6) показывает, что если заложение, взятое с плана между двумя смежными горизонталями с высотой сечения $h=1$ м, окажется, например, равным 114,6 м, то эта линия на местности наклонена под углом, котангенс которого равен 114,6, т. е. под углом $\alpha=0^{\circ}30'$. Отсюда легко понять, как надо строить масштаб заложений, чтобы он выражал крутизну в углах наклона.

На вертикальной прямой отложим равные отрезки произвольной длины (рис. 56). У концов этих отрезков напомним последовательно $0^{\circ}30'$; 1° ; 2° ; 3° ; 4° и т. д. Через каждую точку проведем горизонтальную прямую и на ней отложим в масштабе плана соответствующее заложение d . Так, на горизонтальной прямой, проведенной через точку $0^{\circ}30'$, отложим $d=114,6$ м; на прямой, проходящей через точку 1° , $d=57,3$ м и т. д. Концы отложенных отрезков соединим кривой. Полученный график и представит масштаб заложений в углах наклона. Если, например, какое-нибудь заложение, взятое с плана, поместится на линии ab , то это покажет, что соответствующая линия местности наклонена к горизонту под углом $\alpha=3^{\circ}$.

При построении масштабов, показанных на рис. 56 и 57, $h=1$ м; если бы h было равно 2 м, то соответствующие числа нужно было бы удвоить. Это вытекает из соотношения $i \cdot d = h$, откуда

$$d = \frac{1}{i} h,$$

т. е. d прямо пропорционально высоте сечения h .

§ 32. Построение по горизонталям профиля местности и проектирование линии заданного уклона

Пусть требуется построить профиль по линии AB (рис. 58) при помощи горизонталей. Проводим произвольную прямую ab и на ней откладываем расстояния между точками (I, II, III... VII) пересечения горизонталей карты с данной прямой AB . Высоты этих точек известны и равны высотам соответствующих горизонталей или получены интерполяцией (IV). Откладываем их на перпендикулярах к прямой ab . Соединив вершины перпендикуляров прямыми линиями, получим требуемый профиль. Обыкновенно расстояния между точками I, II, ... VII откладывают в масштабе карты, а высоты точек в масштабе в десять раз крупнее, чтобы выразить профиль местности более рельефно.

Проектирование линии заданного уклона часто встречается в инженерной практике, оно применяется при **трассировании** по карте линейных сооружений. Трассирование линии производится или непосредственно на местности, или предварительно по картам с горизонталями. Трассирование представляет собой довольно сложный комплекс работ. Здесь рассмотрим лишь задачу нанесения на план или карту в горизонталях линии заданного предельного уклона.

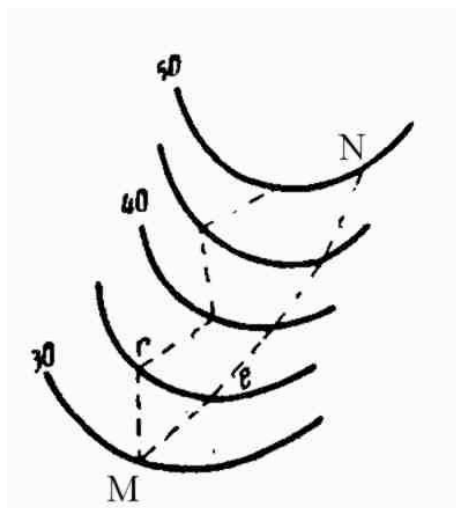


Рис. 59 Построение линии заданного уклона.

Допустим, что из точки M (рис. 59) требуется провести кратчайшую линию в точку N так, чтобы уклоны отдельных участков ее не превышали 5%. По условию задачи подъем или падение линии допускается не более 1 м на каждые 20 м или 5 м на 100 м горизонтального расстояния. Так как горизонталы проведены на карте через 5 м, то при соблюдении требования 5‰ уклона расстояние между смежными горизонталями должно быть не менее 100 м. Взяв в раствор циркуля по масштабу карты 100 Ат, засекаем этим радиусом из точки M горизонталь 35 в двух точках c и e . Из этих точек тем же радиусом 100 м засекаем 40-ю горизонталь. Если этот прием продолжим далее, то получим два варианта решения. Направление MeN менее извилистое и ближе к заданному. Этот вариант решения и можно принять за искомый.

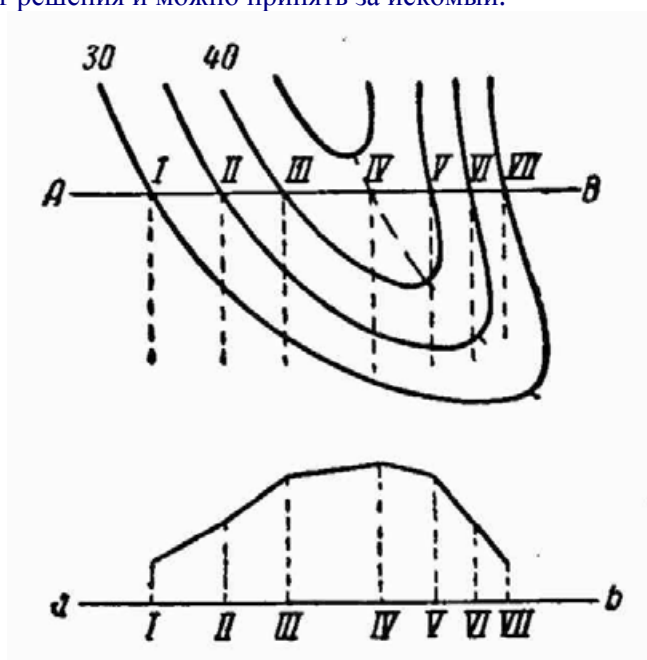


Рис. 58 Построение профиля местности

Глава VII. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ И ПЛАНАМ

§ 33. ГРАДУСНАЯ И КИЛОМЕТРОВАЯ СЕТКИ КАРТЫ. ЗАРАМОЧНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ

Крупномасштабные и среднемасштабные карты издаются отдельными листами на территорию, ограниченную в зависимости от масштаба определенными размерами по широте и долготе. Северная и южная линии внутренней рамки листа карты являются параллелями, а западная и восточная - меридианами (рис. 23). В углах внутренней рамки листа указываются их широты и долготы.

На расстоянии 0,6 см от внутренней рамки карты проводится градусная рамка в виде двойной линии, разделенной по широте и долготе на части, кратные 1'. Минутные интервалы деляются попеременно черным и белым (не закрашенные части) цветами. Каждый минутный интервал с помощью точек разбит на 10-секундные интервалы. Используя разграфку градусной рамки, на листе карты можно расчертить градусную сетку (сеть меридианов и параллелей), позволяющую определять географические координаты точек карты.

Кроме градусной сетки на карту наносится квадратная координатная сетка зональной системы плоских прямоугольных координат. Стороны квадратов этой сетки обычно выражаются целым числом километров, поэтому ее называют километровой.

Линии километровой сетки, проведенные с юга на север, параллельны осевому меридиану зоны (т. е. оси Ox), а линии, проходящие с запада на восток, параллельны изображению экватора на плоскости проекции (т. е. оси Oy). Подписи горизонтальных линий соответствуют расстоянию в километрах от экватора, а вертикальных - их приведенным ординатам (первая цифра обозначает номер зоны, а последующие - ординату линии плюс 500км). С помощью километровой сетки определяются прямоугольные координаты $\{x, y\}$ точек на карте.

В общем случае на листах карты, не примыкающих к осевому меридиану зоны, вертикальные линии километровой сетки повернуты на западе или востоке относительно меридианов градусной сетки на величину сближения меридианов. Если лист карты расположен в западной части зоны, то километровая сетка развернута на запад относительно градусной сетки, и наоборот. Например, изображенный на рис. 23 лист карты расположен в западной части зоны, поэтому километровая сетка развернута на запад на угол сближения меридианов $\gamma = -0^\circ 27'$.

За градусной рамкой листа карты вычерчивается оформительская рамка. Все подписи и графики, расположенные за пределами этой рамки, относятся к зарамочному оформлению. Над оформительской рамкой указываются номенклатура листа карты и его название, соответствующее обычно названию наиболее крупного населенного пункта, изображенного на карте. В северо-западном углу листа карты указывается система прямоугольных координат, а в северо-восточном — наименование учреждения (ведомства), выполнившего съемку.

В юго-западном углу листа карты приводятся величины склонения магнитной стрелки σ (например, восточное $0^\circ 45'$), сближения меридианов γ (например, западное $0^\circ 27'$) и суммарной поправки $P = \sigma - \gamma$, облегчающие ориентирование карты по компасу. Правее дается схема взаимного расположения вертикальной линии километровой сетки (оси Ox), истинного и магнитного меридианов.

В южной части листа подписывается численный масштаб карты (например, 1:25000), пояснительный масштаб (в 1 см - 250 м) и вычерчивается масштаб. Ниже масштабов указываются высота сечения рельефа (например, «сплошные горизонталы проведены через 5 м») и наименование принятой системы высот. Справа от масштабов приводится график заложений. В юго-восточном углу листа карты указываются метод съемки, год составления и издания карты и производитель работ.

К зарамочному оформлению относятся также подписи номенклатуры соседних листов, которые подписываются в разрывах градусной и оформительской рамок в середине каждой стороны, схемы расположения листов в комплекте и некоторые другие пояснительные надписи.

§ 34. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК НА КАРТЕ

При решении различных инженерно-технических задач по карте часто возникает необходимость определения географических (геодезических) и прямоугольных координат точек или нанесения точек по известным координатам на карту. Для решения этих вопросов используется градусная и километровая сетка карты.

Определение геодезических координат точки. Для определения геодезических координат (B, L) точки на карте проводят ближайшие к данной точке (см. рис. 23) южную параллель и западный меридиан, соединив одноименные минутные деления градусной рамки.

Определяют широту B_0 и долготу L_0 точки A_0 пересечения проведенных меридиана и параллели. Через западную точку A проводят линии, параллельные ближайшим меридиану и параллели, и с учетом масштабов минутной рамки измеряют расстояния $AA_1 = \Delta B$ и $AA_2 = \Delta L$. Тогда окончательно геодезические координаты точки определяются так:

$$B_A = B_0 + \Delta B; L_A = L_0 + \Delta L.$$

Для рассматриваемого примера

$$B_A = 54^\circ 16' + 18'' = 54^\circ 16' 18'';$$
$$L_A = 14^\circ 23' + 24'' = 14^\circ 23' 24''.$$

Определение прямоугольных координат точки. Для определения прямоугольных координат (x, y) точки C (см. рис. 23), используя оцифровку километровой сетки, находят координаты (x_0, y_0) юго-западного угла, в котором находится данная точка. Затем из точки C на стороны квадрата опускают перпендикуляры CC_1 и CC_2 и с учетом масштаба карты определяют их длины:

$$CC_1 = \Delta x \text{ и } CC_2 = \Delta y.$$

Тогда прямоугольные координаты точки C :

$$X_C = X_0 + \Delta x; Y_C = y_0 + \Delta y.$$

В рассматриваемом примере:

$$x_c = 6017 \text{ км} + 0,510 \text{ км} = 6017,510 \text{ км};$$
$$y_c = 3461 \text{ км} + 0,670 \text{ км} = 3461,670 \text{ км}.$$

Задача по нанесению на карту точки, заданной геодезическими или прямоугольными координатами, является обратной относительно рассмотренной выше задачи по определению координат точек на карте. Точность решения этих задач зависит от масштаба карты.

§ 35. ОРИЕНТИРОВАНИЕ КАРТЫ ПО КОМПАСУ

Ориентировать карту - это значит расположить ее так, чтобы направления линий на карте были параллельны направлениям горизонтальных проекций соответствующих линий местности.

При проектировании карты с помощью компаса (буссоли) следует помнить, что ось магнитной стрелки прибора устанавливается в направлении магнитного меридиана. На карте же имеются только направления истинных меридианов (западная и восточная линии внутренней рамки) и направления, параллельные оси Ox (вертикальные линии километровой сетки). Следовательно, при ориентировании карты с помощью компаса по истинному меридиану необходимо учитывать склонение магнитной стрелки β , а по километровой сетке - склонение δ и сближение меридианов V ; при этом удобно пользоваться схемой взаимного расположения вертикальной линии километровой сетки (оси Ox), истинного и магнитного меридианов, приводимой в левом нижнем углу листа карты.

Для ориентирования карты по истинному меридиану компас прикладывают (см. рис. 23) к западной или восточной линии внутренней градусной рамки таким образом, чтобы его диаметр $0 - 180^\circ$ был параллелен направлению истинного меридиана, а нуль шкалы направлен на север. Вращая карту вместе с компасом в горизонтальной плоскости, добиваются такого положения, когда северный конец стрелки компаса отклонится от нуля на величину угла, равную склонению магнитной стрелки β ; если склонение восточное (см. рис. 23), то магнитная стрелка своим северным концом отклонится от нуля на восток, если западное - на запад.

При ориентировании карты по километровой сетке компас прикладывают к вертикальной линии километровой сетки и, вращая карту с компасом в горизонтальной плоскости, добиваются такого положения, чтобы северный конец стрелки отклонился от нуля на угол, равный суммарной

поправке за склонение магнитной стрелки и сближение меридианов, т. е. $\Pi = \sigma - \gamma$. В приведенном примере (см. рис. 23) северный конец стрелки компаса должен отклониться на восток на угол $(+0^\circ 4') - (-0^\circ 27') = +1^\circ 12'$.

§ 36. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИСТИННОГО И МАГНИТНОГО АЗИМУТОВ И ДИРЕКЦИОННОГО УГЛА НАПРАВЛЕНИЯ ПО КАРТЕ

Для определения по карте истинного азимута направления через начальную его точку B , используя минутную разграфку градусной рамки, проводят истинный меридиан, относительно которого геодезическим транспортиром измеряют величину истинного азимута A (рис. 24). Зная величины склонения магнитной стрелки σ и сближения меридианов γ , можно рассчитать магнитный азимут и дирекционный угол данного направления, исходя из формул (4) и (5):

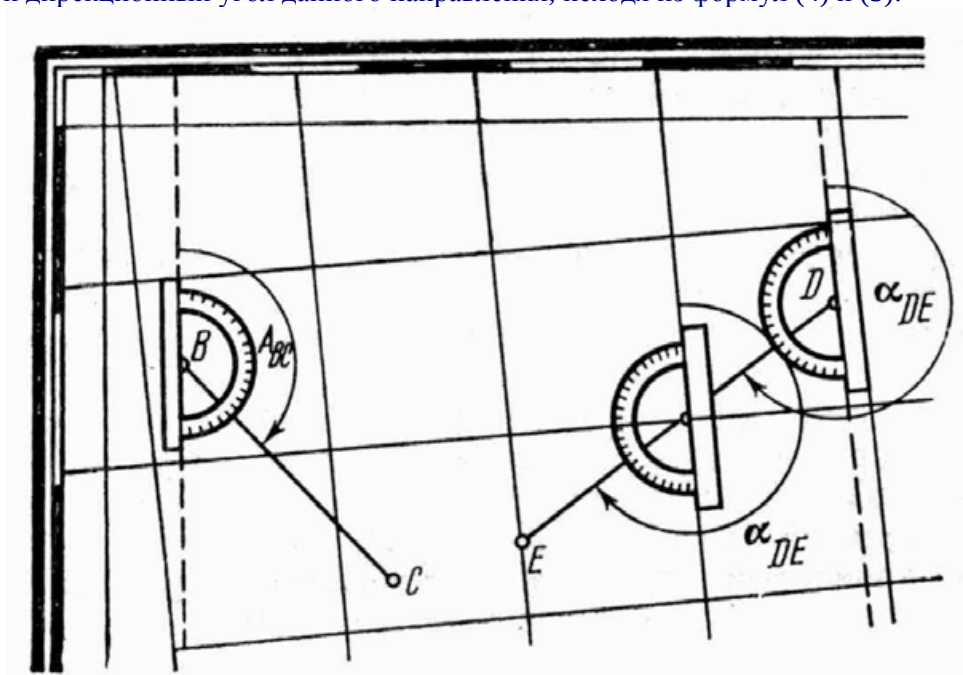


Рис. 60 Схема определения истинного азимута и дирекционного угла направления на карте.

$$A_M = A - \sigma; \alpha = A - \gamma.$$

Для определения по карте дирекционного угла направления DE через начальную его точку D проводят линию, параллельную оси абсцисс, т. е. вертикальной линии километровой сетки, и относительно нее измеряют транспортиром дирекционный угол α_{DE} (см. рис. 24). Дирекционный угол заданной линии можно замерить в любой точке ее пересечения с вертикальной линией километровой сетки.

Если известны (либо определены графически) координаты x_1, y_1 и x_2, y_2 , начальной и конечной точек линии, то дирекционный угол данного направления может быть рассчитан по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}.$$

На практике для решения указанных задач обычно сначала находят дирекционный угол направления, а затем, зная склонение магнитной стрелки σ и сближение меридианов γ , переходят к истинному и магнитному азимутам, исходя из формул (5) и (6):

$$A = \alpha + \gamma;$$

$$A_M = \alpha - \sigma + \gamma = \alpha - \Pi.$$

Средние значения σ и γ для данного листа карты приводятся на схеме и в пояснениях в юго-западном углу карты.

§ 37. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ПЛАНУ ИЛИ КАРТЕ С ГОРИЗОНТАЛЯМИ

Определение высот точек по горизонталям. Отметка точки, расположенной на горизонтали, равна отметке этой горизонтали. Если горизонталь не оцифрована, то ее отметка находится по оцифровке соседних горизонталей с учетом высоты сечения рельефа.

Более общим является случай, когда точка находится между двумя горизонталями. Пусть точка M (рис. 25, а), отметку которой требуется определить, расположена между горизонталями с отметками 125 и 130 м.

Через точку M проводят прямую AB как кратчайшее расстояние между горизонталями и на плане измеряют заложение $d = AB$ и отрезок $l = AM$. Как видно из вертикального разреза по линии AB (рис. 25,б), величина Δh представляет собой превышение точки M над младшей горизонталью. Из подобия треугольников ABB' и AMM' следует:

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{l}{d}.$$

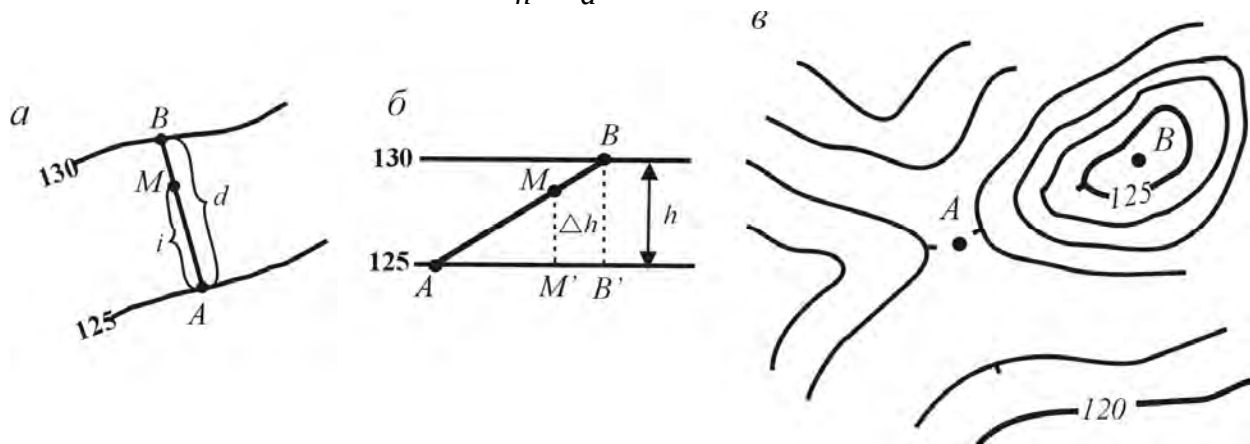


Рис. 61. Схема определения отметок точек по горизонталям:

а,б – точка расположена между разноименными горизонталями; в – точка расположена между одноименными горизонталями

Отсюда

$$\Delta h = \frac{l}{d} h.$$

Тогда

$$H_M = H_A + \Delta h = H_A + \frac{l}{d} h.$$

Для приведенного на рис. 25, а примера

$$H_M = 125 \text{ м} + \frac{14}{20} \cdot 5 \text{ м} = 128,5 \text{ м}.$$

Если точка расположена между горизонталями с одинаковыми отметками (точка A на рис. 25, в) либо внутри замкнутой горизонтали (точка B), то ее отметку можно определить лишь приблизительно. При этом считают, что отметка точки меньше или больше высоты этой горизонтали на половину высоты сечения рельефа, т. е. $0,5h$ (например, $H_A = 121,5\text{м}$, $H_B = 125,5\text{м}$). Поэтому отметки характерных точек рельефа (вершина холма, дно котловины и т. п.), полученные из измерений на местности, выписывают на планах и картах.

Определение крутизны скатов и уклонов линий по горизонталям, Графики заложений. Крутизна ската (угол наклона ската) v и уклон линий i между точками, лежащими на соседних горизонталях, определяются по известной формуле:

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{d}.$$

отсюда

$$v = \operatorname{arctg} \frac{h}{d},$$

где h - высота сечения рельефа, м; d - заложение, м.

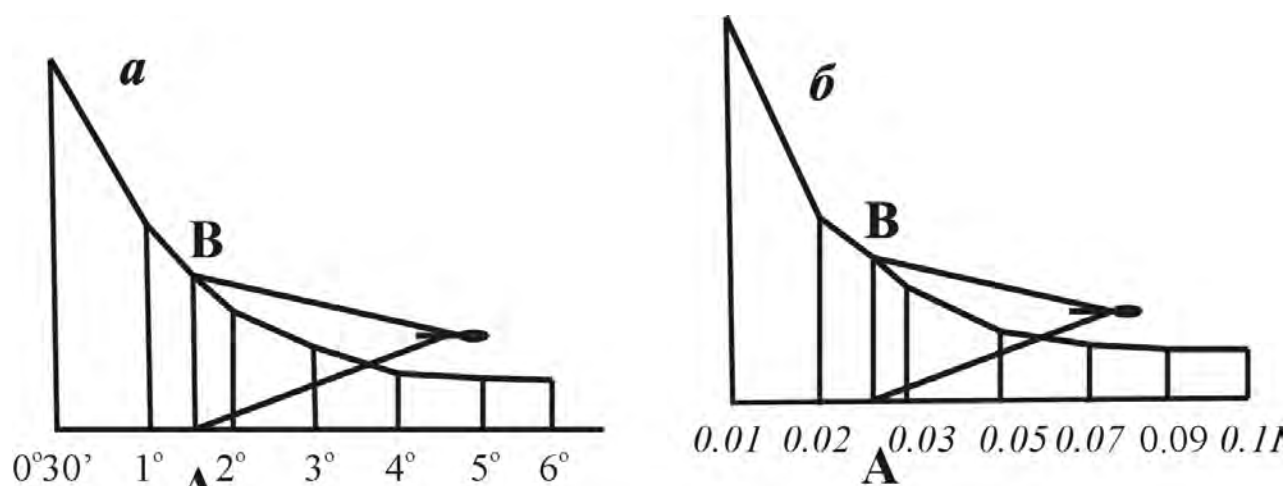


Рис.62. Графики заложений: а – крутизны; б - уклонов

Чтобы избежать расчетов при определении уклонов и крутизны скатов по плану или карте, на практике пользуются специальными графиками, называемыми **графиками заложений**.

Для построения графика заложений горизонтальную линию делят на равные отрезки произвольной длины и у концов отрезков подписывают значения углов наклона, начиная с 30'. Предельное значение углов на шкале графика назначают в зависимости от максимальной крутизны скатов данного плана или карты. Затем вычисляют заложения, соответствующие каждому значению угла наклона при принятой высоте сечения рельефа, по формуле

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg} v}.$$

Полученные величины заложений, выраженные в масштабе плана (карты), откладывают на перпендикулярах к горизонтальной линии против соответствующих углов наклона. Через полученные точки проводят плавную линию и получают график заложений, называемый в данном случае **графиком крутизны** (рис. 26,а).

Если у точек деления горизонтальной линии вместо углов наклона подписаны значения углов и на перпендикулярах отложены соответствующие заложения, то получают **график уклонов** (рис. 26,б).

Для определения крутизны ската или уклона с плана берут в раствор циркуля соответствующее заложение (например, AB), переносят его на график заложений (см. рис. 26) так, чтобы отрезок AB оказался параллельным линиям графика, а одна ножка циркуля располагалась на горизонтальной линии, другая - на кривой. Значение крутизны или уклона определяют, пользуясь оцифровкой горизонтальной шкалы графика.

В рассматриваемом примере (см. рис. 26) крутизна ската $v=1^\circ 30'$, а уклон $i=0,026$.

Необходимо помнить, что графики заложений, приводимые за оформительской рамкой, рассчитываются и строятся соответственно сечению рельефа и масштабу данного плана или карты.

Проектирование трассы с заданным уклоном. При проектировании железных и шоссейных дорог, каналов и других протяженных объектов возникает необходимость наметить на карте (плане) трассу будущего сооружения с заданным уклоном.

Пусть на плане масштаба 1 : 10000 требуется наметить трассу шоссейной дороги между точками M и N , чтобы уклон ее во всех частях не превышал $i=0,05$ (рис. 27). Высота сечения рельефа на плане $h = 5$ м.

Для решения задачи рассчитывают заложение, соответствующее заданному уклону i и высоте сечения рельефа h ,

$$d = \frac{h}{i} = \frac{5\text{ м}}{0,05} = 100\text{ м}$$

и выражают его в масштабе плана:

$$d' = \frac{d \cdot 100}{M} = \frac{100\text{ м} \cdot 100}{10000} = 1\text{ см},$$

где M - знаменатель численного масштаба плана.

Величину заложения d' можно определить также по графику заложений.

Раствором циркуля, равным заложению $d' = 1$ см, из точки M засекают соседнюю горизонталь и получают точку 1; из точки 1 тем же раствором засекают следующую горизонталь, получая точку 2, и т. д. Соединив полученные точки, проводят линию с заданным уклоном.

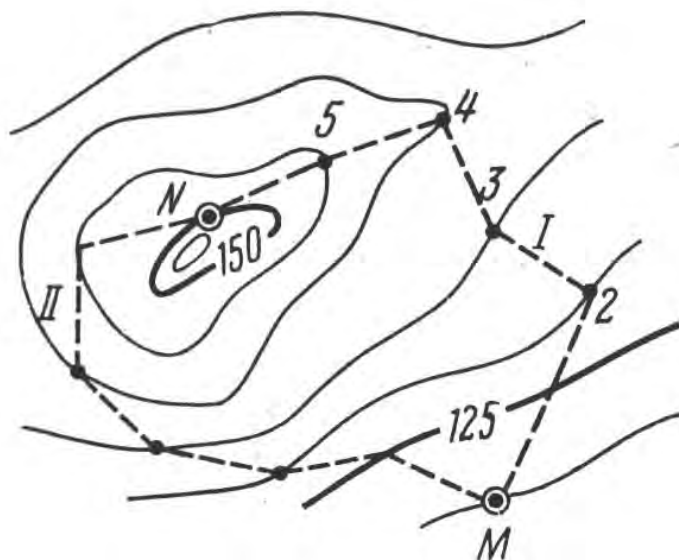


Рис. 63. Схема проектирования трассы с заданным уклоном.

Если рассчитанное заложение d' окажется меньше расстояния между двумя соседними горизонталями (т. е. уклон ската на данном участке меньше заданного), то участок трассы проводится по кратчайшему расстоянию между ними. При проектировании дорог последнее расценивается как положительный фактор.

Следует отметить, что решение данной задачи позволяет наметить несколько вариантов трассы, из которых выбирается наиболее приемлемый по технико-экономическим соображениям.

Построение профиля местности по заданному направлению. При проектировании инженерных сооружений, а также для определения видимости между точками местности необходимо построение профиля местности по заданному направлению.

Для построения профиля по линии AB (рис. 28, а) на листе бумаги проводят горизонтальную линию и на ней в масштабе плана последовательно откладывают отрезки $A - 1$, $1 - 2$; $2 - 3$, $3 - 4$ и т. д.

Выбирают условный горизонт таким образом, чтобы его линия не пересекалась с линией профиля (например, $УГ = 50$ м). В каждой из полученных точек восставляют перпендикуляры (рис. 28, б) и на них в принятом вертикальном масштабе откладывают профильные отметки, равные разности абсолютных отметок точек и условного горизонта, т. е. $H_{проф} = H_{абс} - УГ$. Соединив полученные точки A' , $1'$, $2'$ и т. д. плавной кривой, получают профиль местности по линии AB . Для большей наглядности вертикальный масштаб профиля обычно принимается в 10 раз крупнее горизонтального масштаба, т. е. масштаба плана.

Определение границы водосборной площади. Водосборной площадью или бассейном называется участок земной поверхности, с которой вода по условиям рельефа должна стекать в данный водосток (реку, лощину и т. д.). Оконтуривание водосборной площади производится с учетом рельефа местности по горизонталям карты (плана).

Границами водосборной площади служат линии водоразделов, пересекающие горизонтали под прямым углом. На рис. 29 линии водоразделов показаны пунктиром.

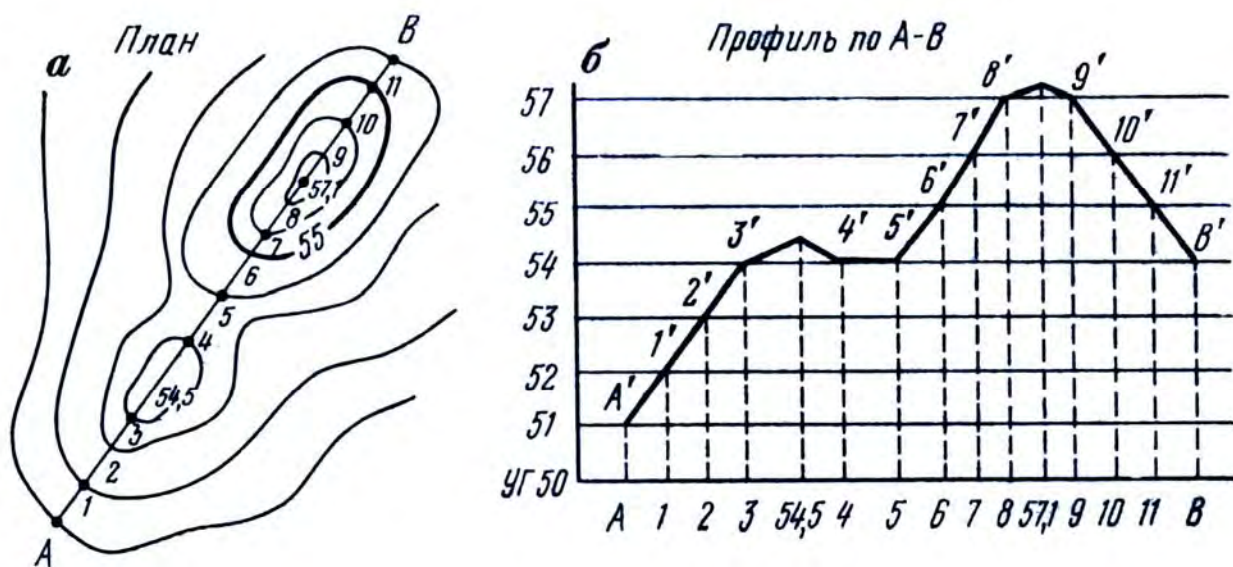


Рис.64. Профиль местности по заданному направлению

Зная водосборную площадь, среднегодовое количество осадков, условия испарения и впитывания влаги почвой, можно подсчитать мощность водного потока, которая необходима для расчета мостов, площадок дамб и других гидротехнических сооружений.

Определение объемов земляных тел. Используя план с горизонталями, можно вычислить объемы земляных тел, представляющих собой холмы или горы, либо объемы пространств, образуемых впадиной или котловиной.

Объем пород, заключенных в холме (рис. 30), может быть представлен как сумма объектов, заключенных между соседними горизонталями. Объем каждого пояса определится по приближенной формуле объема усеченного конуса:

для I пояса

$$V_1 = \frac{S_1 + S_2}{2} h$$

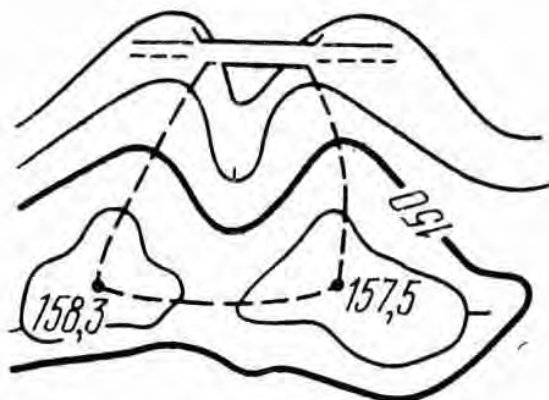


Рис.65. Схема определения границы водосборной площади.



Рис.66. Схема определения объемов земляных тел.

для II пояса

$$V_2 = \frac{S_2 + S_3}{2} h$$

и т.д.

где h - высота сечения рельефа; S_i, S_{i+1} - площади нижнего и верхнего оснований пояса, ограниченные горизонталями; в зависимости от необходимой точности определяются графически либо с помощью планиметра.

Если верхний слой холма имеет форму купола, то его объем определится по приближенной формуле

$$V_B = \frac{1}{2} S_B h',$$

где S_B - площадь основания верхнего слоя; h' - разность отметок горизонтали основания верхнего слоя и вершины холма. Тогда общий объем холма

$$V = \sum_{i=1}^n V_i.$$

§ 38. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПО ПЛАНУ ИЛИ КАРТЕ

Для решения многих инженерных задач требуется знать площади участков местности. Эти площади могут быть измерены по плану или карте графическим, аналитическим и механическим способами либо их комбинациями. Следует иметь в виду, что по планам (картам) площадь определяется с меньшей точностью, чем по результатам непосредственных измерений на местности; при этом на точность определения площадей, кроме погрешностей измерений на местности, оказывают влияние погрешности построения плана (карты) и измерений на них, а также деформация бумаги.

Графический способ определения площадей. Для определения площадей небольших участков по плану или карте применяется графический способ с разбивкой участка на геометрические фигуры либо с помощью палеток.

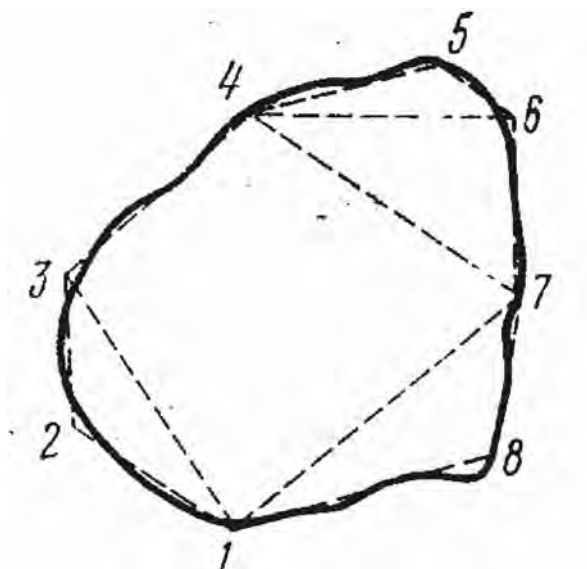


Рис.67. Способ определения площади с разбивкой участка на геометрические фигуры

В первом случае искомую площадь небольшого (до 10—15 см² в плане) участка разбивают на простейшие геометрические фигуры: треугольники, прямоугольники, трапеции (рис. 31). При криволинейном контуре участка его разбивка на геометрические фигуры выполняется с таким расчетом, чтобы стороны фигур по возможности ближе совпадали с этим контуром. Затем на плане (карте) измеряют соответствующие элементы фигур (длины оснований и высоты) и по геометрическим формулам вычисляют площади этих фигур. Площадь всего участка определяется как сумма площадей отдельных фигур.

Точность определения площади в рассматриваемом случае во многом зависит от масштаба плана (карты): чем мельче масштаб, тем грубее измеряется площадь. Поскольку графическая погрешность линейных измерений на плане ($t_p=0,2$ мм) не зависит от длины отрезков, то относительная погрешность короткой линии будет больше, чем длинной. Поэтому заданный участок следует разбивать на фигуры возможно больших размеров с примерно одинаковыми длинами оснований и высот.

Для контроля и повышения точности площадь участка определяется дважды, для чего строят новые геометрические фигуры или в треугольниках измеряют другие основания и высоты. Относительное расхождение в результатах двукратных определений общей площади участка не должно превышать 1 :200.

Определение площадей (до 2 - 3 см²) участков с резко выраженными криволинейными границами рекомендуется производить с помощью *квадратной палетки*. Палетка представляет собой (рис. 32, а) лист прозрачной основы (стекла, целлулоида или восковки), на которую нанесена сетка квадратов со сторонами 1- 5 мм. Зная длину сторон и масштаб плана, легко вычислить площадь квадрата палетки s .

Для определения площади участка палетку произвольно накладывают на план и подсчитывают число N_1 полных квадратов, расположенных внутри контура участка. Затем оценивают на глаз число квадратов N_2 , составляемых из неполных квадратов у границ участка. Тогда общая площадь измеряемого участка

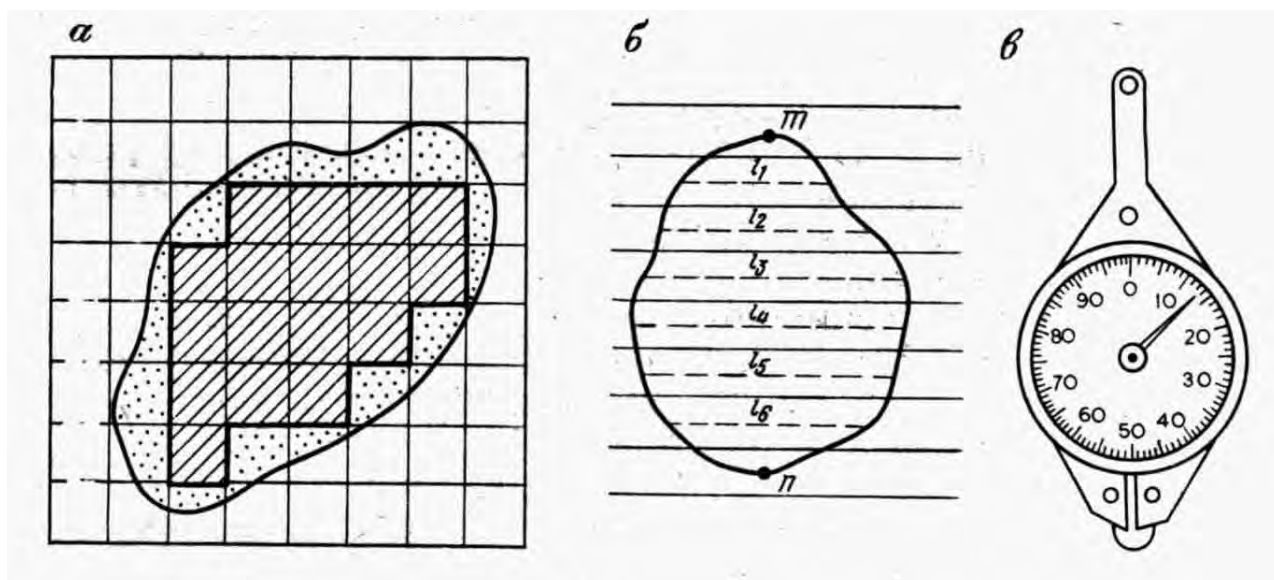


Рис.68. . Способы определения площадей с помощью палеток: а – квадратной, б - линейной, в – курвиметр.

$$S = s(N_1 + N_2).$$

Для контроля площадь заданного участка измеряют повторно, развернув палетку примерно на 45° . Относительная погрешность определения площади палеткой составляет 1:50—1:100.

При определении площадей до 10 см^2 можно использовать *параллельную* (линейную) *палетку* (рис. 32, б), представляющую собой лист прозрачной основы, на которой через равные промежутки $a = 2\text{—}5 \text{ мм}$ нанесен ряд параллельных линий.

Палетка накладывается на заданный участок таким образом, чтобы крайние точки *т* и *п* контура разместились посередине между параллельными линиями палетки. В результате измеряемая площадь оказывается расчлененной на фигуры, близкие к трапециям с равными высотами; при этом отрезки параллельных линий внутри контура являются средними линиями трапеции. Следовательно, для определения площади участка с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки нужно измерить длины средних линий трапеций $l_1, l_2, \dots, l_n$ и их сумму умножить на расстояние между линиями с учетом масштаба плана, т. е.

$$S = a(l_1 + l_2 + \dots + l_n) = a \sum_{i=1}^n l_n.$$

Суммарная длина отрезков может быть замерена с помощью *курвиметра* (рис. 32, в) - прибора для измерения длин линий на плане (карте). Для этого колесо курвиметра последовательно прокатывают по измеряемым линиям и по разности начального и конечного отсчетов на циферблате определяют суммарную длину отрезков в сантиметрах плана. Для контроля измеряют площадь при втором положении палетки, развернув ее на $60\text{—}90^\circ$ относительно первоначального положения.

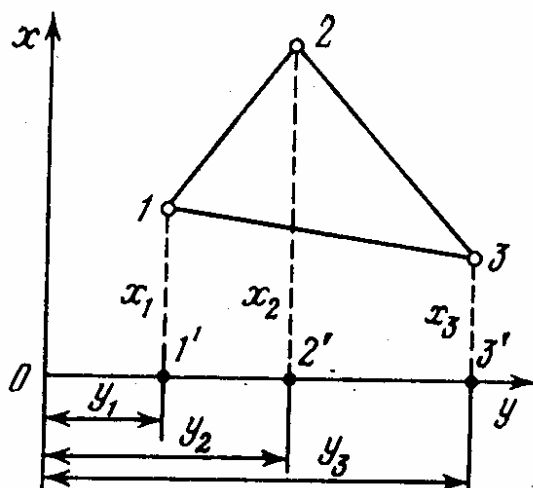


Рис.69. Аналитический способ определения площади.

Аналитический способ определения площадей. Если по результатам измерений на плане (карте) определены координаты вершин замкнутого многоугольника, то площадь последнего может быть определена аналитическим способом.

Пусть известны прямоугольные координаты вершин треугольника 1—2—3 (рис. 33). Опустив из его вершин перпендикуляры на ось Oy , площадь треугольника можно представить как алгебраическую сумму площадей трех трапеций: I - (1'—1—2—2'), II - (2'—2—3—3') и III - (1'—1—3—3'), т. е. $S = S_I + S_{II} + S_{III}$.

Площади рассматриваемых трапеций определяются так:

$$S_I = \frac{1}{2} (x_1 + x_2) (y_2 - y_1);$$

$$S_{II} = \frac{1}{2} (x_2 + x_3) (y_3 - y_2);$$

$$S_{III} = \frac{1}{2} (x_1 + x_3) (y_1 - y_3).$$

Тогда удвоенная искомая площадь треугольника 1—2—3 будет равна:

$$2S = (x_1 + x_2) (y_2 - y_1) + (x_2 + x_3) (y_3 - y_2) - (x_1 + x_3) (y_1 - y_3).$$

После раскрытия скобок, соответствующей группировки членов уравнения и вынесения за скобки общих знаменателей получим

$$2S = x_1 (y_2 - y_3) + x_2 (y_3 - y_1) + x_3 (y_1 - y_2).$$

или

$$2S = y_1 (x_3 - x_2) + y_2 (x_1 - x_3) + y_3 (x_2 - x_1).$$

В общем виде

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$$

или

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} y_i (x_{i+1} - x_{i-1}).$$

Тогда для многоугольника с числом вершин n при их оцифровке по ходу часовой стрелки формулы общего вида запишутся так:

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$$

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} y_i (x_{i+1} - x_{i-1}),$$

где $1=1, 2, 3, \dots, n$.

Для контроля вычисления производят по обеим формулам. Если координаты точек получены по результатам измерений на местности, то точность способа повышается, так как при этом на точность вычисления площади влияют лишь погрешности угловых и линейных измерений на

местности. Так, при измерении углов с точностью 1' и длин линий с точностью 1:2000 относительная погрешность определения площади составит примерно 1: 500.

При определении площадей сложной конфигурации с большим числом вершин вычисления рекомендуется проводить с использованием ЭВМ.

§ 39. МЕХАНИЧЕСКИЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ

В инженерной практике для определения площадей достаточно больших участков по планам или картам наиболее часто применяется механический способ, основанный на использовании специального прибора - *планиметра*. Конструкция планиметра впервые была предложена в 1856 г. одновременно швейцарцем Амслером и нашим соотечественником механиком А. Н. Зарубиным. Из многочисленных конструкций планиметров в настоящее время наибольшее распространение получили полярные планиметры типов ПП-2К (конструкции МИИЗ) и ПП-М (рис. 34, а).

Устройство полярного планиметра. Полярный планиметр ПП-М (см. рис. 34, а) состоит из двух рычагов — полюсного 1 и обводного 4. В нижней части груза 2, закрепленного на одном из концов полюсного рычага, имеется игла — полюс планиметра.

На втором конце полюсного рычага находится штифт с шарообразной головкой, вставляемой в гнездо 5 каретки 6 обводного рычага. На конце обводного рычага имеется линза 3, на которой нанесена окружность с обводной точкой в центре.

Каретка 6 имеет счетный механизм (рис. 34,б), который состоит из счетного колеса 8 и счетчика 7 целых оборотов счетного колеса. Для отчетов по счетному колесу имеется специальное устройство - верньер 9. При обводе контура участка обводной точкой линзы 3 ободок счетного колеса и ролик 11 катятся или скользят по бумаге; вместе с обводной точкой они образуют три опорные точки планиметра.

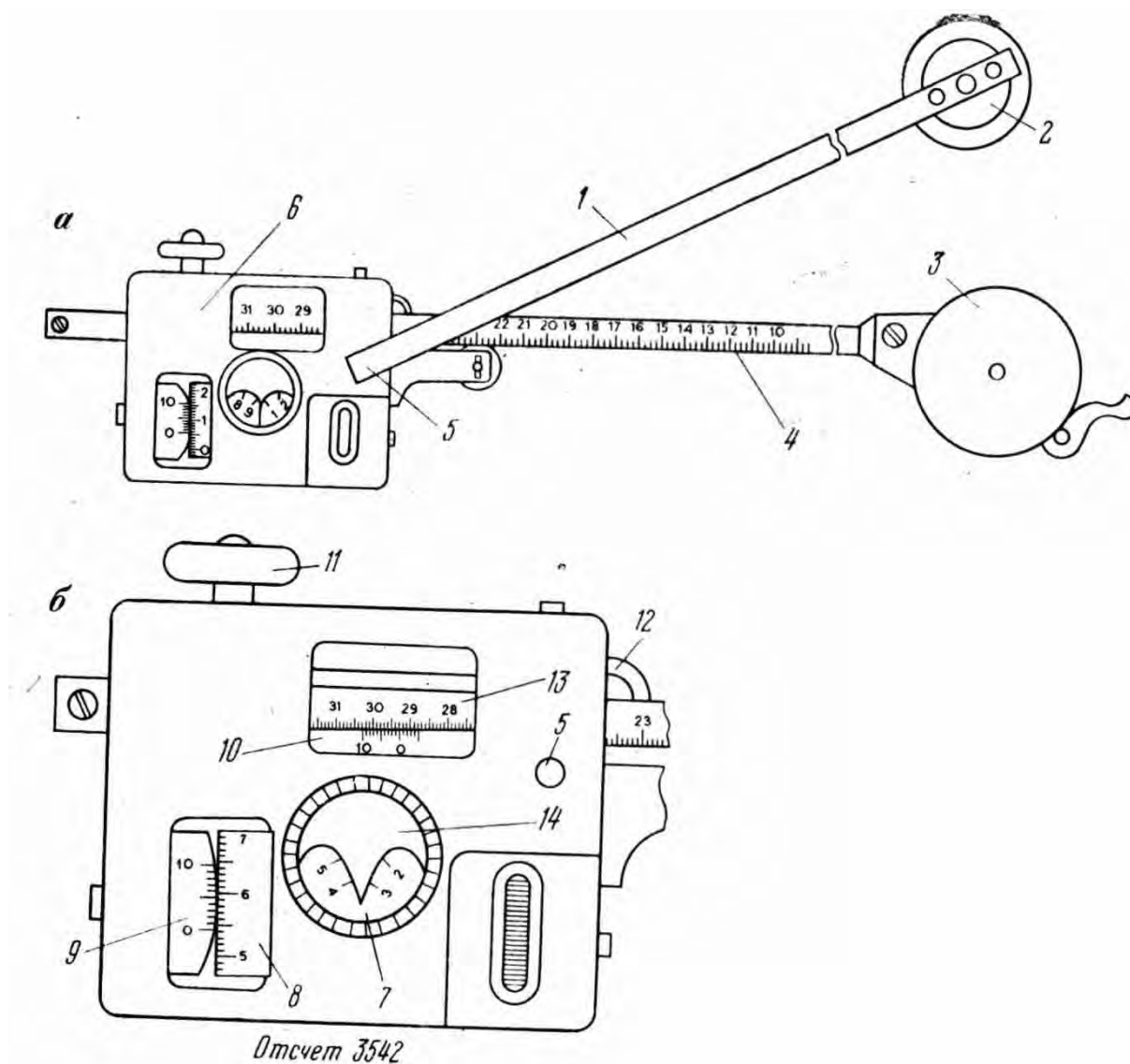


Рис.70. Полярный планиметр ПП-М: а – общий вид; б – каретка со счетным механизмом

Тысячная часть окружности счетного колеса называется делением планиметра. Окружность счетного колеса разделена на 100 частей, т. е. каждая часть содержит 10 делений планиметра. Каждый десятый штрих счетного колеса оцифрован.

Отсчет по планиметру состоит из четырех цифр: первая — ближайшая к указателю 14 младшая цифра счетчика оборотов (тысячи делений планиметра), вторая и третья цифры—сотни и десятки делений, предшествующие нулевому штриху верньера; четвертая цифра — номер штриха верньера, совпадающего с ближайшим штрихом счетного колеса (единицы делений).

Каретка со счетным механизмом (см. рис. 34) после ослабления винта 13 может передвигаться вдоль обводного рычага 4, изменяя тем самым его длину. Необходимая длина обводного рычага устанавливается на шкале делений 12, расположенной на его верхней грани, с помощью верньера 10.

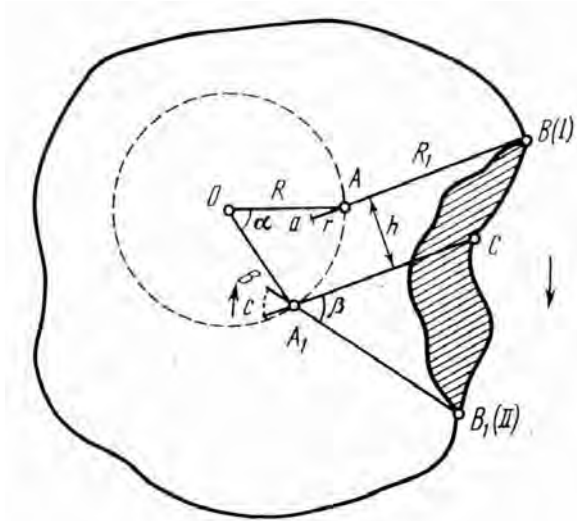


Рис. 71. Теория полярного планиметра

Теория полярного планиметра. Пусть требуется измерить на плане площадь некоторой криволинейной фигуры (рис. 35). Полюс планиметра O установлен внутри фигуры. На рис. 35 схематично показаны: I - начальное положение рычагов планиметра и II - положение при перемещении обводной точки по контуру фигуры на малое расстояние BB_1 . Обозначим через R_1 и R длины обводного и полюсного рычагов, а через r — расстояние от счетного колеса до точки A соединения рычагов.

Перемещение рычагов планиметра из положения OAB (I) в положение OA_1B_1 (II) можно разложить на три движения: 1) поворот полюсного рычага K вокруг полюса O на угол α ; 2) параллельное перемещение обводного рычага R_1 из положения AB в положение A_1C на расстояние h ; 3) поворот обводного рычага R_1 вокруг A_1 на угол β .

Площадь фигуры $OABB_1A_1O$ можно представить суммой площадей трех фигур: площади сектора

$$SOAA_1 = \cup AA_1 \cdot \frac{R}{2} = \frac{R^2}{2} \alpha;$$

площади параллелограмма $SABCA_1 = R_1 \cdot h$;

площади сектора

$$SA_1CB_1 = \cup CB_1 \cdot \frac{R_1}{2} = \frac{R_1^2}{2} \beta;$$

(углы α и β выражены в радианной мере).

Тогда площадь фигуры $OABB_1A_1O$

$$S_1 = \frac{R^2}{2} \alpha + \frac{R_1^2}{2} \beta + R_1 \cdot h. \quad (26)$$

При перемещении обводной точки из B в C счетное колесо переместится из положения «а» в положение «с» и пройдет путь, равный h . При повороте обводного рычага вокруг точки A_1 из положения A_1C в положение A_1B_1 на угол β счетное колесо будет вращаться в обратном направлении на величину дуги $ab = r \cdot \beta$. Следовательно, общий путь счетного колеса будет равен $h - r \cdot \beta$.

Пусть n_o и n_1 — отсчеты по планиметру при положениях рычагов OAB (I) и OA_1B_1 (II), а t — цена деления счетного колеса в линейной мере. Тогда путь счетного колеса можно выразить как $t(n_1 - n_o)$. Отсюда

$$h - r \cdot \beta = t(n_1 - n_o) \text{ или } h = t(n_1 - n_o) + r \cdot \beta.$$

Подставив значение h в формулу (26), получим

$$S_1 = \frac{R^2}{2} \alpha + \frac{R_1^2}{2} \beta + R_1 r \beta + R_1 t(n_1 - n_o). \quad (27)$$

Площадь всей фигуры будет равна сумме элементарных площадей $S_1, S_2, \dots, S_n$:

$$S_1 = \frac{R^2}{2} a + \frac{R_1^2}{2} \beta + R_1 r \beta + R_1 t(n_1 - n_o) + \frac{R^2}{2} a_1 + \frac{R_1^2}{2} \beta_1 + R_1 r \beta_1 + R_1 t(n_2 - n_1) + \dots$$

или в общем виде

$$S_1 = \frac{R^2}{2} \sum a + \frac{R_1^2}{2} \sum \beta + R_1 r \sum \beta + R_1 t(n_1 - n_o), \quad (28)$$

где n_o, n — начальный и конечный отсчеты по планиметру.

Если полюс планиметра находится внутри контура, то после полного обвода полюсный рычаг AO опишет окружность около неподвижного полюса O , а обводной рычаг AB — около подвижной точки A_1 ; тогда

$$\sum a = \sum \beta = 2\pi$$

и формула (28) примет вид

$$S = \pi(R^2 + R_1^2 + 2R_1 r) + R_1 t(n - n_o). \quad (29)$$

Обозначив через $q = \pi(R^2 + R_1^2 + 2R_1 r)$ и $\mu = R_1 t$, получим окончательную формулу для вычисления всей фигуры при положении полюса внутри контура фигуры:

$$S = \mu(n - n_o) + q, \quad (30)$$

где μ — цена деления планиметра; q — постоянная планиметра.

Если полюс планиметра находится **вне контура** фигуры (этому условно соответствует положение полюса O относительно контура заштрихованной площади), то после обведения контура BCB_1 полюсный и обводной рычаги займут исходное положение и, следовательно, $\sum a = \sum \beta = 0$. Тогда формула (30) примет вид

$$S = \mu(n - n_o). \quad (31)$$

Измерение площади планиметром. При использовании планиметра ПП-М измерение площадей до 400 см² производится обычно при положении полюса **вне контура**.

Перед измерением площади участка план или карта закрепляются на гладкой горизонтальной плоскости. Планиметр устанавливается так, чтобы его полюс располагался вне измеряемого участка, а полюсный и обводной рычаги образовывали примерно прямой угол.

Место закрепления полюса выбирают с расчетом, чтобы во время обвода всей фигуры угол между обводным и полюсным рычагами был не менее 30° и не более 150°. Совместив обводную точку планиметра с исходной точкой O контура, снимают по счетному механизму начальный отсчет P_o и плавно обводят весь контур по ходу часовой стрелки. Вернувшись в исходную точку, берут конечный отсчет n . Разность отсчетов $(n - n_o)$ выражает величину площади фигуры в делениях планиметра. Тогда площадь измеряемого участка

$$S = \mu(n - n_o),$$

где μ — цена деления планиметра, т. е. площадь, соответствующая одному делению планиметра.

Площади малых участков рекомендуется измерять методом повторений, делая обвод контура 2—3 раза и беря начальный и конечный отсчеты; разность этих отсчетов следует разделить на число обводов. Измерение малых площадей можно осуществить также при уменьшенной длине обводного рычага.

Для контроля и повышения точности результатов измерений площадь участка следует измерять при двух положениях полюса планиметра относительно счетного механизма: «полюс лево» (ПЛ) и «полюс право» (ПП). Если смотреть со стороны обводного устройства вдоль обводного рычага, то при положении ПЛ полюс планиметра расположен слева, а при положении ПП — справа относительно каретки.

Большие площади на планах и картах следует измерять по частям.

Для этого измеряемую фигуру делят на части плавными, слегка изогнутыми линиями. Площади слишком узких, вытянутых фигур (дорог, оврагов, рек и т. п.) измерять планиметром не рекомендуется.

Определение цены деления планиметра. Перед измерением площадей необходимо определить цену деления планиметра. Цена деления бывает абсолютной ($\mu_{\text{абс}}$), если она выражена в мм²/дел., и относительной ($\mu_{\text{отн}}$), если выражена в м²/дел. или га/дел., с учетом масштаба данного плана (карты).

Для определения цены деления планиметра выбирают фигуру, площадь которой S_0 известна заранее (например, один или несколько квадратов координатной сетки). С целью получения более высокой точности выбранную фигуру обводят по контуру четыре раза: два раза при положении «полнос право» (ПП) и два — при положении «полнос лево» (ПЛ). При каждом обводе берут начальный и конечный отсчеты и вычисляют их разность ($n_i - n_{oi}$). Расхождения между значениями разностей, полученными при ПП и ПЛ, не должны превышать при площади фигуры до 200 делений—2, от 200 до 2000 делений—3 и свыше 2000—4 деления планиметра. Если расхождения не превышают допустимых, то рассчитывают среднюю разность отсчетов $(n - n_o)_{\text{ср}}$ и вычисляют цену деления планиметра по формуле

$$\mu = \frac{S_0}{(n - n_o)_{\text{ср}}} \quad (32)$$

Полученная цена деления планиметра может выражаться дробным числом (например, $\mu = 9,75$ мм/дел.), что создает определенные неудобства при вычислении ряда площадей. В таких случаях цена деления приводится к удобной для вычислений целой величине (например, $\mu_0 = 10$ мм²/дел) путем изменения длины обводного рычага. Для этого определяют длину обводного рычага, соответствующую полученному значению цены деления: например, при ($\mu = 9,75$ мм²/дел. $R = 155,3$ мм. Тогда длина рычага для желательной цены деления планиметра $\mu_0 = 10$ мм²/дел. может быть найдена из пропорции:

$$R = 155,3 \text{ мм} \text{ — } \mu = 9,75 \text{ мм}^2/\text{дел.},$$



Рис.72. Схема определения площади по А.Н.Савичу

$R_0 = ?$ — $\mu_0 = 10$ мм²/дел.

Отсюда

$$R_0 = R \frac{\mu_0}{\mu} = 155,3 \frac{10}{9,75} = 159,3 \text{ мм.}$$

Ослабив винт 12 (см. рис. 34,б), устанавливают каретку со счетным механизмом на вычисленный отсчет, изменяя тем самым длину обводного рычага. После этого вновь определяют цену деления планиметра по изложенной выше методике.

Цена деления планиметра может быть определена с помощью контрольной линейки, входящей в комплект планиметра.

Планиметр должен удовлетворять следующим основным условиям:

1. Счетное колесо должно вращаться на оси свободно и без колебаний. Для проверки этого условия колесо приводится в движение пальцем; при этом оно должно вращаться по инерции не менее 3 с. Зазор между краем колеса и верньером не должен превышать толщины папиросной бумаги и меняться по величине при вращении колеса. Исправление достигается с помощью регулировочного винта подпятников оси.

2. Плоскость ободка счетного колеса должна быть перпендикулярна к оси обводного рычага. Для проверки условия обводят планиметром одну и ту же фигуру при двух положениях полюса (ПП и ПЛ). Условие считается выполненным, если полученные значения площади в делениях планиметра различаются между собой не более чем на 1 :200 величины их среднего значения. В противном случае площадь следует всегда определять при двух положениях полюса и за окончательный результат брать среднее арифметическое, величина которого будет свободна от погрешностей из-за неправильного положения ободка счетного колеса, т. е. эта погрешность компенсируется. За это свойство планиметр называют **КОМПЕНСАЦИОННЫМ**.

Точность определения площадей полярным планиметром зависит главным образом от размеров обводимых фигур; чем меньше площадь, тем больше относительная погрешность ее определения. Поэтому не рекомендуется измерять с помощью планиметра площади участков на плане (карте) меньше 10—12 см², так как в этом случае они точнее могут быть измерены графическим способом. При благоприятных условиях измерений относительная погрешность определения площадей с помощью полярного планиметра близка к 1:400.

Определение площади по способу акад. А. Н. Савича. Данный способ можно применять при измерении полярным планиметром площади s , которая является (рис. 36) частью известной площади S (например, квадрата координатной сетки плана).

При положении полюса планиметра вне фигуры обводят контуры квадрата сетки и определяемой фигуры и берут начальные и конечные отсчеты: для квадрата— N_0 и N , для искомой фигуры— n_0 и n . Тогда площади квадрата и малой фигуры можно выразить как

$$S = \mu(N - N_0);$$

$$s = \mu(n - n_0).$$

Разделив второе выражение на первое, получим:

$$\frac{s}{S} = \frac{n - n_0}{N - N_0}.$$

Отсюда искомая площадь

$$s = S \frac{n - n_0}{N - N_0}. \quad (33)$$

Как следует из формулы (33), в рассмотренном способе учитывается деформация бумаги, на которой составлен план (карта), что повышает точность определения площадей.

Глава VIII. СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

§ 40. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ

Все геодезические измерения, как бы тщательно они ни выполнялись, сопровождаются неизбежными случайными погрешностями. Для правильной организации геодезических работ перед съемкой заранее задаются требуемой точностью измерения и с ее учетом выбирают методику производства работ и соответствующие приборы.

Научная организация геодезических работ требует обязательного соблюдения основных принципов:

1. Принцип развития «от общего к частному»; данный принцип является главным при развитии геодезических опорных сетей, на основе которых выполняются съемки и решаются инженерные задачи на местности.

2. Обязательный контроль всех этапов измерительного и вычислительного процессов; без контроля предыдущих измерений и вычислений нельзя приступить к выполнению последующих этапов полевых либо камеральных работ.

§ 41. ПОНЯТИЕ ОБ ОПОРНЫХ СЕТЯХ

Всякая топографическая съемка должна базироваться в точках, закрепленных на местности, плановое и высотное положение которых (т. е. координаты x , y , H) известно. Такие точки называются **опорными пунктами**. Совокупность этих пунктов составляет опорную сеть.

Положение опорных пунктов на земной поверхности может быть определено астрономическим и геодезическим способами.

Астрономический способ заключается в определении геодезических координат (геодезической широты B и геодезической долготы L) каждого пункта путем наблюдений небесных светил. По результатам астрономических наблюдений определяются также геодезические азимуты A направлений на пункты; кроме того, азимуты направлений могут быть получены при помощи гирокомпасов либо гиротеодолитов. В дальнейшем от геодезических координат пунктов (B , L) и геодезических азимутов (A) переходят к прямоугольным координатам (x , y) и дирекционным углам (α) направлений.

Достоинством данного способа является независимое определение координат пунктов. Однако даже незначительные погрешности в определении геодезических координат точек с учетом погрешности уклонения отвесных линий от нормалей к поверхности эллипсоида вызывают значительные погрешности в прямоугольных координатах, достигающие 60—100 м. Следовательно, основным недостатком астрономического способа определения координат точки является сравнительно малая точность.

Геодезический способ состоит в том, что из астрономических наблюдений находят прямоугольные координаты лишь отдельных (исходных) пунктов системы. Остальные пункты опорной сети связываются с исходными путем выполнения на земной поверхности измерений сторон и углов геометрических фигур, вершинами которых являются опорные пункты. Такая схема построения опорных сетей ограничивает накопление погрешностей, обеспечивает надежный контроль измерений и позволяет независимо выполнять геодезические работы на различных участках, обеспечивая их смыкание в пределах установленных допусков.

Опорные сети, координаты пунктов которых определены геодезическим способом в единой системе координат, носят название **геодезических опорных сетей**.

Геодезический способ создания опорных сетей на территории нашей страны является основным. Лишь для создания карт масштаба мельче 1:100000, особенно в необжитых местах (Арктика, Антарктида и др.), может быть использован астрономический метод.

§ 42. КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОПОРНЫХ СЕТЕЙ

Согласно принципу перехода «от общего к частному» вся опорная сеть подразделяется на классы и построение ее осуществляется несколькими ступенями: от сетей высшего класса к низшему, от крупных и точных геометрических построений к более мелким и менее точным. Пункты высших классов располагаются на больших (до нескольких десятков км) расстояниях друг от друга и затем последовательно сгущаются путем развития между ними сетей более низких классов. Такой подход позволяет в сжатые сроки с высокой точностью распространить единую систему координат на всю территорию страны.

Различают **ПЛАНОВЫЕ** геодезические сети, в которых для каждого пункта определяются прямоугольные координаты (x, y) в общегосударственной системе, и **ВЫСОТНЫЕ**, в которых высоты (H) пунктов определяются в Балтийской системе высот.

Геодезические сети России принято подразделять на /государственную геодезическую сеть, геодезические сети сгущения и съемочные геодезические сети. Густота геодезических сетей и необходимая точность нахождения планового положения пункта определяется характером научных и инженерно-технических задач, решаемых на этой основе. Поэтому для обеспечения требуемой точности построения геодезических сетей угловые и линейные измерения ее элементов должны выполняться соответствующими приборами и методами.

§43. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Государственная геодезическая сеть России является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов и должна удовлетворять требованиям народного хозяйства при решении соответствующих научных и инженерно-технических задач.

Государственная геодезическая сеть России включает в себя:

а) плановые сети 1, 2, 3 и 4 классов, которые различаются между собой точностью угловых и линейных измерений, длиной сторон сетей и порядком их последовательного развития. Плановые сети создаются методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии и их сочетаниями;

б) высотные нивелирные сети I, II, III и IV классов.

Метод триангуляции. Сущность метода триангуляции заключается в построении на местности систем треугольников, в которых измеряются все углы и длины некоторых **базисных сторон** (рис.73, а). Длины других сторон треугольников рассчитываются по известным формулам тригонометрии.

Если непосредственное измерение базисной стороны затруднительно, то на одной из сторон (например, AB), разбивают **базисную сеть** $ABCD$, в которой с высокой точностью измеряют короткий базис CD и все горизонтальные углы. Путем вычислений переходят от длин базиса к длине стороны AB , которая в данном случае называется **выходной стороной** сети. Если известны координаты исходного пункта A , дирекционный угол и длина исходной стороны (a_{AB} , d_{AB}), последовательно решая прямую геодезическую задачу, можно рассчитать координаты всех пунктов сети.

Триангуляция 1 класса создается в виде астрономо-геодезической сети и призвана обеспечить решение основных научных задач, связанных с определением формы и размеров Земли. Она является главной основой развития сетей последующих классов и служит для распространения единой системы координат на всю территорию Российской Федерации. Ее построение осуществляется с наивысшей точностью, которую могут обеспечить современные приборы при тщательно продуманной методике измерений. Основные характеристики триангуляции 1 – 4 класса приведены в таблице 1.

Таблица 1

Класс триангуляции	Длина сторон, км	Допустимая средняя квадратичная погрешность измерения углов	Допустимая невязка в треугольниках	Допустимая относительная погрешность базисной (выходной) стороны
1	20-25	0,7"	3.0"	1:400000
2	7-20	1.0	4.0	1:300000

3	5-8	1.5	6.0	1:200000
4	2-5	2.0	8.0	1:200000

Таблица 2				
Класс полигонометрии	Максимальное число сторон в ходе	Длины сторон, км	Средняя квадратическая погрешность измерения угла	Относительная погрешность измерения длины стороны
1	12	8-30	0,4"	1:400000
2	6	5-18	1.0	1:200000
3	6	3-10	1.5	1:100000
4	20	0,25-2	2.0	1:40000

стороны AB достаточно измерить базис ab и параллактические углы φ_1 и φ_2 .

Применение светодальномерной техники открыло широкие возможности для развития метода полигонометрии. Согласно Инструкции о построении государственной геодезической сети полигонометрия по точности построения приравнивается к триангуляции и может заменять соответствующие классы последней. Как правило, метод полигонометрии целесообразно применять в

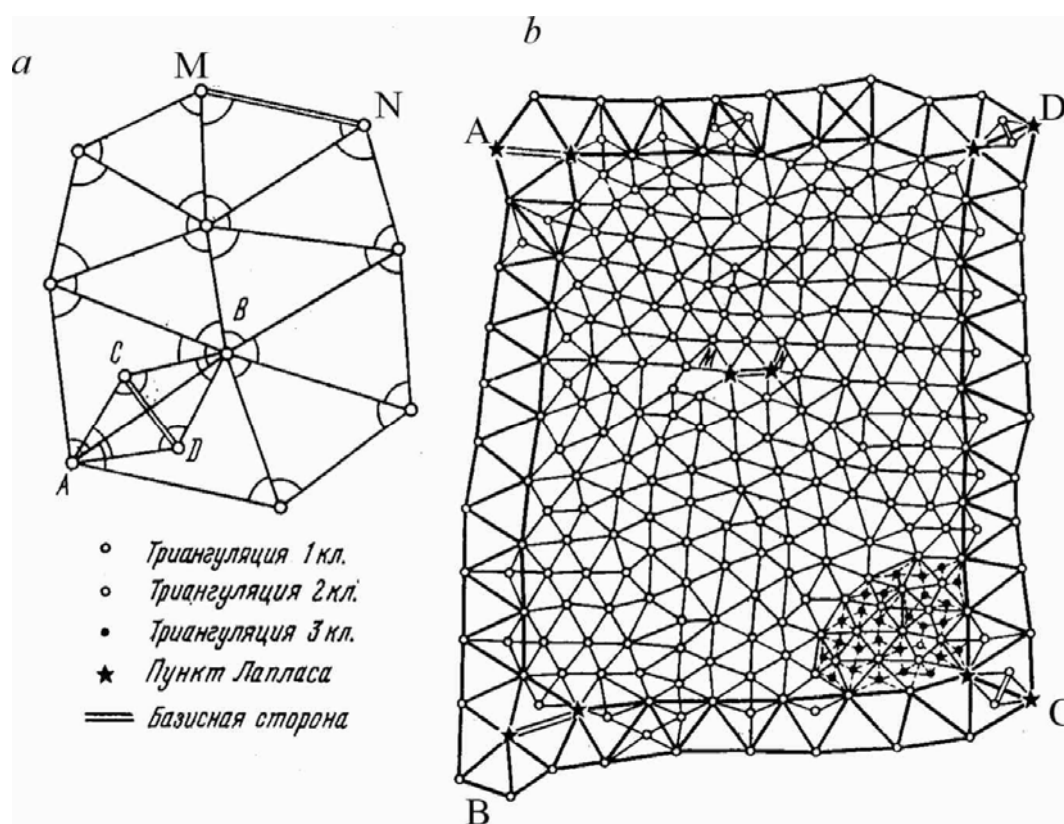


Рис.73. Триангуляция: а - сущность метода триангуляции; б – схема развития сетей триангуляции 1-4 классов

районах, где триангуляция требует сплошной постройки высоких знаков.

Полигонометрия 1 класса строится в виде вытянутых по направлениям меридианов и параллелей ходов, образующих звенья первоклассного полигона с периметром 700—800 км. На концах звена (в вершинах полигонов) определяются пункты Лапласа. Полигонометрия 2 класса развивается внутри полигонов триангуляции или полигонометрии 1 класса в виде сети замкнутых полигонов с периметром 150—180 км.

Полигонометрия 3 и 4 классов строится в виде систем ходов с узловыми пунктами или одиночных ходов, опирающихся на пункты государственной геодезической сети высших классов. Основные характеристики полигонометрии приведены в табл. 2.

Государственная нивелирная сеть. Высоты пунктов государственной нивелирной сети определяют методом геометрического нивелирования. По точности и назначению государственная нивелирная сеть разделяется на сети I, II, III и IV классов.

Нивелирные сети I и II классов являются главной высотной основой, посредством которой устанавливается единая (Балтийская) система высот по всей территории России, и используются для решения научных задач: изучения вертикальных движений земной коры, определения уровня воды в морях и океанах и т. п. Линии нивелирования I и II классов прокладываются по заранее разработанным направлениям. Не реже чем через каждые 25 лет линии I и частично II классов нивелируются повторно. Во всех случаях линии нивелирования I и II классов прокладываются по трассам с наиболее благоприятными грунтовыми условиями и наименее сложным профилем.

Нивелирная сеть I класса состоит из ходов, образующих сомкнутые полигоны периметром около 2000 км. Нивелирование I класса выполняется с наивысшей точностью, достигаемой применением наиболее совершенных приборов и методов наблюдений: средняя квадратическая случайная погрешность определения превышения $m_h=0,5$ мм на 1 км хода.

Нивелирная сеть II класса составлена из ходов, опирающихся на пункты нивелирования I класса и образующих полигоны с периметром в 500—600 км. Средняя квадратическая погрешность определения превышения в нивелирных ходах II класса не должна превышать $m_h=0,8$ мм на 1 км хода.

Нивелирные сети III класса прокладываются внутри полигонов нивелирования I и II классов в виде систем и отдельных ходов, делящих полигон III класса на 6—9 полигонов периметром 150—200 км ($m_h=1,6$ мм на 1 км хода). Дальнейшее сгущение нивелирной сети III класса выполняется построением систем ходов нивелирования IV класса ($m_h=6$ мм на 1 км хода), опирающихся на пункты нивелирования высших классов. Ходы нивелирования IV класса являются - непосредственной высотной основой топографических съемок; густота их прокладки обуславливается масштабами съемок и характером рельефа местности.

Линии нивелирования всех классов в среднем через каждые 5 км закрепляются на местности постоянными реперами и марками.

§ 44. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ СГУЩЕНИЯ И СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ

Геодезические сети сгущения развиваются на основе государственной геодезической сети и служат для обоснования крупномасштабных съемок, а также инженерно-геодезических и маркшейдерских работ, выполняемых в городах и поселках, на строительных площадках крупных промышленных объектов, на территориях горных отводов и т. д.

Плановые геодезические сети сгущения создаются в виде триангуляции (триангуляционные сети) и полигонометрии 1 и 2 разрядов. Триангуляция 1 разряда развивается в виде сетей и цепочек треугольников со стороной 1—5 км, а также путем вставок отдельных пунктов в сеть высшего класса. Углы измеряются со средней квадратической погрешностью не более 5", относительная погрешность выходных сторон — не более 1: 50 000.

Триангуляция 2 разряда строится так же, как триангуляция 1 разряда; кроме того, положение пунктов 2 разряда может определяться прямыми, обратными и комбинированными геодезическими засечками. Длины сторон треугольников в сетях 2 разряда принимаются от 0,5 до 3 км, средняя квадратическая погрешность измерения углов — 10", относительная погрешность выходных сторон - не более 1:20 000.

Полигонометрия 1 и 2 разрядов создается в виде одиночных ходов или систем с узловыми точками, длины сторон которых принимаются в среднем равными, соответственно, 0,3 и 0,2 км. Средняя квадратическая погрешность измерения углов в ходах полигонометрии 1 разряда — 5", относительная погрешность измерения длин - 1:10000. В полигонометрии 2 разряда точность угловых и линейных измерений в 2 раза ниже по сравнению с полигонометрией 1 разряда.

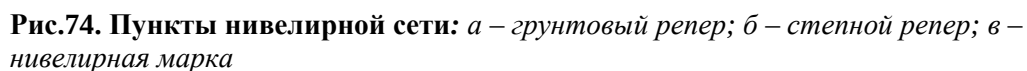
На все пункты геодезических сетей сгущения должны быть переданы отметки нивелированием IV класса или техническим нивелированием. В горной местности допускается передача отметок точек тригонометрическим нивелированием.

Съемочные геодезические сети (геодезическое съемочное обоснование) создаются для сгущения геодезической сети до плотности, обеспечивающей выполнение топографической съемки. Плотность съемочных сетей определяется масштабом съемки, характером рельефа местности, а

Съемочное обоснование развивается от пунктов государственных геодезических сетей и геодезических сетей сгущения. Съемочные сети создаются построением съемочных триангуляционных сетей, продолжением теодолитных, тахеометрических и мензульных ходов, прямыми, обратными и комбинированными засечками. При развитии съемочного обоснования одновременно определяется, как правило, плановое и высотное положение точек. Высоты точек съемочных сетей определяются тригонометрическим нивелированием или геометрическим нивелированием горизонтальным лучом с помощью нивелира, а также теодолита либо кипрегеля с уровнем при трубе.

Пункты геодезических сетей закрепляются на местности подземными центрами, которые должны обеспечивать неизменность положения и сохранность пункта в течение продолжительного времени.

Пункты высотной геодезической сети закрепляются грунтовыми реперами (рис. 74, а), стенными реперами (рис. 74, б) и марками (рис. 74, в). Грунтовый репер в верхней части имеет чугунную марку; отметка репера относится к верхней точке полусферического выступа марки. Высоту стенного репера определяют для верхней грани выступа, а высоты марок—для центра отверстия, сделанного в диске. В качестве внешнего оформления стенного репера служит охранный репер, отлитый из чугуна. Она закрепляется в стене здания или сооружения рядом со стенным репером или над ним.



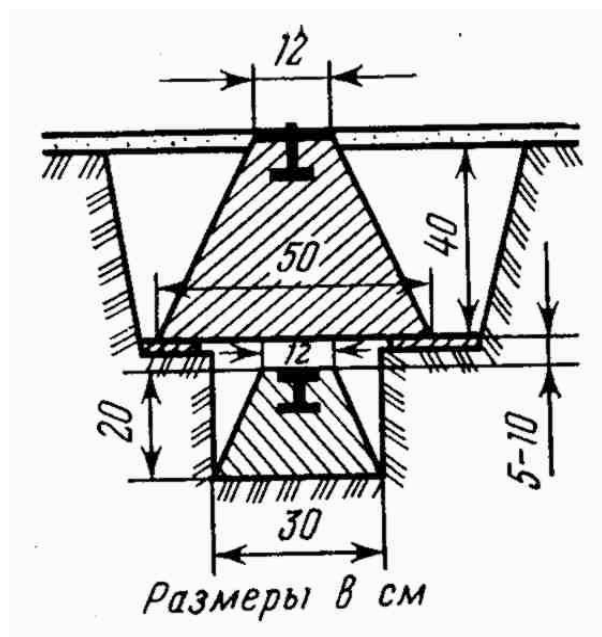


Рис. 75. Центр-репер геодезических сетей сгущения типа 5.

облегчения отыскания такого знака рядом с ним забивают сторожок высотой 30 см; знак окапывают круглой канавкой диаметром 0,8 м.

Конструкции центров геодезических пунктов триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов рекомендованы в инструкции [9].

На рис. 75 изображен центр типа 5 для районов с сезонным промерзанием грунтов, состоящий из двух бетонных блоков в форме усеченных пирамид. В каждом из блоков на отвесной линии вцементированы марки.

Для закрепления пунктов съемочного обоснования, сохранность которых должна быть обеспечена в течение нескольких лет, применяются центры в виде бетонных (рис. 76, а) и деревянных столбов (рис. 76, б) и металлических труб с бетонным якорем (рис. 76, в), закладываемых на глубину 80 см.

Большая часть пунктов съемочных сетей закрепляется временными знаками, представляющими собой деревянные колья или металлические трубки длиной не менее 40-50 см, которые забивают вровень с поверхностью земли; центром деревянного временного знака служит гвоздь, вбитый в верхний торец кола. Для

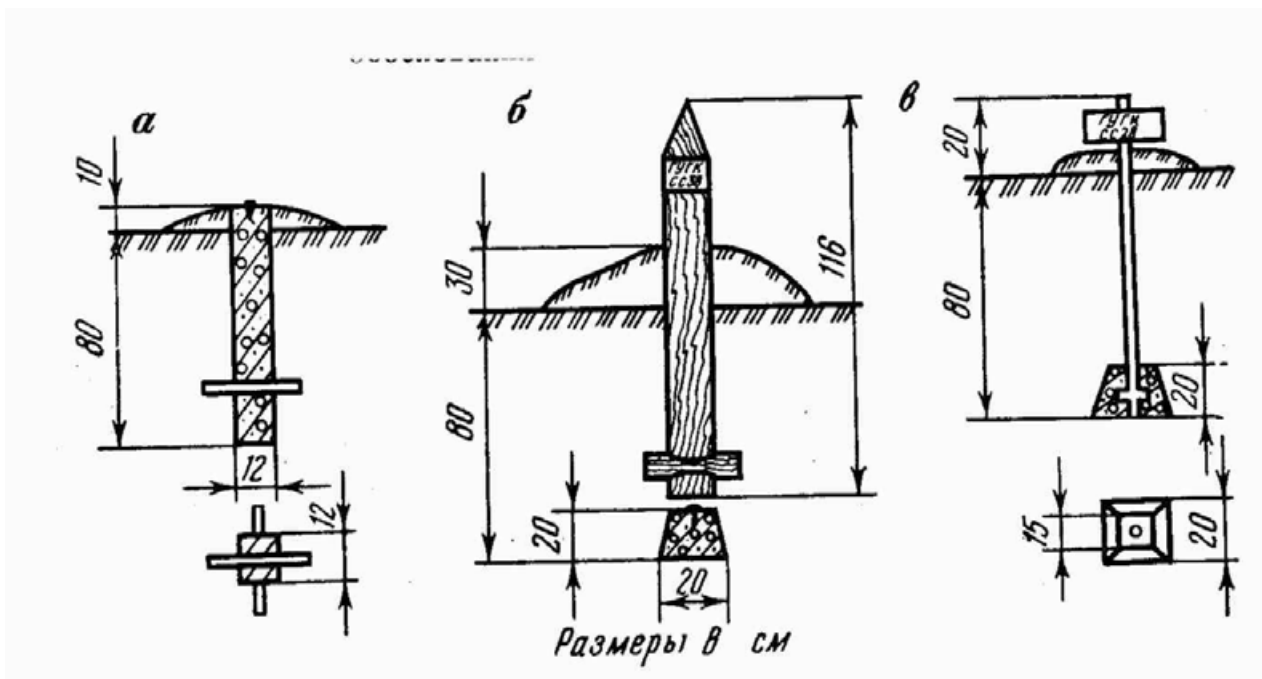


Рис. 76. Центры долговременных пунктов съемочного обоснования.

Для обеспечения взаимной видимости между смежными геодезическими пунктами при производстве угловых и линейных измерений над центрами устанавливаются наземные геодезические знаки. Тип наружных знаков зависит от того, на какую высоту нужно поднять прибор для установления нормальной видимости между смежными пунктами. Основными требованиями к наружным геодезическим знакам являются: их прочность и долговременная сохранность, жесткость и устойчивость, удобство работы на знаках и безопасность подъема и спуска с них. Обычно геодезические знаки имеют приспособление для установки прибора (инструментальный столбик), платформу для наблюдателя и визирное устройство (цилиндр).

В зависимости от конструкции наружные геодезические знаки подразделяются на туры, пирамиды, простые и сложные сигналы (рис. 77).

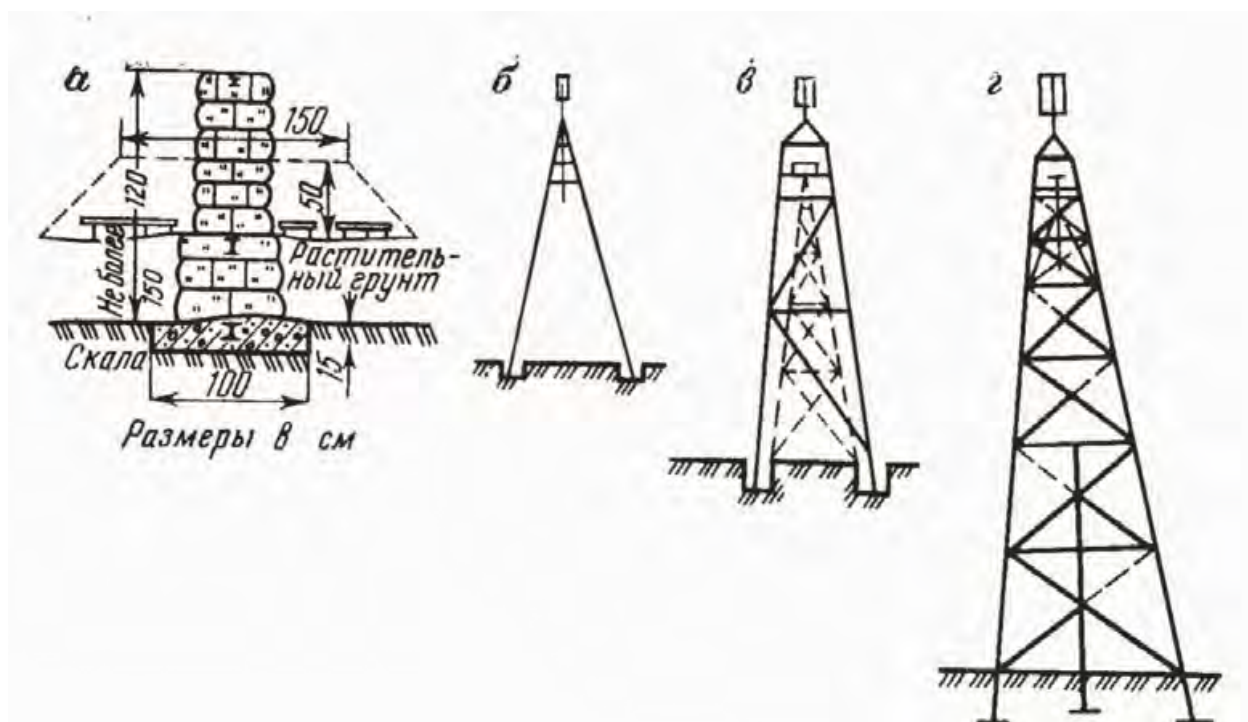


Рис.77. Наружные геодезические знаки: а – тур; б – пирамида; в – простой сигнал; г – сложный сигнал.

Туры представляют собой каменные, кирпичные или бетонные столбы, сооружаемые над маркой, заложённой в скале; устанавливаются на скалистых вершинах в горной местности.

Пирамиды строятся на крупных геодезических сетях всех классов в открытой местности, если видимость на смежные пункты возможна с земли. Они бывают трех- и четырехгранные, простые, со штативом и с вехой; высота пирамид обычно колеблется от 5 до 10 м.

При необходимости подъема прибора на высоту до 10 м строят **простые сигналы**, состоящие из двух пирамид, не соприкасающихся друг с другом: внутренней трехгранной, несущей столик для установки прибора, и внешней четырехгранной с платформой для наблюдателя и визирным цилиндром. Для подъема прибора на высоту более 10 м на пункте возводится **сложный сигнал**, внутренняя пирамида которого опирается на столбы наружной.

Геодезические знаки могут быть деревянными или металлическими, постоянными или разборными. В последние годы встречаются постройки железобетонных сигналов из крупных секций заводского изготовления.

При развитии съёмочных геодезических сетей на пунктах могут устанавливаться вехи. Вокруг наружного знака делается внешнее оформление в виде канавы.

§ 46. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЪЕМКАХ МЕСТНОСТИ

Совокупность действий, выполняемых на местности с целью получения плана, карты или профиля, называется **съёмкой**. Основными действиями при съёмках являются геодезические измерения: **линейные**, в результате которых определяются расстояния между точками местности; **угловые**, позволяющие определять горизонтальные и вертикальные углы между направлениями на заданные точки; **высотные** или **нивелирование**, в результате которых определяются превышения между точками местности.

Если съёмка производится для получения плана с изображением ситуации, то ее называют **горизонтальной** или **плановой**. Съёмка, в результате которой должен быть получен план или карта с изображением ситуации и рельефа, называется **топографической**. При топографической съёмке наряду с другими действиями производят измерения с целью определения высот точек

местности, т. е. нивелирование. В зависимости от применяемых приборов и методов различают следующие виды съемок.

Теодолитная съемка — это горизонтальная съемка местности, выполняемая с помощью угломерного прибора — теодолита и стальной мерной ленты (или оптического дальномера). При выполнении этой съемки измеряются горизонтальные углы и расстояния. В результате съемки получают ситуационный план местности с изображением контуров и местных предметов.

Тахеометрическая съемка выполняется тахеометрами, т. е. теодолитами, снабженными вертикальными кругами и дальномерами. При этом на местности измеряют горизонтальные и вертикальные углы и расстояния до точек. По результатам измерений в камеральных условиях строится топографический план местности. Данный вид съемки получил широкое распространение в инженерной практике.

Мензульная съемка производится при помощи мензулы — горизонтального столика и кипрегеля — специального углоначертательного прибора, снабженного вертикальным кругом и дальномером. В процессе этой съемки топографический план местности составляется непосредственно в поле, что позволяет сопоставлять полученный план с изображаемой местностью, обеспечивая тем самым своевременный контроль измерений. В этом заключается достоинство мензульной съемки по сравнению с тахеометрической.

Наземная фототопографическая съемка выполняется фототеодолитом, представляющим собой сочетание теодолита и фотокамеры. Путем фотографирования местности с двух точек линии (базиса) и последующей обработки фотоснимков на специальных фотограмметрических приборах получают топографический план снимаемого участка местности. Данная съемка применяется при дорожных, геологических и других изысканиях в горной местности и в маркшейдерском деле при съемках карьеров.

Воздушная фототопографическая съемка производится специальными аэрофотоаппаратами, устанавливаемыми на самолетах. Для обеспечения этой съемки на местности выполняются определенные геодезические измерения, необходимые для планово-высотной привязки аэроснимков к опорным точкам местности. Данный вид съемок является наиболее прогрессивным, допускающим широкую механизацию и автоматизацию производственных процессов; он позволяет в кратчайшие сроки получить топографические планы (карты) значительных территорий страны.

Нивелирование (вертикальная или высотная съемка) производится с целью определения высот точек земной поверхности. Нивелирование бывает: а) **геометрическое**, выполняемое с помощью приборов—нивелиров, обеспечивающих горизонтальное положение визирного луча в процессе измерений; б) **тригонометрическое**, выполняемое при помощи наклонного луча визирования; в) **барометрическое**, основанное на физическом законе изменения атмосферного давления с изменением высот точек над уровнем моря; выполняется с помощью барометров; г) **гидростатическое**, основанное на свойстве жидкости в сообщающихся сосудах устанавливаться на одинаковом уровне; выполняется с помощью шланговых нивелиров и применяется при наблюдении за осадками сооружений, для передачи отметок через водные преграды, при монтаже технологического оборудования в стесненных условиях и т. д.; д) **механическое**, выполняемое при помощи профилографов-автоматов; такое нивелирование дает возможность автоматически получать профиль нивелируемой местности и определять отметки отдельных точек.

Глазомерная съемка - контурная съемка местности, выполняемая на планшете с компасом при помощи визирной линейки. При сочетании глазомерной съемки с барометрическим нивелированием можно получить топографический план местности. Глазомерная съемка с самолета (вертолета) называется **аэровизуальной**. В инженерной практике данная съемка применяется при предварительном ознакомлении с местностью, а также при изысканиях в неисследованных районах.

Буссольная съемка производится с помощью буссоли и мерной ленты для получения ситуационного плана местности. В качестве самостоятельной буссольная съемка в настоящее время

не применяется; иногда она используется для съемки небольших участков местности как вспомогательная при других видах съемок.

§ 47. ВЫБОР МАСШТАБА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК И ВЫСОТЫ СЕЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА

Масштаб съемки и высота сечения рельефа определяют содержание и точность ситуации и рельефа на топографическом плане или карте.

С увеличением масштаба топографической съемки и уменьшением высоты сечения рельефа повышается точность планов и карт и подробность изображения на них ситуации и рельефа местности. Точность полевых измерений при съемке должна соответствовать точности масштаба, в котором будет составляться план. Поэтому чем точнее и детальнее требуется получить данные с плана при проектных и других расчетах, тем точнее следует производить съемочные работы и тем крупнее должен быть масштаб плана.

Однако повышение точности и подробности съемки ведет к усложнению методов ее производства и увеличивает затраты труда и средств на единицу снимаемой площади. Поэтому при топографической съемке следует выбирать такой ее масштаб и сечение рельефа, которые обеспечивали бы необходимую точность, детальность и полноту изображения элементов местности при минимальной стоимости работ. Следовательно, основным условием правильного выбора масштаба съемки и высоты сечения рельефа является соответствие между точностью плана или карты и требуемой точностью проектирования и перенесения проекта в натуру.

Под точностью топографического плана (карты) понимают допустимые средние либо предельные погрешности в положении контуров, предметов местности и высот точек по отношению к плановому и высотному обоснованию. Согласно Инструкции по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 (М., Недра, 1985) средние погрешности в положении на плане предметов и контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших точек съемочного обоснования не должны превышать 0,5 мм, а в горных и залесенных районах - 0,7 мм; на территориях с капитальной и многоэтажной застройкой предельные погрешности во взаимном положении на плане точек ближайших контуров (капитальных сооружений, зданий и т.п.) не должны превышать 0,4 мм. Средние погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек геодезического обоснования не должны превышать по высоте $1/4$ принятой высоты сечения рельефа h , при углах наклона до 2° ; $1/3 h$ - при углах наклона от 2 до 6° для планов масштабов 1:5000, 1:2000 и до 10° для планов масштабов 1:1000 и 1:500; $1/2$ — при сечении рельефа через 0,5 м на планах масштабов 1:5000 и 1:2000. В залесенной местности эти допуски увеличиваются в 1,5 раза. В районах с углами наклона свыше 6° для планов масштабов 1:5000 и свыше 10° — для планов масштабов 1:1000 и 1:500 число горизонталей должно соответствовать разности высот, определенных на перегибах скатов, а средние погрешности высот характерных точек рельефа не должны превышать $1/3$ принятой высоты сечения рельефа.

Факторы, влияющие на выбор масштаба съемки, делятся на производственные, природные, технические и экономические.

В настоящее время для удовлетворения нужд промышленного и гражданского строительства выбор масштаба съемки и планов регламентируется многочисленными нормативными документами, учитывающими специфику отдельных видов строительства. Для отдельных стадий проектирования устанавливают, как правило, два или три масштаба съемки и плана.

Для предрасчета масштаба съемки с учетом требований проектирования к размещению зданий и сооружений в натуре при графическом способе подготовки проектных данных можно использовать формулу

$$M = 0.067 \frac{\Delta_{стр}}{m_{граф}},$$

где $\Delta_{стр}$ — строительный допуск на размещение объектов в натуре; $m_{граф}$ - графическая точность масштаба плана; M - знаменатель масштаба съемки.

При выборе масштаба съемки для геологических и маркшейдерских целей следует учитывать размеры площадки, занимаемой залежью, требуемую точность определения площадей полезного ископаемого, а также потребность отражения отдельных контуров и предметов местности на плане. При детальной разведке месторождений на выбор масштаба съемки влияют необходимая точность подсчета запасов полезного ископаемого и геологического картирования, горнотехнические условия

разработки месторождения и необходимая детальность изображения контуров и объектов местности. В этом случае масштаб съемки можно определить по формуле

$$M = 1000\sqrt{P_{га}},$$

где $P_{га}$ — площадь участка в гектарах.

Для месторождений с разведочной сетью со сторонами от 10 до 50 м обычно используется масштаб 1:2000, от 50 до 100 м - 1:5000 и от 100 до 200 м - 1: 10000. Большинство задач по геологической разведке, проектированию и эксплуатации горных предприятий могут быть выполнены с использованием планов масштаба 1:10000 либо на планах в масштабе 1:5000, полученных увеличением с планов 1:10000. Для решения специальных задач проектирования и строительства на отдельные участки требуются планы в масштабе 1:2000.

Высота сечения рельефа определяет точность изображения рельефа и влияет на качество работ, особенно проектов вертикальной планировки. Высоту сечения рельефа устанавливают в зависимости от масштаба плана и характера рельефа местности с таким расчетом, чтобы горизонталы на плане не сливались между собой, рельеф изображался с достаточной точностью и легко читался.

Для топографических планов и карт масштабов 1:5000 - 1:25 000 высоту сечения рельефа можно рассчитать по формуле

$$h=0,2M, \text{ mm}$$

где M — знаменатель численного масштаба плана.

Так, для масштаба 1: 10000 величина A , рассчитанная по этой формуле, составит 2 м, для масштаба 1: 5000— 1 м.

Высоту сечения рельефа можно также определить из соотношений

$$H=5m_h \text{ или } h=4t_H,$$

где m_h —средняя квадратическая погрешность определения превышений при съемке; t_H — средняя квадратическая погрешность определения отметок точек по горизонталям на плане.

В зависимости от характера рельефа местности (равнинный, всхолмленный, пересеченный, горный и предгорный) для каждого масштаба съемки приняты 2—4 значения высоты сечения рельефа: для масштаба 1:5000—0,5—5,0 м; 1:2000—0,5—2,0 м; 1 :1000 и 1 :500—0,5—1,0м.

В исключительных случаях при съемках подготовленных и спланированных площадей с максимальными преобладающими углами менее 2° допускается принимать высоту сечения рельефа 0,25 м. На значительных по площади участках съемочного планшета, где преобладающие углы наклона местности различаются на 2 градуса и более, разрешается применять две высоты сечения рельефа. На участках, где расстояния между основными горизонталями превышают 2,5 см на плане, для изображения характерных деталей рельефа следует обязательно использовать полугоризонталы.

Модуль III. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Глава 9 УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§48. ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

При геодезических работах широко применяются приборы для измерения горизонтальных и вертикальных углов любой величины.

Когда требуется измерить угол на точке местности, то обычно два пункта визирования не находятся в горизонтальной плоскости, проходящей через точку стояния прибора. В геодезии же используются горизонтальные углы, представляющие собой проекции двугранных углов местности на горизонтальную плоскость.

Пусть на местности имеются точки A , B и C (рис. 78), расположенные на разных высотах. Необходимо измерить горизонтальный угол при вершине B . Горизонтальным углом будет угол $abc = \beta$, образованный проекциями ba и bc сторон двугранного угла ABC на горизонтальную плоскость Q . Следовательно, горизонтальный угол β есть линейный угол двугранного угла между отвесными проектирующими плоскостями P и P_1 , проходящими соответственно через стороны BA и BC угла на местности. Горизонтальному углу β будет равен всякий другой угол, вершина которого находится в любой точке отвесного ребра Bb двугранного угла ABC , а стороны лежат в плоскости, параллельной горизонтальной плоскости Q .

Если в точке b' представить горизонтально расположенный градуированный круг, центр которого лежит на отвесном ребре Bb , то на нем можно отметить дугу $a'c'$, заключенную между сторонами двугранного угла. Эта дуга, являясь мерой центрального угла $a'b'c'$, будет также мерой и равного ему угла $abc = \beta$.

Следовательно, для измерения горизонтальных углов на местности угломерный прибор должен иметь в своей конструкции градуированный горизонтальный круг, называемый ЛИМБОМ, и подвижную

визирную

(коллимационную)

плоскость, вращающуюся вокруг отвесной оси ZZ , служащей осью прибора. Последовательно совмещая с помощью визирного приспособления коллимационную плоскость со сторонами двугранного угла, путем взятия отсчетов по лимбу на нем можно отметить начало и конец дуги $a'c'$. Если деления круга оцифрованы по часовой стрелке, то угол β определится как разность отсчетов по лимбу a' и c' , т. е. $\beta = a' - c'$.

Изложенный геометрический принцип измерения горизонтального угла осуществляется в угломерном приборе - ТЕОДОЛИТЕ.

Вертикальные углы направлений на точку визирования лежат в вертикальной плоскости. Если вертикальные углы отсчитываются от отвесной оси ZZ до направлений на точки A и C (см. рис. 78), то углы Z_1 и Z_2 называются зенитными расстояниями. При отсчете вертикальных углов от горизонтальных проекций линий до их направлений на местности получают УГЛЫ НАКЛОНА ν_1 и ν_2 .

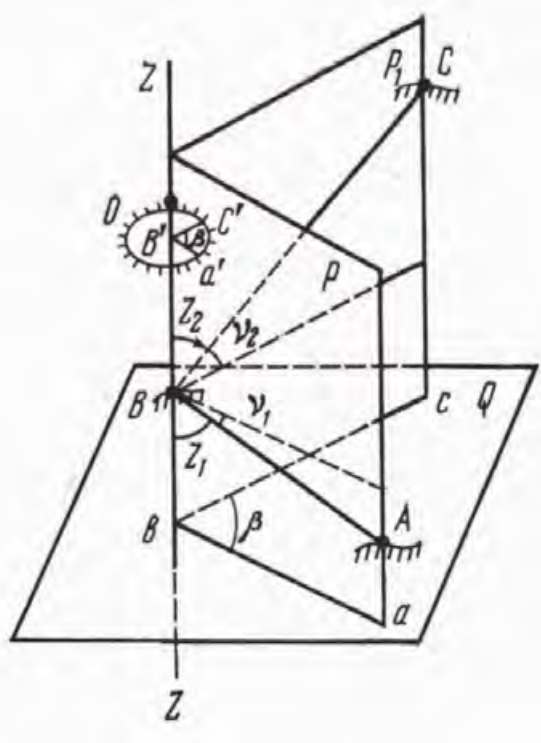


Рис.78 Принцип измерения углов

§ 49. КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕОДОЛИТОВ

Существующие типы теодолитов различаются по точности, виду отсчетных устройств, конструкции системы вертикальных осей горизонтального круга и назначению.

В зависимости от точности измерения горизонтальных углов в соответствии с ГОСТ 10529-86 теодолиты могут быть разделены на 3 типа:

1. Высокоточные Т1, предназначенные для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 1 и 2 классов.

2. Точные Т2 - для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов; Т5 - для измерения углов в триангуляционных сетях и полигонометрии 1 и 2 разрядов и производства маркшейдерских работ на поверхности.

3. Технические Т15, Т30 и Т60 - для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах и съемочных сетях, а также для выполнения маркшейдерских работ на поверхности и в подземных выработках.

В условных обозначениях теодолитов цифра означает среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла одним приемом в секундах; для теодолита Т5 $m_p = 5''$, для Т30 $m_p = 30''$ и т. д.

По виду отсчетных устройств различают верньерные и оптические теодолиты. Отсчетные устройства в виде верньеров используются в теодолитах с металлическими кругами (ТТ-50, Т-5, ТГ-5 и др.). Теодолиты со стеклянными угломерными кругами и оптическими отсчетными устройствами называются **ОПТИЧЕСКИМИ**; в них с помощью оптической системы изображения горизонтального и вертикального кругов передаются в поле зрения специального микроскопа.

В настоящее время промышленностью выпускаются только оптические теодолиты. Выпуск теодолитов с металлическими кругами и верньерами прекращен. В последние годы взамен теодолитов серии Т налажен выпуск более совершенных теодолитов унифицированной серии 2Т, 3Т. По конструкции системы вертикальных осей горизонтального круга теодолиты подразделяются на неповторительные и повторительные.

У неповторительных теодолитов лимбы наглухо закреплены с подставкой. Повторительные теодолиты имеют специальную повторительную систему осей лимба и алидады, позволяющую лимбу совместно с алидадой вращаться вокруг своей оси. Такой теодолит позволяет поочередным вращением алидады несколько раз откладывать (повторять) на лимбе величину измеряемого горизонтального угла, что повышает точность измерений.

По назначению различают следующие типы теодолитов.

1. Собственно теодолиты - предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов.

2. Тахеометры - предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов и определения расстояний при помощи нитяного дальномера или оптическими дальномерными насадками, что позволяет, выполняя с их помощью тахеометрическую съемку. Все технические теодолиты (Т15, 2Т30, Т60 и др.) являются тахеометрами.

3. Теодолиты специального назначения: астрономические теодолиты ($AV2''/10''$, $AV2''/2''$) - предназначены для определения широты, долготы и азимутов из астрономических наблюдений; маркшейдерские теодолиты (Т15М, Т30М, 2Т30М); теодолит-нивелир (ТН) - имеет цилиндрический уровень при зрительной трубе и может быть использован для производства геометрического нивелирования; теодолит проектировочный (ТПП) - имеет в комплекте накладной уровень, окулярную насадку, дальномерный комплект, буссоль и оптический центрир, применяется для строительных разбивок; специализированные теодолиты-гиротеодолиты, фототеодолиты, лазерные теодолиты, кодовые теодолиты и др.

В инженерной практике наибольшее распространение получили оптические теодолиты типов 2Т30, Т15, Т5, 2Т5К.

§50. ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА ТЕОДОЛИТА

В соответствии с принципом измерения горизонтального и вертикального углов конструкция теодолита должна включать следующие части (рис. 79).

Основной частью теодолита является горизонтальный круг, состоящий из **ЛИМБА 3** и **алидады 2**. В процессе измерения горизонтального угла плоскость лимба должна быть горизонтальной, а его центр - устанавливаться на отвесной линии, проходящей через вершину измеряемого угла. Отвесная линия **ZZ**, проходящая через ось вращения алидады горизонтального круга, называется **ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ ТЕОДОЛИТА**.

Ось вращения теодолита **ZZ** устанавливается в отвесное положение (плоскость лимба - в горизонтальное положение) по цилиндрическому уровню **9** с помощью трех подъемных винтов / подставки **10**. Лимб и алидада снабжены закрепительными винтами, служащими для закрепления их в неподвижном положении, и наводящими винтами - для их медленного и плавного вращения.

Визирование на наблюдаемые цели осуществляется зрительной трубой **8**, визирная ось **VV** которой при вращении трубы вокруг горизонтальной оси **HH** образует проектирующую плоскость, называемую **КОЛЛИМАЦИОННОЙ**. Зрительная труба соединена с алидадой горизонтального круга с помощью колонки **4**. На одном из концов оси вращения зрительной трубы закреплен вертикальный круг **5**, имеется цилиндрический уровень **7**. Зрительная труба имеет закрепительный и наводящий винты.

При измерениях теодолит обычно устанавливается на штативе. Штатив состоит из металлической верхней части - головки и трех раздвижных (переменной длины) деревянных ножек. Концы ножек снабжены металлическими острыми наконечниками для вдавливания их в грунт и надежного закрепления штатива над точкой. Теодолит закрепляется на штативе винтом. К крючку станového винта привязывается нить отвеса, служащая продолжением вертикальной оси вращения прибора **ZZ**. С помощью отвеса теодолит центрируется над точкой, т. е. устанавливается таким образом, чтобы ось вращения прибора проходила через вершину измеряемого угла. Становые винты изготавливаются полыми, что дает возможность использовать для центрирования теодолита над точкой оптические центры.

Рассмотрим подробнее основные части теодолита.

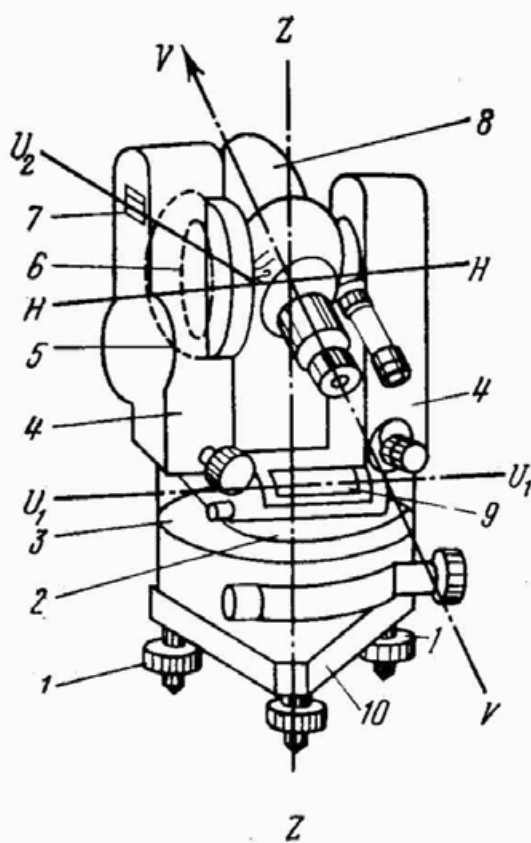


Рис.79. Принципиальная схема теодолита

При измерениях теодолит обычно устанавливается на штативе. Штатив состоит из металлической верхней части - головки и трех раздвижных (переменной длины) деревянных ножек. Концы ножек снабжены металлическими острыми наконечниками для вдавливания их в грунт и надежного закрепления штатива над точкой. Теодолит закрепляется на штативе винтом. К крючку станového винта привязывается нить отвеса, служащая продолжением вертикальной оси вращения прибора **ZZ**. С помощью отвеса теодолит центрируется над точкой, т. е. устанавливается таким образом, чтобы ось вращения прибора проходила через вершину измеряемого угла. Становые винты изготавливаются полыми, что дает возможность использовать для центрирования теодолита над точкой оптические центры.

§51. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КРУГИ

Горизонтальные круги теодолита предназначены для измерения горизонтальных углов и состоят из лимба и алидады.

Лимб является основной частью угломерного прибора в оптических теодолитах, представляет собой стеклянное кольцо. На скошенном крае лимба при помощи автоматической делительной машины нанесены равные деления. Величина дуги лимба между двумя ближайшими штрихами называется ценой деления лимба.

Цена деления лимба определяется по оцифровке градусных (или градовых) штрихов. Оцифровка лимбов обычно производится по часовой стрелке от 0 до 360°.

Алидадой в современных теодолитах может являться полный горизонтальный круг или часть круга. Алидада может вращаться вокруг своей оси совместно с верхней частью теодолита относительно неподвижного лимба; при этом отсчет по горизонтальному кругу изменяется. Если алидада вращается вокруг оси совместно с лимбом (закрепительный винт алидады закреплен, а лимба - откреплён), то отсчет по горизонтальному кругу остается неизменным.

Лимб и алидада закрывается металлическим либо пластмассовым кожухом, предохраняющим их от механических повреждений, влаги и пыли.

§ 52. ОТСЧЕТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Отсчетом по угломерному кругу называется угловая величина дуги между нулевым штрихом лимба и индексом алидады

В зависимости от типа и назначения приборов для взятия отсчетов по лимбу применяются верньеры (для теодолитов старых марок), штриховые (микроскопы-оценщики) и шкаловые микроскопы, микроскопы-микрометры и оптические микрометры. В технических теодолитах в качестве отсчетных устройств используются верньеры (в теодолитах старых конструкций с металлическими лимбами), штриховые и шкаловые микроскопы (в оптических теодолитах). Принцип действия указанных отсчетных устройств основан на способности глаза с высокой точностью воспринимать совпадение штрихов одной шкалы со штрихами другой, а также оценивать десятые доли промежутка между штрихами.

Штриховой микроскоп - это отсчетное устройство, в котором интервал между младшим штрихом и индексом оценивается на глаз до десятых долей делений лимба (рис. 80). Изображения шкал и индекс рассматривают через окуляр микроскопа, который располагается рядом с окуляром зрительной трубы.

В теодолите Т30 в поле зрения штрихового микроскопа строятся одновременно изображения шкал горизонтального и вертикального кругов с общим индексом. Отсчеты берут по одной стороне кругов с точностью до 1'.

Шкаловый микроскоп широко используется в современных технических и точных теодолитах с односторонним отсчитыванием по лимбу. В поле зрения такого микроскопа видны изображения лимба и шкалы, длина которой равна изображению наименьшего (обычно градусного) деления лимба. Индексом для отсчета служит штрих лимба, расположенный в пределах шкалы (рис. 81).

На рис. 81, а показано поле зрения шкалового микроскопа теодолита Т5, имеющего шкалы для горизонтального и вертикального кругов, каждая из которых разделена на 60 частей. Поскольку цена деления лимба 1° , одно деление шкалы соответствует Г. При отсчете по микроскопу десятые доли наименьшего деления шкалы оцениваются на глаз с точностью до 0, Г.

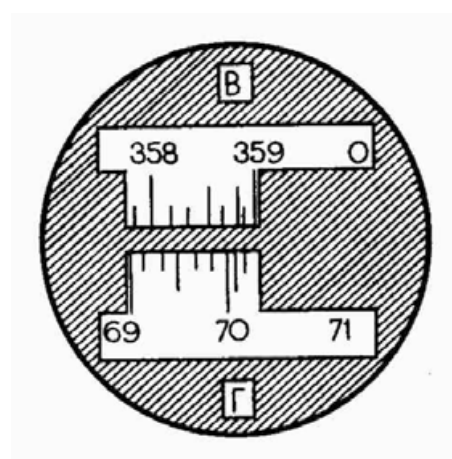


Рис.80. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т30.

Отсчеты: по горизонтальному кругу $70^{\circ}04'$; по вертикальному кругу – $358^{\circ}48'$

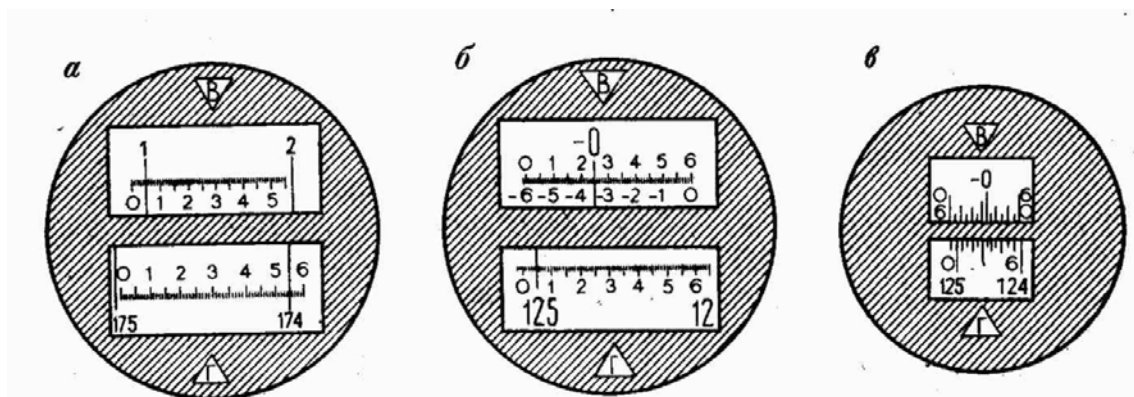


Рис.81. Поле зрения шкалового микроскопа теодолитов: Отсчеты: а – по горизонтальному кругу $174^{\circ}54,9'$; по вертикальному кругу $4^{\circ}05,0'$; б – по горизонтальному кругу $125^{\circ}05,4'$; по вертикальному кругу $0^{\circ}34,9'$

В теодолитах Т15, 2Т5 (рис. 81, б) отсчеты по горизонтальному кругу производятся по аналогии с предыдущим. Шкала вертикального круга имеет два ряда цифр со знаком «+» и «—», По нижнему ряду со знаком «—» берут отсчеты в случаях, если в пределах шкалы находится штрих вертикального круга с тем же знаком.

У теодолита 2Т30 цена деления шкал отсчетного микроскопа (рис. 81, в) равна 5', отсчеты по угломерным кругам берутся с точностью 0,5.

Результаты отсчитывания по угломерным кругам с помощью рассмотренных видов шкаловых микроскопов приведены на рис. 81.

§ 53. ЗРИТЕЛЬНЫЕ ТРУБЫ

Устройство зрительной трубы. Для визирования на удаленные наблюдаемые предметы в геодезических приборах используют зрительные трубы. Большинство из них дает обратное изображение предметов и относится к типу астрономических; в некоторых теодолитах используются трубы, обеспечивающие прямое изображение. Перед наблюдением зрительная труба должна быть отрегулирована таким образом, чтобы в поле зрения трубы отчетливо было видно изображение визирной цели. Такая установка зрительной трубы называется ее **фокусированием**. По характеру фокусировки различают трубы с внешним и внутренним фокусированием.

В современных геодезических приборах применяют трубы с внутренним фокусированием, имеющие постоянную длину. Конструкция таких труб обеспечивает большее увеличение при меньшей длине по сравнению с трубами с внешним фокусированием, а также предохраняет трубу от проникновения в нее пыли и влаги.

Оптическая система зрительной трубы с внутренним фокусированием (рис. 82, а) - состоит из объектива 1, окуляра 2, внутренней фокусирующей линзы 3, которая перемещается внутри трубы вращением кремальеры 4 (кремальерного винта или кольца) и сетки нитей 5.

Совместное действие объектива и фокусирующей линзы равносильно действию одной собирающей линзы с переменным фокусным расстоянием, называемой телеобъективом. Принципиально оптическая схема трубы с телеобъективом (рис. 82, б) не отличается от схемы простой зрительной трубы (трубы Кеплера) с внешней фокусировкой, но обладает более совершенной конструкцией.

Предмет AB , расположенный за двойным фокусным расстоянием, рассматривается через объектив 1 (см. рис. 82, б). Его изображение ab , получаемое с помощью телеобъектива, будет действительным, обратным и уменьшенным. Указанное изображение увеличивается окуляром 2, в результате чего получается мнимое и увеличенное изображение $a'b'$ наблюдаемого предмета.

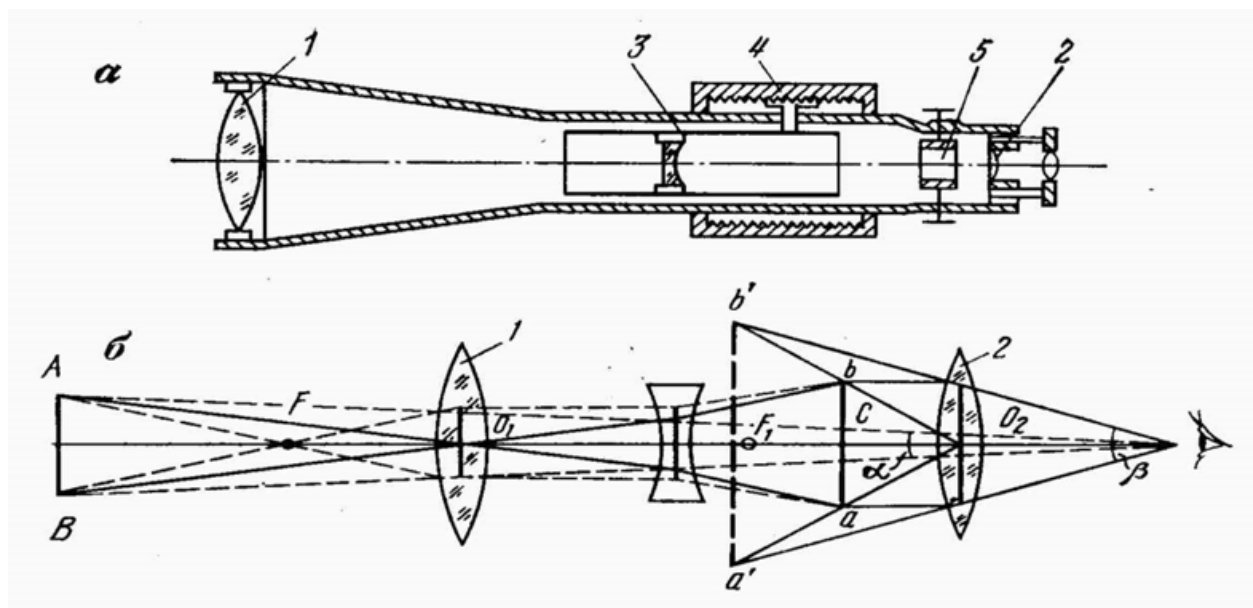


Рис. 82. Зрительная труба: а – продольный разрез; б – ход лучей в зрительной трубе

Изображение предмета, получаемое простой зрительной трубой, сопровождается оптическими искажениями, основными из которых являются сферическая и хроматическая аберрации. **Сферическая аберрация** вызывается тем, что лучи света (особенно падающие на края линзы) после преломления не пересекаются в одной точке и дают тем самым неясное и расплывчатое изображение. **Хроматическая аберрация** заключается в том, что лучи света после преломления в линзе разлагаются на составные цвета радуги и окрашивают края изображений. Для ослабления влияния оптических искажений в зрительных трубах применяют диафрагмы, задерживающие прохождение крайних лучей света, а также сложные объективы и окуляры, состоящие из 2 - 3 линз и более с разной кривизной и различными коэффициентами преломления стекла.

Сетка нитей. Установка зрительной трубы для наблюдения. Для визирования на наблюдаемые цели в зрительной трубе должна быть постоянная точка K - действительная или воображаемая между параллельными линиями. Для получения этой точки в окулярном колене вблизи переднего фокуса окуляра помещается металлическая оправа, в которой вставлена стеклянная пластинка с нанесенной на ней сеткой нитей (рис. 83, а). Виды сеток нитей, применяемых в современных теодолитах, показаны на рис. 83, б, в.

Сетка нитей представляет собой систему штрихов, расположенных в плоскости изображения, даваемого объективом зрительной трубы. Основные штрихи сетки используются для наведения трубы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Двойной вертикальный штрих называется **биссектором** нитей; визирование на наблюдаемую цель биссектором производится точнее, чем одной нитью. Точка пересечения основных штрихов сетки нитей либо осей заменяющих их биссекторов называется **перекрестием сетки нитей**.

Воображаемая линия, соединяющая перекрестие сетки нитей и оптический центр объектива, называется визирной осью трубы, а ее продолжение до наблюдаемой цели — линией визирования. Линия, проходящая через оптические центры объектива и окуляра, называется оптической осью трубы. Зрительная труба имеет также геометрическую ось, т.е. линию симметрии трубы, проходящую через центры поперечных сечений цилиндра трубы.

Для правильной установки сетки нитей ее оправа снабжена исправительными (юстировочными) винтами 1: двумя горизонтальными и двумя вертикальными (см. рис. 83, а), которые закрываются навинчивающимся колпачком. С помощью каждой из пар юстировочных винтов сетку нитей можно перемещать в небольших пределах в горизонтальной и вертикальной плоскостях, изменяя тем самым положение визирной оси зрительной трубы.

При визировании на цель наблюдатель должен отчетливо видеть в поле зрения трубы штрихи сетки нитей и изображение рассматриваемого предмета. Для выполнения этого условия должны быть выполнены действия, составляющие установку зрительной трубы для наблюдения. Полная установка трубы для наблюдения складывается из установки ее по глазу и по предмету.

Установка трубы по глазу производится перемещением диоптрийного кольца окуляра до получения четкой видимости штрихов сетки нитей; она выполняется каждым наблюдателем соответственно остроте его зрения и периодически проверяется.

Установка трубы по предмету (фокусирование) для получения отчетливого изображения визирной цели осуществляется перемещением фокусирующей линзы с помощью кремальерного винта или кольца. При наблюдении предметов, расположенных на различных расстояниях от прибора, фокусирование приходится производить каждый раз заново. Перекрестие сетки нитей не должно сходить с изображения наблюдаемой цели при перемещении глаза относительно окуляра. В противном случае имеет место явление, называемое **параллаксом сетки нитей**, который возникает при недостаточно тщательном фокусировании трубы вследствие не совмещения изображения предмета с плоскостью сетки нитей. Параллакс устраняется небольшим поворотом кремальеры, что способствует повышению точности визирования.

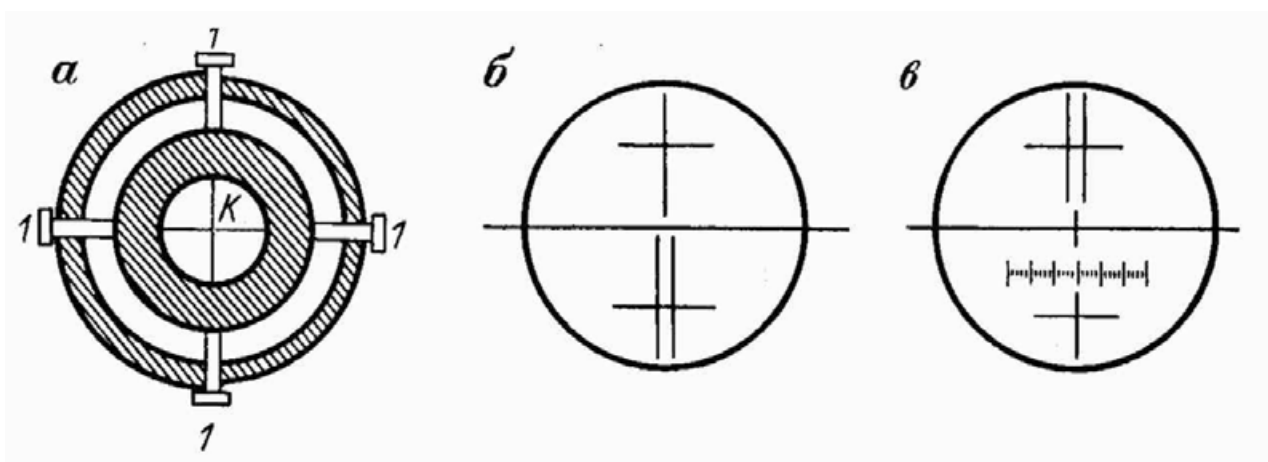


Рис. 83. Сетка нитей зрительной трубы: а – схема закрепления оправы сетки нитей; б – сетка теодолитов Т15, Т5, Т30 и Т60; в – сетка теодолитов Т15М и Т30М.

Технические показатели зрительных труб. Оценка качества зрительных труб осуществляется по ряду технических показателей, к основным из которых относятся увеличение трубы, поле зрения трубы и яркость изображения.

Видимым или угловым увеличением зрительной трубы Γ называется отношение угла ρ (см. рис. 82, б), под которым изображение рассматриваемого предмета видно в трубу, к углу α , под которым предмет виден невооруженным глазом, т. е.

$$\Gamma = \frac{\beta}{\alpha}.$$

Практически увеличение зрительной трубы можно принять равным отношению фокусных расстояний объектива и окуляра:

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f_{ок}}.$$

Увеличение зрительной трубы можно определить по вертикальной рейке, установленной в 5 - 10 м от прибора (рис. 84, а). На рейку смотрят одновременно двумя глазами: одним - непосредственно на рейку, другим - через трубу. При этом два видимых изображения рейки проектируются одно на другое; подсчитывают, сколько делений рейки, видимых невооруженным глазом, проектируется на одно увеличенное деление, видимое через трубу. Это число и будет увеличением зрительной трубы.

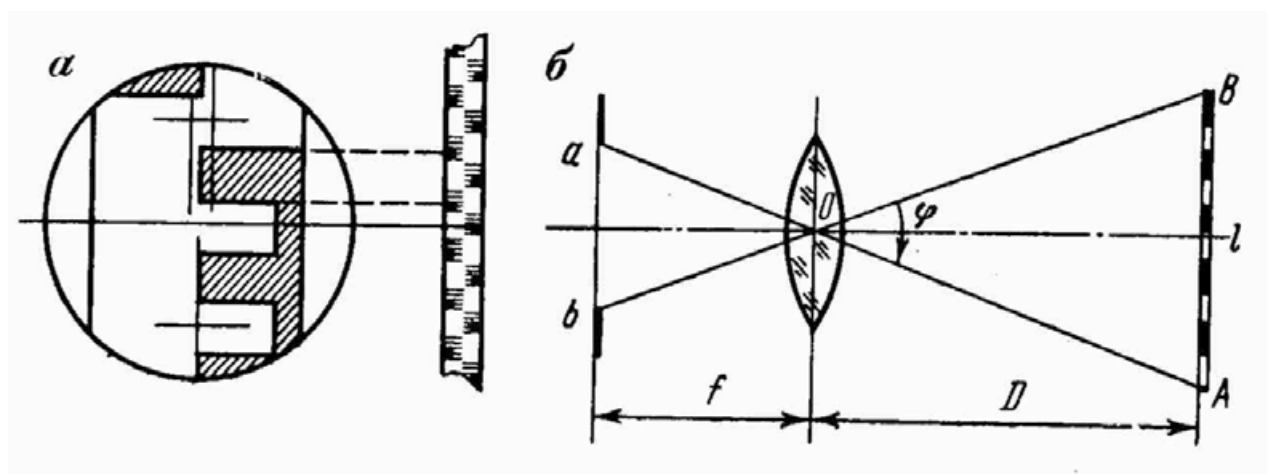


Рис. 84. Схемы исследования зрительной трубы при помощи рейки

Принимая погрешность визирования невооруженным глазом равной 60" и зная увеличение трубы Γ , можно найти предельную погрешность визирования при наблюдении в зрительную трубу:

$$m_v = \frac{60''}{\Gamma}. \quad (\text{IX.1})$$

Для получения большего увеличения в зрительных трубах геодезических приборов используют длиннофокусные объективы и короткофокусные окуляры. Увеличение зрительных труб, применяемых в инженерной практике, находится в пределах 15 – 30^x, а в высокоточных приборах - до 40^x.

Полем зрения зрительной трубы называется коническое пространство, видимое глазом через неподвижно установленную трубу. Оно измеряется (рис. 84, б) углом φ между лучами, идущими из оптического центра объектива к краям a и b диафрагмы. Величина угла поля зрения трубы определяется по формуле

$$\varphi = \frac{38,2^\circ}{\Gamma} \quad (\text{IX.2})$$

т. е. угол поля зрения обратно пропорционален увеличению трубы и не зависит от размеров объектива. Это обстоятельство ограничивает применение в геодезических приборах труб с большим увеличением, так как ими весьма трудно отыскивать визирные цели. Поэтому на трубах с большим увеличением часто устанавливают дополнительную трубу-искатель с малым увеличением, но большим полем зрения.

На практике для определения угла поля зрения трубы на расстоянии D (см. рис. 84, б) от объектива устанавливают рейку и отсчитывают по ней число делений l , видимых в трубу между краями поля зрения. Тогда

$$\varphi = \frac{l}{D} p'.$$

Например, при $D=20$ м, $l=60$ см, $\varphi=0,60 \text{ м}/20 \text{ м} \cdot 3438' = 103' = 1,7^\circ$.

Зрительные трубы геодезических приборов имеют углы поля зрения от 30' до 2°.

Яркость изображения или степень освещенности характеризуется количеством света, получаемым глазом в одну секунду, на каждый квадратный миллиметр видимого изображения. Относительная яркость изображения I , определяемая отношением яркостей изображения при наблюдении невооруженным глазом E_0 и с помощью зрительной трубы E_1 , может быть найдена из выражения

$$I = \frac{E_1}{E_0} = \tau \left(\frac{D_{BX}}{\Gamma d_{\Gamma Л}} \right)^2, \quad (\text{IX.3})$$

где τ - коэффициент пропускания системы, учитывающий потери светового потока на отражение при преломлении лучей на полированных поверхностях и поглощение при их прохождении через оптические детали; D_{BX} —диаметр входного отверстия объектива; $d_{\Gamma Л}$ —диаметр зрачка глаза.

Как следует из формулы (IX.3), для наблюдений (особенно в подземных горных выработках в условиях слабой освещенности) выгодно применять трубы с большим диаметром входного отверстия и небольшим увеличением. Однако увеличение диаметра входного отверстия объектива ведет к усилению влияния хроматической аберрации, а уменьшение увеличения - к снижению разрешающей способности трубы и точности визирования.

Применение просветленной оптики в современных геодезических приборах сводит к минимуму потери яркости изображения при прохождении лучей через оптическую систему трубы.

§ 54. УРОВНИ

Уровни служат для приведения осей и плоскостей геодезических приборов в горизонтальное либо вертикальное положение. В точных приборах с помощью накладных уровней измеряют незначительные (порядка нескольких секунд) углы наклона осей. Уровни применяются также в виде

самостоятельных приборов при монтаже технологического оборудования и в строительном деле. По форме различают цилиндрические и круглые (сферические) уровни.

Цилиндрический уровень. Цилиндрический уровень (рис. 85, а) представляет собой стеклянную трубку (ампулу), внутренняя поверхность которой в вертикальном продольном разрезе имеет вид дуги AB круга радиуса от 3,5 до 200 м. При изготовлении уровня ампулу заполняют легкоподвижной жидкостью (серным эфиром или спиртом), нагревают и запаивают. После охлаждения внутри ампулы образуется небольшое пространство, заполненное парами жидкости, которое называется **пузырьком уровня**. Для защиты от повреждений ампула заключается в металлическую оправу, заполненную гипсом. Юстировка уровня, т. е. его установка на приборе в требуемом положении, выполняется исправительными винтами.

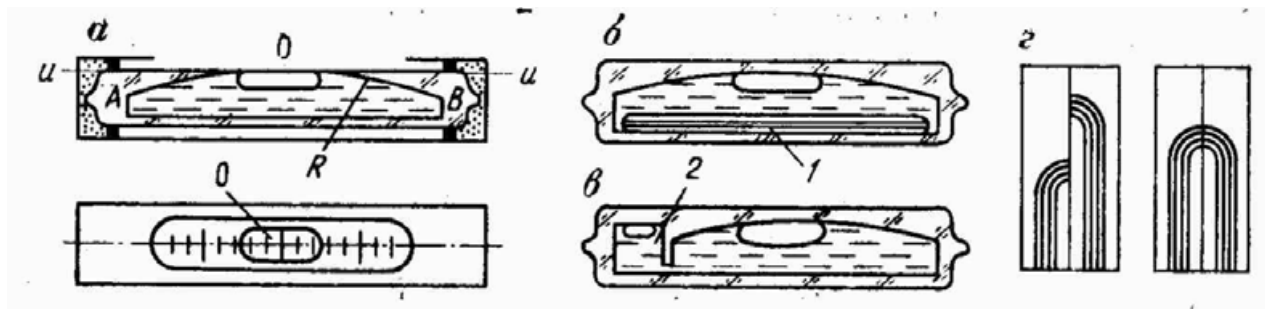


Рис. 85. Цилиндрический уровень

На наружной поверхности ампулы наносятся деления через 2 мм (см. рис. 85, а). Средний штрих 0 шкалы принимается за нулевой и называется **НУЛЬ-ПУНКТОМ** уровня. Касательная uu к дуге AB внутренней поверхности уровня в нуль-пункте называется **ОСЬЮ** уровня. Если пузырек уровня находится в нуль-пункте, то ось уровня горизонтальна. При наклоне оси уровня его пузырек перемещается. Центральный угол, соответствующий одному делению ампулы, называется **ЦЕНОЙ** деления уровня μ . Следовательно, при помощи уровня можно измерять небольшие углы наклона линий, связанных с его осью. Если пузырек отклоняется от нуль-пункта на n делений, то угол наклона оси уровня к горизонту $\nu = n\mu$.

В геодезических приборах используют цилиндрические уровни с ценой деления от $1''$ до $2'$. Цена деления зависит от радиуса внутренней поверхности ампулы уровня и служит мерой **ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ** уровня, т. е. способности его пузырька быстро и точно занимать наивысшее положение. Кроме того, чувствительность уровня зависит от качества шлифовки внутренней поверхности ампулы, свойств заполняющей жидкости, ее температуры и длины пузырька уровня (длинный пузырек обладает большей чувствительностью, чем короткий).

Нормальная длина пузырька уровня составляет 0,3-0,4 длины ампулы при температуре $+20^\circ$. Для сохранения длины пузырька при изменении температуры используют **компенсированные уровни** (рис. 85, б) либо **уровни с запасной камерой-камерные уровни** (рис. 85, в). Принцип устройства компенсированной ампулы основан на сокращении объема заполнителя путем помещения в ампулу стеклянной трубки 1 с запаянными концами. Запасная камера 2 камерного уровня отделяется от рабочей стеклянной перегородкой с отверстием внизу. Наклоня уровень, можно перемещать часть паров заполнителя из одной камеры в другую и тем самым регулировать длину пузырька. На некоторых приборах устанавливают **реверсивные (оборотные) уровни**, позволяющие наблюдать пузырек при опрокидывании уровня на 180° .

Для повышения точности установки пузырька в нуль-пункте используют **КОНТАКТНЫЕ уровни**. В таких уровнях изображение концов пузырька с помощью призменной системы передается в поле зрения трубы (рис. 85, г). Несовмещенное положение концов пузырька уровня соответствует наклонному положению оси цилиндрического уровня. При совмещенных изображениях концов пузырька ось уровня устанавливается горизонтально. Опыт показывает, что точность контактного уровня обычно в 3-4 раза выше точности цилиндрического уровня.

Круглый уровень. Круглый уровень (рис. 86) представляет собой цилиндрический резервуар 1 со стеклянной крышкой 8, внутренняя сторона которой является частью сферической

поверхности определенного радиуса. Резервуар заполнен серным эфиром или спиртом и заключен в металлическую оправу 2, прикрепляемую к прибору тремя винтами.

На наружной части стеклянной крышки выгравировано несколько окружностей с общим центром О, являющимся нуль-пунктом круглого уровня. Радиус внутренней сферической поверхности крышки, проходящей через нуль-пункт, называется осью круглого уровня. Если пузырек круглого уровня находится в нуль-пункте, т. е. расположен concentрично с окружностями, то его ось занимает отвесное положение.

Круглые уровни отличаются простотой конструкции и удобством в работе, но менее чувствительны, чем цилиндрические; обычно цена деления составляет 5' и более. Поэтому круглые уровни используются для предварительного приведения осей приборов в отвесное положение, а также в случаях, когда не требуется большой точности в установке приборов.

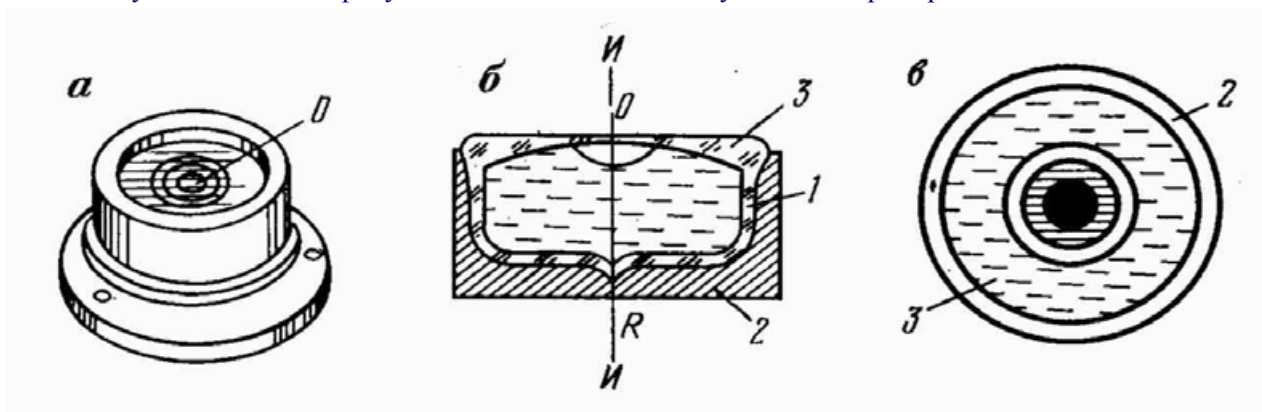


Рис. 86. Круглый уровень: а - общий вид; б - разрез; в - вид сверху

§ 55. ВЕРТИКАЛЬНЫЙ КРУГ ТЕОДОЛИТА

Вертикальный круг служит для измерения вертикальных углов наклона и зенитных расстояний. В инженерной практике измеряют преимущественно углы наклона.

Вертикальный круг теодолита состоит из лимба и алидады. Лимб вертикального круга жестко закреплен на оси вращения зрительной трубы и вращается вместе с ней; при этом нулевой диаметр лимба должен быть параллелен визирной оси трубы. Алидада вертикального круга при вращении трубы остается неподвижной.

На алидаде вертикального круга закреплен цилиндрический уровень, который предназначен для приведения линий нулей (отсчетных индексов) алидады при измерении углов наклона в горизонтальное положение. С этой целью перед взятием отсчетов по вертикальному кругу пузырек уровня должен быть приведен в нуль-пункт при помощи наводящего винта алидады.

Уровень укрепляется на алидаде таким образом, чтобы его ось U_2-U_2 была параллельна линии нулей (нулевому диаметру) алидады ОО (рис. 87 а). При соблюдении этого условия после установки на лимбе нулевого отсчета и приведения пузырька уровня в нуль-пункт визирная ось зрительной трубы будет горизонтальна.

В теодолите Т30 уровень при алидаде вертикального круга отсутствует; его функции выполняет цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга, пузырек которого устанавливается в нуль-пункте подъемными винтами теодолита. У некоторых оптических теодолитов (Т5К, Т15К) уровень при алидаде вертикального круга заменяет специальная оптическая система - компенсатор, который автоматически устанавливает указатель от-счетного микроскопа (индекс шкалы) в необходимое положение.

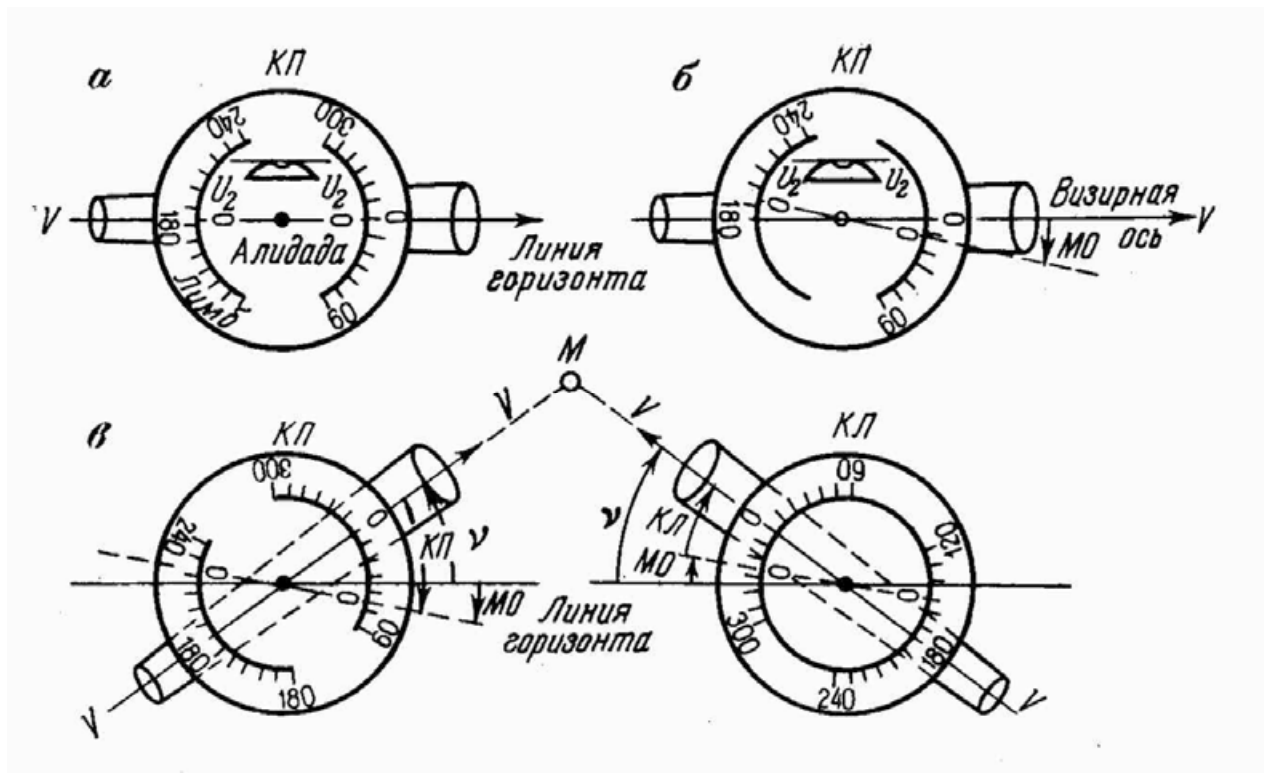


Рис. 87. Вертикальный круг

В современных теодолитах используются две основные системы оцифровки вертикальных кругов: 1) азимутальная (круговая), при которой деления круга подписаны от 0 до 360° по ходу часовой стрелки (теодолит Т5) либо против хода часовой стрелки (теодолит Т30); 2) секторная, при которой вертикальный круг разбит на четыре сектора, из которых два диаметрально противоположных сектора имеют положительную оцифровку, а два других - отрицательную (2Т30, Т15, 2Т5 и др.). Подобная система надписей более удобна, так как отсчеты градусов получаются одинаковыми по обеим сторонам вертикального угла, что упрощает вычисления углов наклона.

Угол наклона представляет собой угол между горизонтальной плоскостью и направлением визирной оси в данный момент. В случае совпадения нулевых диаметров лимба и алидады (отсчетного устройства) при горизонтальном положении визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня отсчет по вертикальному кругу должен равняться нулю. Тогда отсчет по вертикальному кругу при визировании на наблюдаемую цель дает значение угла наклона ν . Однако на практике при горизонтальном положении визирной оси трубы VV и оси цилиндрического уровня U_2U_2 отсчет по вертикальному кругу может оказаться равным не нулю, а некоторой величине, называемой **МЕСТОМ НУЛЯ** $МО$ (рис. 87, б). Как следует из рис. 87, б, величина $МО$ представляет собой угол, обусловленный не параллельностью нулевого диаметра алидады $ОО$ и оси цилиндрического уровня, т. е. линии горизонта. Следовательно, местом нуля $МО$ вертикального круга называется отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси трубы и оси цилиндрического уровня.

Если место нуля заранее неизвестно, то угол наклона ν и $МО$ можно определить по результатам двух отсчетов полученных при визировании на наблюдаемую цель при двух положениях зрительной трубы: «круге право» (КП) и «круге лево» (КЛ). При этом вид формул, по которым вычисляют значения ν и $МО$, зависит от системы оцифровки лимба вертикального круга.

1. При азимутальной оцифровке лимба вертикального круга по ходу часовой стрелки, т. е. для теодолита Т5 (рис. 54, б).

Как видно из рис. 54, в, при визировании на точку M при двух положениях трубы (КП и КЛ) угол наклона можно определить из отсчетов по вертикальному кругу и значения $МО$;

при «круге право» $\nu = КП - МО$;

при «круге лево» $\nu = 360^\circ - КЛ + МО$, (IX.4)

или, отбросив полную окружность (360°), получим

$\nu = МО - КЛ$ (IX.5)

Решая уравнения (IX.4) и (IX.5) относительно v и $МО$, имеем

$$v = \frac{КП - КЛ}{2}; \quad (IX.6)$$

$$МО = \frac{КП + КЛ}{2}. \quad (IX.7)$$

Следует иметь в виду, что формулы (IX.4)—(IX.6) справедливы в том случае, если отсчеты берутся по стороне лимба, ближайшей к окуляру. Если же при КП и КЛ отсчитывание производится по одной стороне лимба, то отсчеты при КЛ увеличиваются на 180° , тогда значения $МО$ и угла наклона v определяются по формулам

$$МО = \frac{КП + (КЛ + 180^\circ)}{2}; \quad (IX.8)$$

$$v = \frac{КП - (КЛ + 180^\circ)}{2}; \quad (IX.9)$$

$$v = МО - (КЛ + 180^\circ) = КП - МО \quad (IX.10)$$

Нетрудно убедиться, что для теодолитов с круговой оцифровкой вертикального круга против часовой стрелки (теодолит Т30) значения $МО$ и углов наклона могут быть рассчитаны по формулам

$$МО = \frac{КП + КЛ + 180^\circ}{2}; \quad (IX.11)$$

$$v = \frac{КЛ - (КП + 180^\circ)}{2}; \quad (IX.12)$$

$$v = КЛ - МО = МО - (КП + 180^\circ). \quad (IX.13)$$

При вычислениях по всем вышеприведенным формулам (IX.4) - (IX.13) следует руководствоваться следующим правилом: к величинам КП, КЛ и МО, меньшим 90° , необходимо прибавлять 360° .

2. При секторной оцифровке лимба вертикального круга от нуля в обе стороны — по ходу и против хода часовой стрелки, т. е. для теодолитов 2Т30, Т15, 2Т5 и др.

Для указанных теодолитов вычисление $МО$ и углов наклона можно выполнять по формулам (IX.11)—(IX.13), исключив из них значение 180° , т. е.

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2}; \quad (IX.14)$$

$$v = \frac{КЛ - КП}{2}; \quad (IX.15)$$

$$v = КЛ - МО = МО - КП. \quad (IX.16)$$

При этом добавлений 360° делать не нужно.

Таким образом, особенностью измерения углов наклона является необходимость определения места нуля вертикального круга. В принципе углы наклона могут быть вычислены по формулам (IX.6), (IX.9), (IX.12), (IX.15) без предварительного определения $МО$. Однако, на практике $МО$ вычисляют на каждой станции, так как его постоянство (в пределах допустимых отклонений) служит надежным контролем правильности измерения углов наклона при КП и КЛ.

§ 56. УСТРОЙСТВО ТЕОДОЛИТОВ

Из всех типов применяемых в настоящее время оптических теодолитов рассмотрим устройство технических теодолитов Т30 и Т15, точного теодолита Т5 и их модификаций.

Теодолит Т30 (рис. 88, а) является малогабаритным повторительным теодолитом закрытого типа. Он устанавливается на головку штатива вместе с круглым основанием 10 металлического упаковочного футляра и прикрепляется станковым винтом. К основанию наглухо прикреплена подставка 8 с тремя подъемными винтами 9. Лимб и алидада имеют закрепительные (на

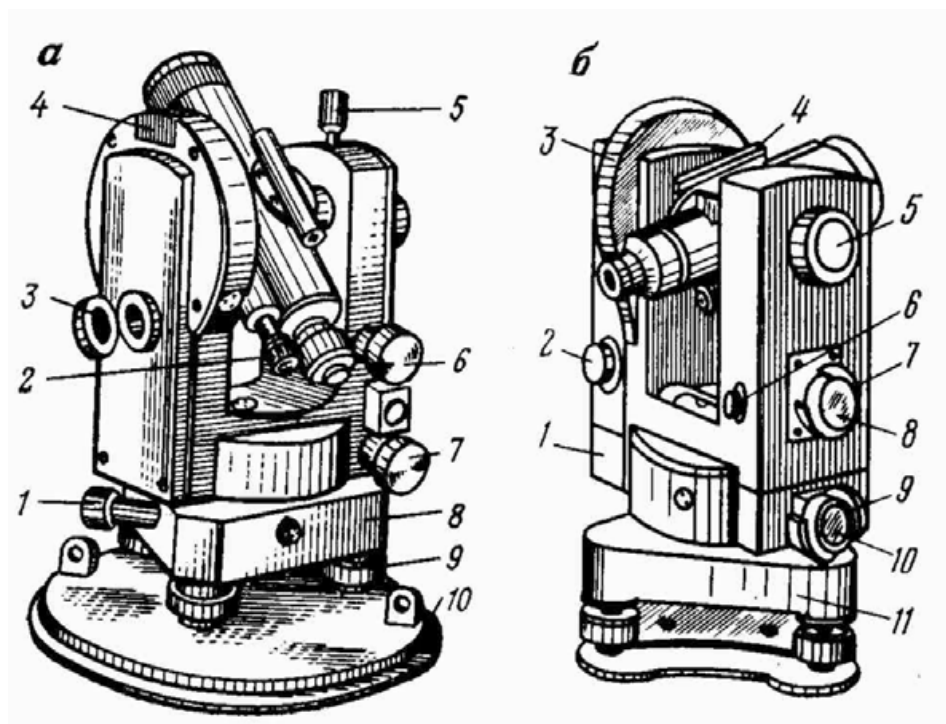


Рис. 88 Теодолиты: *а* – Т30; *б* – Т15

рис. не видны) и наводящие винты 1 и 7. Закрепительные винты лимба и алидады обеспечивают как совместное, так и раздельное вращение этих частей теодолита, что позволяет измерять углы способами приемов и повторений. Полая вертикальная ось теодолита дает возможность использовать зрительную трубу для центрирования прибора над точкой.

На корпусе алидады установлен цилиндрический уровень, с помощью которого ось вращения прибора приводится в отвесное положение подъемными винтами 9. Так как алидада вертикального круга не имеет уровня, то уровень горизонтального круга располагается параллельно коллимационной плоскости. Внутри колонки закреплены втулки, в которых вращается ось зрительной трубы. К корпусу трубы прикреплен вертикальный круг. Вертикальный круг снабжен закрепительным 5 и наводящим 6 винтами.

Зрительная труба с внутренним фокусированием имеет увеличение $20\times$ и оснащена просветленной оптикой. Фокусирование трубы осуществляется вращением кремальеры, установка сетки нитей по глазу наблюдателя - вращением диоптрийного кольца окуляра. Перемещение сетки нитей производится при помощи котировочных - винтов, закрываемых защитным колпачком. По обе стороны трубы имеются оптические визиры для грубого наведения зрительной трубы на наблюдаемые предметы.

Горизонтальный и вертикальный угломерные круги диаметром 70 мм - стеклянные. Круги разделены делениями от 0 до 360° через $10'$, каждое градусное деление оцифровано. С помощью специальной оптической системы изображение горизонтального и вертикального кругов передается в поле зрения отсчетного микроскопа-оценщика (см. рис. 80), окуляр которого расположен рядом с окуляром зрительной трубы. Отсчет и оценка долей наименьшего деления круга производится по неподвижному индексу. Угломерные круги освещаются при помощи откидного зеркала 3 (см. рис. 88, а).

Для наблюдения предметов, расположенных под углом более 45° к горизонту, а также для центрирования теодолита над точкой используются окулярные насадки, надеваемые на окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа 2. Теодолит снабжен съемной буссолью, устанавливаемой в посадочный паз 4 на боковой крышке вертикального круга.

В 1981 г. теодолит Т30 заменен новой моделью 2Т30, которая отличается от базовой применением шкалового микроскопа с $120'$ ной деления шкал горизонтального и вертикального кругов $5'$, что дает возможность отсчитывать по- лимбам с ценой деления 1° с точностью до $0,5'$ (см. рис. 87, е). Вертикальный круг имеет секторную оцифровку от 0 до 75° и от 0 до -75° .

Теодолиты Т30М и 2Т30М выпускаются в маркшейдерском исполнении. Конструкция вертикальной оси вращения прибора, наличие съемной подставки и реверсивного уровня

обеспечивают работу теодолита как в нормальном, так и в перевернутом положении, что имеет важное значение при съемках в подземных горных выработках. На кронштейнах визиров нанесены центры для центрирования теодолита по шнуру отвеса над точкой.

Сетка нитей зрительной трубы содержит дополнительную шкалу (см. рис. 83, в) с ценой деления $1'$ для измерения малых углов. Для увеличения пределов измерения вертикальных углов на объективную часть зрительной трубы надевается призматическая насадка. Точное наведение трубы на визирную цель в горизонтальной плоскости производится наводящим винтом алидады; наряду с этим имеется специальное повторительное устройство в виде защелки, состоящей из рычага с фиксатором.

Для подсвечивания отсчетной системы в шахтных условиях теодолит имеет электроосветитель, работающий на миниатюрных аккумуляторах.

Модификация ТЗ0МП снабжена компенсатором при вертикальном круге, заменяющим уровень и работающим в диапазоне $\pm 5'$, и зрительной трубой прямого изображения.

Теодолит Т15 (рис. 88, б) с повторительной системой вертикальной оси имеет ряд особенностей. Наводящий винт 10 алидады горизонтального круга соосен с соответствующим закрепительным винтом 9. На алидаде расположен цилиндрический уровень, котировочный винт 6 которого выведен на колонку 1. В полую ось алидады расположен объектив оптического центрира, а его окуляр закреплен в алидадной части теодолита.

Корпус зрительной трубы изготовлен совместно с горизонтальной осью, имеющей на концах цапфы, при помощи которых она устанавливается в эксцентриковых лагерах колонки. Зрительная труба с внутренним фокусированием имеет увеличение $25^{\times}$. Фокусирование трубы осуществляется вращением кремальеры 5. По обе стороны трубы расположены оптические визиры 4 для предварительного наведения на цель.

Вертикальный круг имеет закрепительный 7 и наводящий 8 винты, расположенные соосно. На алидаде вертикального круга закреплен цилиндрический уровень 3. Перед отсчитыванием по вертикальному кругу пузырек уровня приводят в нуль-пункт наводящим винтом 2. У Т15К роль уровня выполняет самоустанавливающаяся система оптического компенсатора. Диапазон действия компенсатора $\pm 4'$, точность компенсации - $5''$. Горизонтальный и вертикальный стеклянные угломерные круги разделены и оцифрованы через 1° . Оцифровка вертикального круга выполнена по секторам: от 0 до $+75^{\circ}$ и от 0 до -75° . Отсчеты производятся по одной стороне угломерных кругов. Изображение штрихов и цифр передается в поле зрения отсчетного шкалового микроскопа (см. рис. 81, б), окуляр которого расположен рядом с окуляром зрительной трубы.

Теодолит закрепляется в съемной подставке 11 (см. рис. 88, б). В комплект теодолита входят съемная ориентир-буссоль и окулярные насадки зрительной трубы и отсчетного микроскопа для удобства визирования при больших углах наклона. Прибор может быть снабжен электроосветителем отсчетного микроскопа, выполненным во взрывобезопасном исполнении.

В настоящее время на базе теодолита Т15 разработана конструкция кодового теодолита ТК15 с выдачей результатов измерений горизонтальных и вертикальных углов на цифровые табло.

Теодолит Т5 имеет значительное сходство с теодолитом Т15 и относится к теодолитам повторительного типа с односторонней системой отсчитывания по кругам при помощи шкалового микроскопа. Зрительная труба с увеличением $25^{\times}$ снабжена двумя оптическими визирами. Вертикальный круг имеет контактный уровень. Теодолит снабжен оптическим центриром, встроенным в алидадную часть. Закрепительный и наводящий винты алидады горизонтального круга и зрительной трубы выполнены соосно. Модификацией Т5 является теодолит Т5К с компенсатором при вертикальном круге, имеющим диапазон работы $\pm 3'$; зрительная труба с увеличением $27,5^{\times}$.

В 1977 г. Т5 и Т5К заменены приборами серии 2Т-2Т5, 2Т5К неповторительного типа. Эти теодолиты снабжены кругами-искателями с ценой деления 1° , служащими для предварительной установки отсчетов на горизонтальном круге и отыскания направлений. Вертикальные круги имеют секторную оцифровку. Теодолит 2Т5К имеет компенсатор вертикального круга с диапазоном работы $\pm 4'$.

Модификация теодолита 2Т5К со зрительной трубой прямого изображения выпускается под шифром 2Т5КП.

§ 57. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ ТЕОДОЛИТА

Перед началом измерений теодолит необходимо тщательно осмотреть и проверить, так как даже серийно выпускаемые приборы имеют свои индивидуальные особенности. В первую очередь производят проверку и регулировку его механических деталей, обращая внимание на состояние и

работу всех винтов прибора: подъемных, зажимных и наводящих винтов лимба и алидады, наводящего винта уровня вертикального круга, исправительных (юстировочных) винтов уровней, колонок, сетки нитей и т. п. Вращение лимба и алидады должно быть плавным, без заеданий и колебаний. Горизонтальный и вертикальный угломерные круги не должны иметь механических повреждений; изображения делений шкал и сетки нитей должны быть четкими. Зрительная труба должна быть уравновешенной и иметь свободное вращение.

Присутствие пыли и грязи на оптических деталях прибора не допускается. После внешнего осмотра теодолита выполняют его поверки и юстировки.

В соответствии с принципом измерения горизонтального угла конструкция теодолита должна удовлетворять следующим основным геометрическим условиям (см. рис. 79):

1. Ось цилиндрического уровня U_1U_1 должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита ZZ .
2. Визирная ось зрительной трубы VV должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси

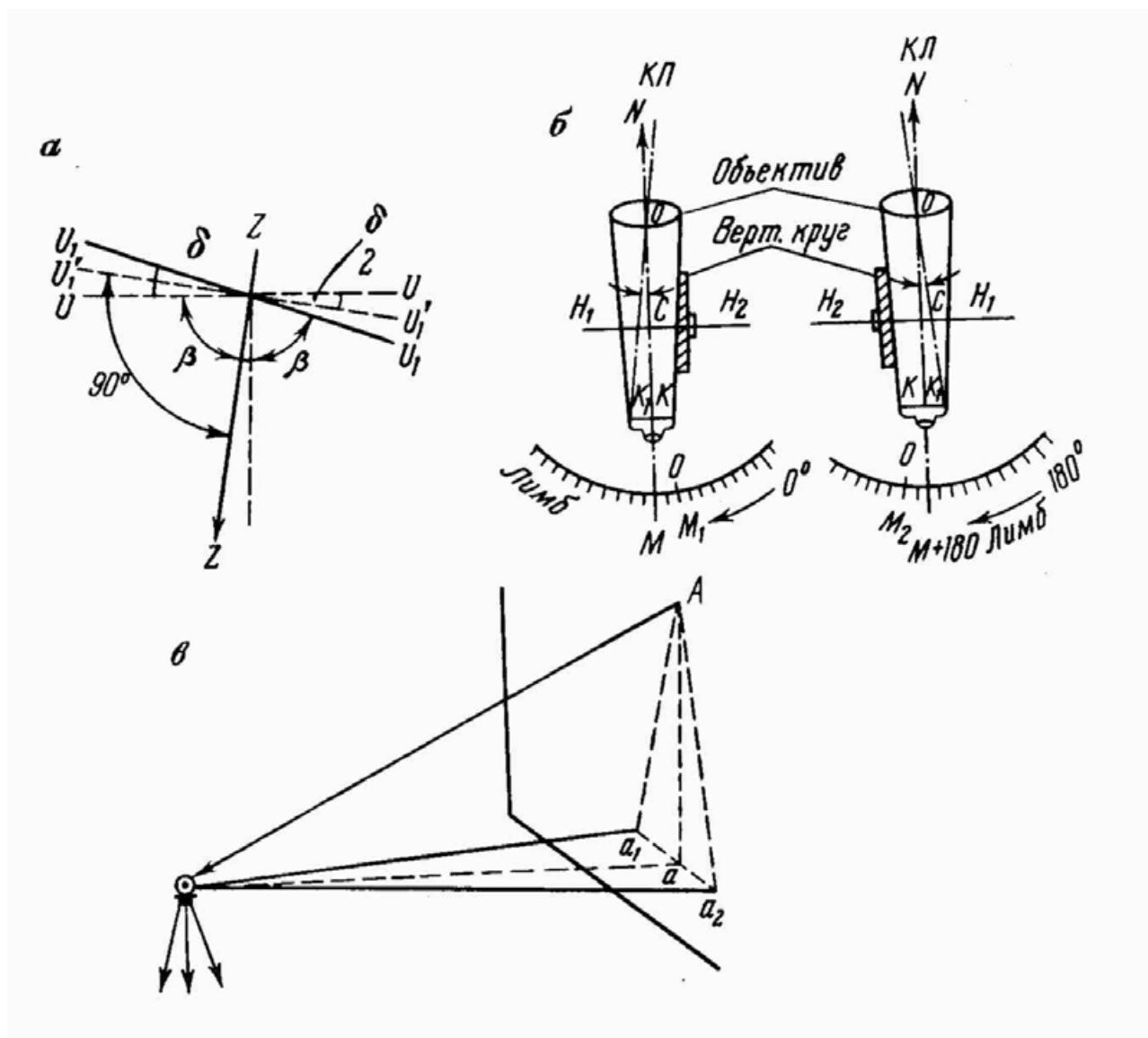


Рис. 89. Схемы поверок теодолита

теодолита (оси вращения трубы) NN .

3. Горизонтальная ось теодолита NN должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита ZZ .

Дополнительные геометрические условия вытекают из теории измерения вертикальных углов.

Действия, имеющие целью установить соблюдение предъявляемых к конструкции прибора геометрических условий, называются **поверками**. Для обеспечения выполнения нарушенных

условий производят юстировку (регулировку) прибора. Рассмотрим основные поверки и юстировки технических теодолитов.

1. Поверка цилиндрического уровня.

Ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита. Выполнение этого условия позволяет с помощью уровня устанавливать ось вращения теодолита в отвесное положение, а следовательно, плоскость лимба — в горизонтальное положение.

Пусть ось уровня перпендикулярна к оси вращения теодолита ZZ и составляет с ней угол β (рис. 89, а), тогда при приведенном на середину ампулы пузырьке уровня ось вращения прибора не будет отвесной. При повороте алидады горизонтального круга вместе с уровнем вокруг оси ZZ пузырек сойдет с середины на n делений и ось уровня займет новое положение U_1U_1 . Как видно из рис. 89 а, при этом ось уровня составит со своим горизонтальным положением UU некоторый угол $\delta = \mu n$, где (μ —цена деления уровня. Очевидно, что если привести ось уровня в положение биссектрисы $U_1' U_1'$ угла δ , то она окажется перпендикулярной к оси вращения теодолита, так как $2\beta + \delta = 180^\circ$, следовательно, $\beta + \delta/2 = 90^\circ$.

Из вышеизложенного вытекает способ поверки данного условия. Ось поверяемого уровня устанавливают по направлению двух подъемных винтов и вращением их в разные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Вращением алидады вокруг оси ZZ поворачивают уровень на 180° . Если после поворота пузырек уровня останется в нуль-пункте, то условие перпендикулярности осей UU и ZZ выполняется. При смещении пузырька производится исправление положения уровня. Для этого пузырек уровня перемещают по направлению к нуль-пункту на половину дуги отклонения с помощью исправительных винтов при уровне. После юстировки уровня следует повторить поверку и убедиться в выполнении требуемого условия. Практически условие считается выполненным, если после поворота на 180° пузырек уровня отклоняется от нуль-пункта в пределах одного деления шкалы ампулы.

Перед выполнением следующих поверок необходимо тщательно привести ось вращения теодолита в отвесное положение по исправленному цилиндрическому уровню; эта операция называется горизонтированием теодолита. Уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов и вращением их в разные стороны выводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают алидаду примерно на 90° и третьим подъемным винтом выводят пузырек на середину ампулы. Эти действия повторяют до тех пор, пока пузырек не будет оставаться на середине ампулы при любом положении алидады.

2. Поверка положения коллимационной плоскости.

Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси теодолита.

Как известно, визирная ось трубы проходит через оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей. Если указанное условие выполняется, то при вращении трубы вокруг горизонтальной оси визирная ось образует коллимационную плоскость. При несоблюдении условия визирная ось будет описывать не плоскость, а две конические поверхности. Угол ϵ между фактическим положением визирной оси OK_1 и требуемым положением OK (рис. 89, б) называется коллимационной погрешностью.

Для поверки данного условия на местности выбирают ясно видимый удаленный предмет N и, визируя на него при двух положениях вертикального • круга (КП и КЛ), берут отсчеты по лимбу M_1 и M_2 . Как- видно из рис. 89, б, при КП отсчет по лимбу M_1 будет меньше правильного отсчета M на величину x , а при КЛ отсчет M_2 будет больше правильного отсчета $M + 180^\circ$ на ту же величину x , т. е.

при КП

$$M = M_1 + x;$$

при КЛ

$$M + 180^\circ = M_2 - x.$$

Решая полученные уравнения относительно x и M , получим

$$x = \frac{M_2 - (M_1 + 180^0)}{2}; \quad (\text{IX.17})$$

$$M = \frac{M_1 + M_2 - 180^0}{2}. \quad (\text{IX.18})$$

Следует учесть, что величина x является проекцией угла на горизонтальную плоскость лимба и меняется в зависимости от угла наклона визирной оси; для угла наклона, равного 0° , $x=c$ при обоих положениях трубы. Поэтому при выполнении поверки линия визирования должна быть по возможности горизонтальной.

Как следует из выражения (IX.17), среднее из отсчетов по лимбу, взятых при двух положениях вертикального круга, свободно от влияния коллимационной погрешности. Поэтому измерение горизонтальных углов следует производить при двух положениях трубы (КП и КЛ).

Если величина коллимационной погрешности превышает точность отсчетного устройства, то производят исправление положения визирной оси. Для этого по формуле (IX.18) вычисляют правильный отсчет M и наводящим винтом алидады устанавливают его на лимбе горизонтального круга. При этом алидада повернется на угол $x=c$, а перекрестие сетки нитей отклонится от изображения наблюдаемой точки N . Тогда, ослабив вертикальные винты оправы сетки нитей, с помощью боковых котировочных винтов перемещают сетку до совмещения ее перекрестия с визирной целью. После этого сетку закрепляют вертикальными винтами и вновь повторяют поверку.

3. Поверка положения горизонтальной оси теодолита.

Горизонтальная ось теодолита должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.

Выполнение условия необходимо для того, чтобы после горизонтирования теодолита коллимационная плоскость занимала отвесное положение. Поверка может быть выполнена двумя способами.

На расстоянии 10—20 м от стены здания устанавливают теодолит и визируют на высоко расположенную точку A на стене здания (рис. 89, б). Наклоняя трубу, проектируют эту точку до горизонтального положения визирной оси и отмечают на стене проекцию точки a_1 . Повторив ту же операцию при втором положении трубы, отмечают точку a_2 . Если точки a_1 и a_2 не совпадут, то не выполнено условие, т. е. необходимо изменить положение горизонтальной оси теодолита относительно вертикальной.

На расстоянии 10—20 м от теодолита подвешивают отвес на длинной нити. Наводят перекрестие сетки нитей на верхнюю точку отвеса и плавно опускают зрительную трубу до горизонтального ее положения; при этом наблюдают, не сходит ли изображение нити отвеса с перекрестия сетки нитей.

В современных теодолитах соблюдение этого условия гарантируется предприятием-изготовителем. Тем не менее поверка условия должна быть обязательно выполнена.

В случае несоблюдения условия исправление положения горизонтальной оси теодолита в полевых условиях не производится; его выполнение допускается только в специальной мастерской или в заводских условиях, так как требует частичной разборки прибора.

Следует учесть, что среднее из отсчетов по лимбу, взятых при наведении на точку при двух положениях трубы (КП и КЛ), свободно от влияния наклона оси вращения трубы.

4. Поверка сетки нитей.

Вертикальный штрих сетки нитей должен располагаться в коллимационной плоскости трубы. Иначе, горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярным к оси вращения теодолита.

Выполнение данного условия требуется для создания удобств при визировании на отвесные предметы (например, вехи). Для этого, тщательно установив ось вращения теодолита в отвесное положение, визируют на нить отвеса, подвешенного на расстоянии 5 - 10 м от прибора. Если вертикальный штрих сетки не совпадает с изображением нити отвеса, то необходимо исправить положение сетки нитей путем ее поворота. Для этого слегка ослабляют винты, скрепляющие окулярную часть с корпусом трубы, и поворачивают окулярную часть вместе с сеткой нитей до

требуемого положения; затем винты закрепляют. Отклонение вертикального штриха от отвесной линии допускается не более чем на $\frac{1}{3}$ величины биссектора сетки нитей.

После юстировки второй основной штрих сетки должен быть горизонтальным, так как взаимная перпендикулярность штрихов гарантируется заводом-изготовителем. Чтобы убедиться в этом, наводят горизонтальный штрих на какую-либо точку и наводящим винтом поворачивают алидаду горизонтального круга; при этом поверяемый штрих должен оставаться на изображении точки. При невыполнении условия юстировку повторяют.

5. Поверка места нуля.

Место нуля МО вертикального круга - должно быть равно 0° либо близким к 0° .

Для проверки данного условия до начала работ несколько раз определяют МО из измерений различных углов наклона при двух положениях зрительной трубы, чтобы убедиться в его практическом постоянстве. Если среднее значение МО не превышает двойной точности отсчетного устройства (M_0^2), то оно не осложняет вычислений. В противном случае МО необходимо привести к нулю либо сделать близким к 0° .

В зависимости от конструкции теодолита выполнение данной проверки имеет свои особенности:

- У теодолитов с цилиндрическим уровнем при алидаде вертикального круга (Т5, Т15 и др.), действуя наводящим винтом зрительной трубы, устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный вычисленному значению МО; при этом пузырек уровня при алидаде вертикального круга должен находиться в нуль-пункте. В результате визирная ось трубы будет приведена в горизонтальное положение.

Далее наводящим винтом алидады совмещают нулевые штрихи отсчетного устройства и вертикального круга; при этом пузырек уровня отклонится от нуль-пункта. Тогда с помощью исправительного винта уровня снова приводят пузырек уровня в нуль-пункт. После этого для контроля вновь определяют МО из измерений вертикального угла при КП и КЛ и в случае необходимости повторяют юстировку.

- У теодолитов с уровнем при горизонтальном круге (Т30, 2Т30) по отсчетам КЛ и КП, полученным при визировании на один и тот же предмет, по формуле (IX.11) или (IX.14) вычисляют свободное от места нуля значение угла наклона v и наводящим винтом трубы устанавливают его на вертикальном круге. При этом горизонтальный штрих сетки сместится с визирной цели. Тогда, действуя вертикальными юстировочными винтами сетки нитей, совмещают средний горизонтальный штрих сетки с изображением наблюдаемой цели. После этого повторяют данную проверку и проверку коллимационной погрешности.
- У теодолитов с компенсатором вертикального круга (Т5К, 2Т5К, Т30МП и др.) равенство $M_0=0$ обеспечивается автоматически с помощью специального оптического компенсатора вертикального круга, действующего в диапазоне $\pm 3,0—5,0'$. При больших значениях МО указанная проверка должна выполняться при установке компенсатора в среднее положение. Уменьшение величины МО вертикального круга теодолитов Т5К и Т30МП может быть достигнуто, как и в предыдущем случае, перемещением основного горизонтального штриха сетки вертикальными юстировочными винтами. В теодолитах 2Т5К и Т15К место нуля исправляют вращением специального юстировочного винта компенсатора.

§ 58. УСТАНОВКА ТЕОДОЛИТА В РАБОЧЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Перед началом измерений теодолит устанавливается над точкой в рабочее положение. Полная установка прибора в рабочее положение складывается из его центрирования над точкой, горизонтирования и установки зрительной трубы для наблюдений.

Центрированием называются действия, в результате которых центр лимба горизонтального круга совмещается с отвесной линией, проходящей через точку стояния прибора. Центрирование может быть выполнено с помощью нитяного отвеса либо оптического центрира.

При центрировании теодолита с помощью нитяного отвеса штатив устанавливается так, чтобы отвес оказался приблизительно над точкой, а головка штатива была примерно горизонтальна. Затем, ослабив становой винт, теодолит перемещают по головке штатива до положения, когда острие отвеса будет находиться над центром точки; после этого становой винт закрепляют. При центрировании с помощью оптического центрира теодолит перемещают по головке штатива до тех

пор, пока в поле зрения центрира центр точки (например, шляпки гвоздя в торце колышка) не совпадет с центром сетки нитей.

Горизонтирование теодолита заключается в приведении оси его вращения в отвесное положение, а следовательно, плоскости лимба—в горизонтальное положение. Предварительное Горизонтирование прибора грубо достигается при установке штатива, а точное приведение выполняется подъемными винтами с использованием предварительно поверенного цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга.

Установка зрительной трубы для наблюдений включает в себя установку трубы и отсчетного микроскопа по глазу наблюдателя и по предмету, т. е. фокусирование трубы по наблюдаемой цели.

§ 59. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

Измерение углов следует выполнять поверенным теодолитом. Перед началом измерений теодолит устанавливают в вершине измеряемого угла в рабочее положение. На задней и передней точках A и B (направления BA и BC называют также соответственно младшим и старшим направлениями) в створе линий отвесно устанавливаются вехи, на нижнюю часть которых осуществляют визирование (рис. 90, а).

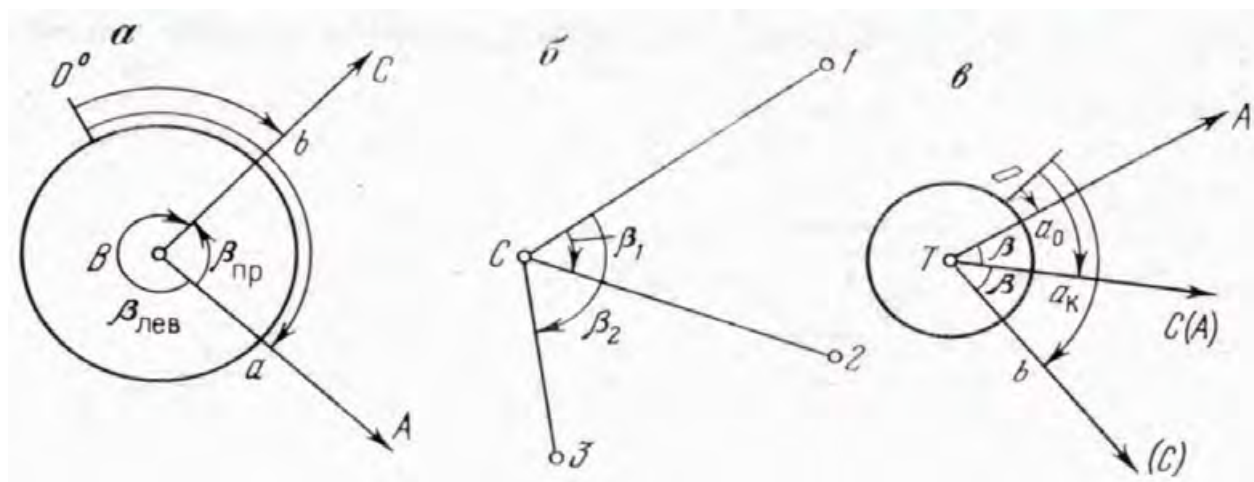


Рис. 90. Способы измерения горизонтальных углов

В зависимости от конструкции приборов, условий измерений и предъявляемых к ним требований применяются следующие способы измерения горизонтальных углов:

1. **Способ приемов** (способ отдельного угла) - для измерения отдельных углов при проложении теодолитных ходов, выносе проектов в натуру и т. д.
2. **Способ круговых приемов**—для измерения углов из одной точки между тремя направлениями и более в сетях триангуляции и полигонометрии 2 и более низких классов (разрядов).
3. **Способ повторений** — для измерения углов, когда необходимо повысить точность окончательного результата измерения путем ослабления влияния погрешности отсчитывания; используется при работе с техническими повторительными теодолитами.

В последние годы в связи с широким распространением в геодезическо-маркшейдерской практике оптических теодолитов с высокой точностью отсчитывания по угломерным кругам способ повторений в значительной мере утратил свое значение.

В геодезии измеряют правые или левые по ходу горизонтальные углы способом приемов, а в маркшейдерском деле - обычно левые по ходу углы способом приемов или повторений. При этом программа измерения должна предусматривать возможно полное исключение влияния основных погрешностей теодолита на точность измерения угла.

Способ приемов. При неподвижном лимбе вращения алидады визируют на заднюю точку A (см. рис. 90, а). Вначале по оптическому визирю зрительную трубу наводят от руки, пока визирная цель не попадет в поле зрения. Затем закрепляют зажимные винты алидады и зрительной трубы и, отфокусировав зрительную трубу по предмету, выполняют точное визирование с помощью наводящих винтов трубы и алидады горизонтального круга. Осветив зеркалом поле зрения отсчетного микроскопа, берут отсчет a по горизонтальному кругу и записывают его в журнал измерений (табл. 1). Порядок записи отсчетов в журнале и обработки результатов измерений показан номерами в круглых скобках.

Таблица 1. Журнал измерения горизонтальных углов способом приемов

Дата 28.08.86 г.		Теодолит 2Т30		Наблюдатель Шпаков П.С.	
Видимость хорошая		№25361		Вычислил Рыбалкин Ю.Д.	
Точки		Положение вертикального круга	Отчеты по горизонтальному кругу	Угол	Средний угол
1	2	3	4	5	6

В	А С	КЛ	22 ⁰ 17,5'(1) 247 15,5 (2)	135 ⁰ 02,0'(3)	135 ⁰ 01,8'(7)
В	А С	КП	202 17,7 (4) 67 15,5 (5)	135 01,5 (6)	

Открыв алидаду, визируют на переднюю точку С и по аналогии с предыдущим берут отсчет b . Тогда значение правого по ходу угла β , измеренного при I положении вертикального круга (например, при КЛ), определится как разность отсчетов на заднюю и переднюю точки:

$$\beta_{\text{КЛ}} = a - b. \quad (\text{IX.19})$$

Указанные действия составляют один полуприем.

Переводят трубу через зенит и повторяют измерения при II положении вертикального круга (при КП), т. е. выполняют второй полуприем. Вычисляют значение угла $\beta_{\text{КП}}$. В случае, если отсчет на заднюю точку меньше отсчета на переднюю точку (см. табл. 1, 1-й полуприем), то при вычислении угла к нему прибавляют 360°.

Два полуприема составляют полный прием. Расхождение результатов измерений по первому и второму полуприемам не должно превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита, т. е.

$$\beta_{\text{КЛ}} - \beta_{\text{КП}} \leq 2t.$$

Если расхождение допустимо, то за окончательный результат принимают среднее значение угла

$$\beta = \frac{\beta_{\text{КЛ}} + \beta_{\text{КП}}}{2}. \quad (\text{IX.20})$$

Такой результат будет свободен от влияния коллимационной погрешности и погрешности за счет наклона оси вращения трубы.

Измерение и вычисление левого по ходу горизонтального угла (см. рис. 90, а) производится в аналогичной (см. табл. 1) последовательности с той лишь разницей, что левый по ходу угол в каждом полуприеме рассчитывается как разность отсчетов на переднюю и заднюю точки.

Значения измеренных углов по каждому полуприему и среднее значение угла вычисляют на станции, пока не снят теодолит.

Способ круговых приемов. Устанавливают теодолит над точкой С (рис. 90, б) и, вращая алидаду по ходу часовой стрелки, последовательно визируют на наблюдаемые точки 1, 2, 3 и повторно на точку 1. При наведении на каждую точку берут отсчеты по лимбу. Такое измерение составляет I полуприем. Повторное наведение на начальную точку 1 (замыкание горизонта) выполняется, чтобы убедиться в неподвижности лимба. Величина замыкания горизонта не должна превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита. Затем трубу переводят через зенит и при прежнем положении лимба, вращая алидаду против хода часовой стрелки, визируют на точки 1, 3, 2, 1' и берут отсчеты по лимбу, т. е. выполняют II полуприем. Два полуприема составляют полный круговой прием.

Для ослабления влияния погрешностей делений лимба и повышения точности измерений углы измеряют несколькими приемами с перестановкой лимба между приемами на $\frac{180}{m}$, где m — число приемов.

Способ повторений. Сущность способа заключается в последовательном откладывании на лимбе несколько раз величины измеряемого угла β (рис. 90, в).

Теодолит в точке Т приводят в рабочее положение и устанавливают на лимбе отсчет, близкий к 0°. Открывают зажимной винт лимба и вращением лимба визируют на заднюю точку А, по горизонтальному кругу берут начальный отсчет a_0 . Затем при открепленной алидаде визируют на переднюю точку С и берут контрольный отсчет a_k .

Переводят трубу через зенит, открепляют лимб и повторно визируют на заднюю точку А при II положении вертикального круга; отсчет не берут, так как он будет равным a_k . Открыв алидаду, снова визируют на переднюю точку С и берут окончательный отсчет b . Этим заканчивается измерение угла одним полным повторением. Тогда величина горизонтального угла будет равна

$$\beta = \frac{b - a_0}{2}. \quad (\text{IX.21})$$

Найденное значение угла сравнивают с контрольным, определяемым по формуле

$$\beta_k = a_k - a_0. \quad (\text{IX.22})$$

Расхождение между окончательным и контрольным значениями угла не должно превышать полуторной точности отсчетного устройства теодолита, т. е.

$$\beta - \beta_k \leq 1,5t.$$

Для повышения точности угол может быть измерен несколькими повторениями. При измерении угла n повторениями нуль отсчетного устройства может перейти через нуль лимба K раз. Так как каждый такой переход делает необходимым прибавление к заключительному отсчету 360° , то конечное значение горизонтального угла определится из выражения

$$\beta = \frac{b + K \cdot 360^\circ - a_0}{2n}, \quad (\text{IX.23})$$

где n — число повторений.

Величина K находится с использованием контрольного угла β_k по формуле

$$K = \frac{\beta_k \cdot 2n + a_0 - b}{360^\circ}. \quad (\text{IX.24})$$

Изложенный способ измерения горизонтальных углов находит применение в шахтных условиях.

§ 60. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

Измерения углов неизбежно сопровождаются погрешностями систематического и случайного характера. Систематические погрешности можно исключить применением соответствующей методики наблюдений либо введением в результаты наблюдений соответствующих поправок. Действие случайных погрешностей может быть ослаблено применением более совершенных приборов и методов измерений.

Точность измерения горизонтального угла зависит в основном от приборных погрешностей теодолита, погрешности способа измерения угла, точности центрирования теодолита и визирных целей над точками и погрешностей за счет непостоянства внешней среды.

При работе с отъюстированным теодолитом полное или частичное исключение приборных погрешностей предусматривается самой программой измерений, например, измерением угла при двух положениях зрительной трубы, при КЛ и КП.

Погрешность способа измерения угла зависит от точности визирования и отсчитывания и может быть рассчитана по формулам:

при способе приемов

$$m_\beta = \sqrt{\frac{m_o^2}{n} + \frac{m_v^2}{n}}; \quad (\text{IX.25})$$

при способе повторений

$$m_\beta = \sqrt{\frac{m_o^2}{2n^2} + \frac{m_v^2}{n}}, \quad (\text{IX.26})$$

где m_β — средняя квадратическая погрешность измерения угла;

n — число приемов или повторений;

m_o — погрешность отсчета по лимбу, равная $m_o = t/2$;

t — точность отсчетного устройства теодолита;

m_v — погрешность визирования, принимаемая равной $m_v = 60''/\Gamma$;

Γ — увеличение зрительной трубы.

Например, при $n=2$, $t=30''$ и $\Gamma=20$ получаем $m_o=15''$, $m_v=3''$, $m_\beta=10,9''$ и $m_\beta'=5,6''$.

Как видно из рассмотренного примера, погрешность угла значительно уменьшается при его измерении способом повторений. Это объясняется меньшим влиянием погрешности отсчитывания на точность измеряемого угла.

Влияние неточной установки теодолита и вех над точками на погрешность измерения угла обратно пропорционально длинам сторон. Чем короче стороны измеряемого угла и чем ближе угол к 180° , тем точнее должно выполняться центрирование теодолита. Так, при длинах сторон более 100 м допускается центрирование прибора с точностью до 5 мм. При коротких сторонах, с которыми обычно имеют дело в шахтных условиях, погрешность центрирования не должна превышать 1—2 мм.

Влияние погрешностей за счет непостоянства внешней среды может быть снижено путем измерения горизонтальных углов в лучшие часы видимости, когда горизонтальные колебания изображений наблюдаемых целей (боковая рефракция) минимальны. Лучшим временем для производства точных и высокоточных измерений горизонтальных углов являются утренние (до 10 ч) и вечерние (с 15—16 ч) часы. Наблюдения следует начинать спустя час после восхода солнца и заканчивать за час до его захода.

§ 61. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

В геодезии углы наклона линий в зависимости от их расположения относительно линии горизонта могут быть положительными (углы возвышения) и отрицательными (углы понижения).

При измерении углов наклона перекрестие сетки нитей наводят на визирные знаки; в качестве последних обычно используют вехи (рейки), на которых отмечается точка визирования.

Теодолит устанавливают, например, над точкой *A* в рабочее положение и горизонтальным штрихом сетки визируют на наблюдаемую точку *C* при I положении вертикального круга (обычно при КЛ). С помощью отсчетного микроскопа берут отсчет по вертикальному кругу, который заносят в журнал измерений.

Перед отсчетом пузырек уровня при алидаде вертикального круга с помощью наводящего винта алидады выводят на середину ампулы. При работе с теодолитом ТЗ0 перед отсчитыванием по вертикальному кругу пузырек уровня при алидаде горизонтального круга приводится в нуль-пункт с помощью подъемных винтов. В теодолитах с оптическими компенсаторами вертикального круга отсчет берут спустя 2 с после наведения зрительной трубы на наблюдаемую точку.

Для исключения влияния МО вертикального круга измерения повторяют при втором положении зрительной трубы (при КП). Значение угла наклона линии визирования рассчитывают в зависимости от типа применяемого теодолита по одной из формул (IX.6), (IX.9), (IX.12), (IX.14). Правильность измерения вертикальных m_β углов на станции контролируется постоянством МО, колебания которого в процессе измерений не должны превышать двойной точности отсчетного устройства.

Модуль IV

Глава 10. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 62. СПОСОБЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ЛИНИЙ

Целью линейных измерений является определение горизонтальных расстояний (проложений) между точками местности. Длины линий местности в геодезии измеряются непосредственным либо косвенным способами; каждому из этих способов присущи свои приборы и методы измерений.

Непосредственный способ основан на непосредственном измерении линий местности механическими линейными приборами, к которым относятся мерные ленты, рулетки и проволоки. Процесс измерения длин линий непосредственным способом состоит в последовательном откладывании мерного прибора в створе линии.

При косвенном способе длина линии определяется как функция установленных геометрических или физических соотношений. Геометрические соотношения используют для аналитических вычислений искомых расстояний по измеренным базисам и углам, а также в оптических дальномерах. Физические соотношения для измерения расстояний положены в основу конструкции электрофизических приборов — светодальномеров и радиодальномеров.

В зависимости от назначения и вида геодезических работ, требований к их точности, а также условий измерений могут применяться те или иные способы или приборы для измерения длин линий.

§ 63. МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ЛИНИЙ

Мерные ленты. При геодезических работах измеряют линии мерными лентами длиной 20 и 24, реже 50 и 100 м. Мерные ленты изготавливаются из стали или инвара (сплава 64 % стали и 36 /о никеля, обладающего малым температурным коэффициентом линейного расширения). По конструкции различают **штриховые** и **шкаловые** ленты.

При инженерных геодезических работах обычно применяют штриховые стальные мерные ленты типа ЛЗ (лента землемерная).

Штриховая лента (рис. 91, а) представляет собой стальную полосу длиной 20 и 24 м, шириной 15—20 мм и толщиной 0,3—0,4 мм. За длину ленты принимается расстояние между штрихами, нанесенными против середины закруглений специальных вырезов, в которые вставляются металлические заостренные шпильки для фиксации концов ленты на" земной поверхности в процессе измерений.

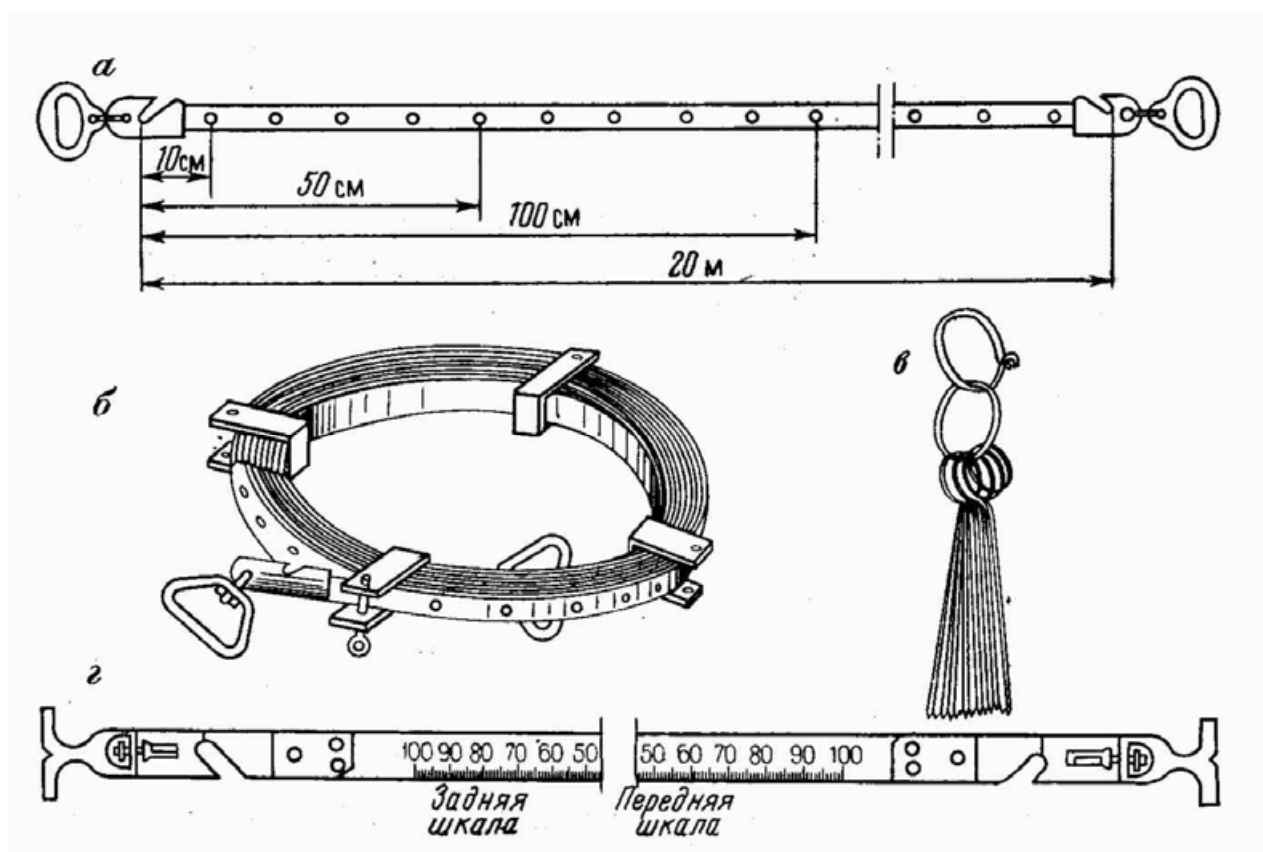


Рис. 91. Мерные ленты

20-метровая штриховая лента разделена на метры, полуметры и дециметры. Метровые деления отмечены с обеих сторон полотна овальными пластинками (латунными или алюминиевыми), на которых выдавлены порядковые номера метров; для удобства пользования на разных сторонах полотна ленты надписи метров возрастают в противоположных направлениях. Дециметровые деления обозначены отверстиями в полотне ленты, а полуметры — круглыми заклепками с шайбами. Отрезки линий менее дециметра оцениваются по ленте на глаз с точностью до 1 см. В нерабочем положении лента наматывается на специальную металлическую кольцевую оправу и закрепляется винтом (рис. 91, б). К ленте прилагается комплект из 6 или 11 шпилек на проволочном кольце (рис. 91, в).

24-метровые штриховые ленты по виду, оцифровке и числу делений не отличаются от 20-метровых; длина условного метра для них составляет 120 см. Поэтому для получения фактического расстояния результат измерений 24-метровой лентой следует умножить на коэффициент 1,2. Такие ленты предназначены для контрольных измерений расстояний, выполненных обычной 20-метровой лентой. В зависимости от условий местности штриховые ленты обеспечивают точность измерений длин линий от 1 : 1000 до 1 : 3000.

Для линейных измерений с повышенной точностью используются шкаловые ленты типа ЛЗШ (рис. 91, г), изготавливаемые из стали или инвара.

Шкаловая лента представляет собой сплошную полосу, на концах которой имеются шкалы длиной по 10 см с миллиметровыми делениями (см. рис. 91, г). Разбивка на метровые и дециметровые отрезки на ленте отсутствует. За длину ленты принимается расстояние между нулевыми делениями шкал.

Измеряемая линия предварительно разбивается на пролеты, длина которых примерно равна номинальной длине ленты (24 или 48 м). Длины пролетов фиксируются штрихами, которые прочерчиваются на подкладываемых под концы ленты башмаках, а также иглами либо лезвиями специальных ножей. Натяжение ленты производится с помощью динамометра. Отсчеты по шкалам берутся с точностью до 0,2 мм.

Измерение длин шкаловыми лентами может производиться как по поверхности земли, так и в подвешенном состоянии на специальных штативах с блоками. Точность измерения длин шкаловыми лентами при благоприятных условиях достигает 1 : 7000, а инварными — 1 : 100 000.

Рулетки. Рулетки предназначены для измерения коротких линий при маркшейдерских, топографо-геодезических и строительных работах. Рулетки бывают стальные длиной 10, 20, 30, 50 м и более и тесьмяные длиной 5, 10 и 20 м.

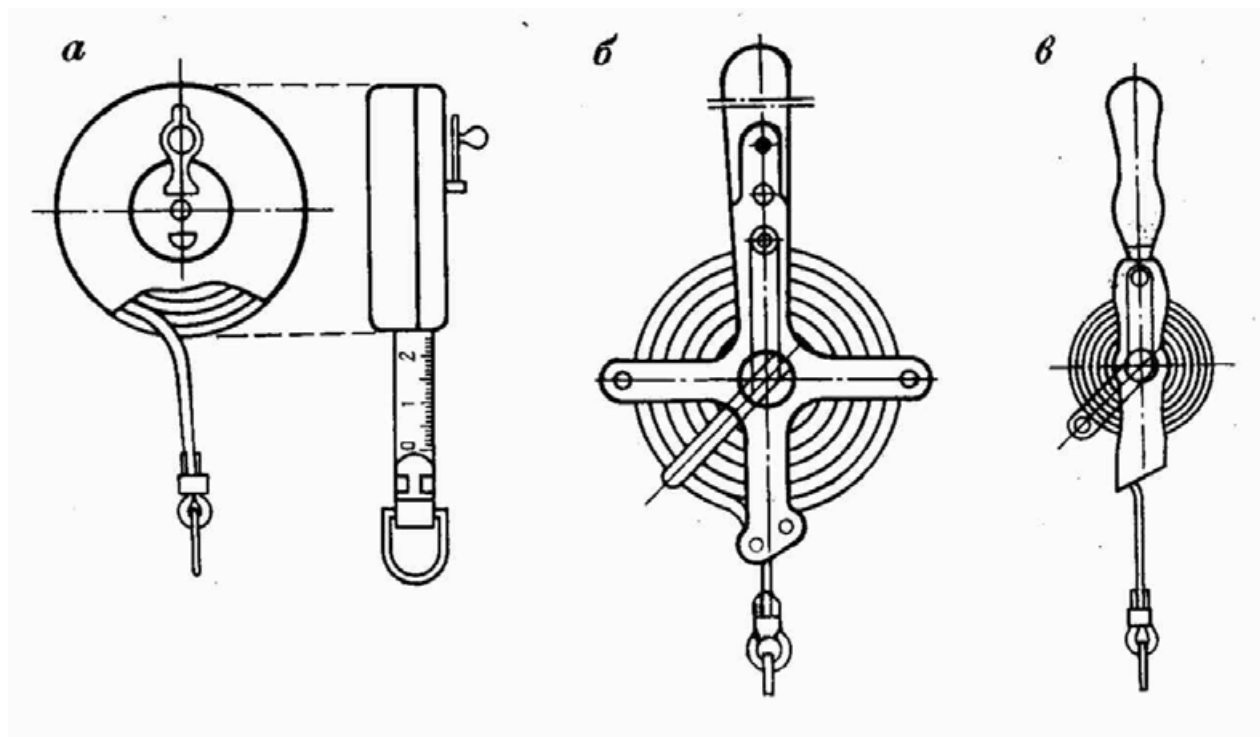


Рис. 92. Рулетки

В инженерно-геодезических работах используются металлические рулетки в **закрытом корпусе** типа РЗ (рис. 92, а), на **крестовине** типа РК (рис. 92, б), на **вилке** типа РВ (рис. 92, в) и др.; в маркшейдерской практике чаще применяются **горные** рулетки на вилке или крестовине типов РГ-20, РГ-30 и РГ-50, изготавливаемые из нержавеющей стали, обладающие высокими механическими свойствами и большой коррозионной стойкостью.

Металлические рулетки представляют собой полосу из стали (реже—инвара), на которой нанесены сантиметровые или миллиметровые деления. По точности нанесения шкал рулетки делятся на 1-й, 2-й и 3-й классы. Точность измерения длин линий стальной рулеткой достигает 1: 50 000 и выше.

Для грубых измерений, когда можно пренебрегать погрешностями в несколько сантиметров (например, при съемке ситуации), используются тесьмяные рулетки в пластмассовых или металлических футлярах. Тесьмяная рулетка выполнена в виде полотняной полосы с проволоочной стабилизирующей основой, окрашенной масляной краской, на которой отпечатаны сантиметровые деления и подписи дециметров и метров. Точность ее невелика, так как тесьма со временем вытягивается; кроме того, прочность этих рулеток значительно меньше, чем стальных. В маркшейдерском деле тесьмяные рулетки применяются при замерах горных выработок.

Мерные проволоки. При точных и высокоточных линейных измерениях применяют стальные и инварные проволоки длиной 24 и 48 м, диаметр проволоки— 1,65 мм. На обоих концах проволоки расположены шкалы длиной 8 см с миллиметровыми делениями (рис. 93, а).

Измерение длин линий мерными проволоками производится по кольям или по целикам, устанавливаемым на штативах в створе линий. При измерениях проволока подвешивается на блочных станках под натяжением 10-килограммовых гирь (рис. 93, б). Пролеты между целиками или кольями измеряют несколько раз. Отсчеты по обоим шкалам проволоки производят одновременно с точностью до 0,1 мм.

Инварные проволоки входят в комплект базисных приборов БП-1, БП-2 и БП-3, которые используются для измерения базисов в сетях триангуляции и длин сторон в полигонометрии, а также при точных инженерно-геодезических работах. В зависимости от числа проволок в комплекте, условий и методики измерений точность линейных измерений стальными проволоками колеблется от 1:10000 до 1:25000, а инварными проволоками— от 1:30000 до 1:1000000.

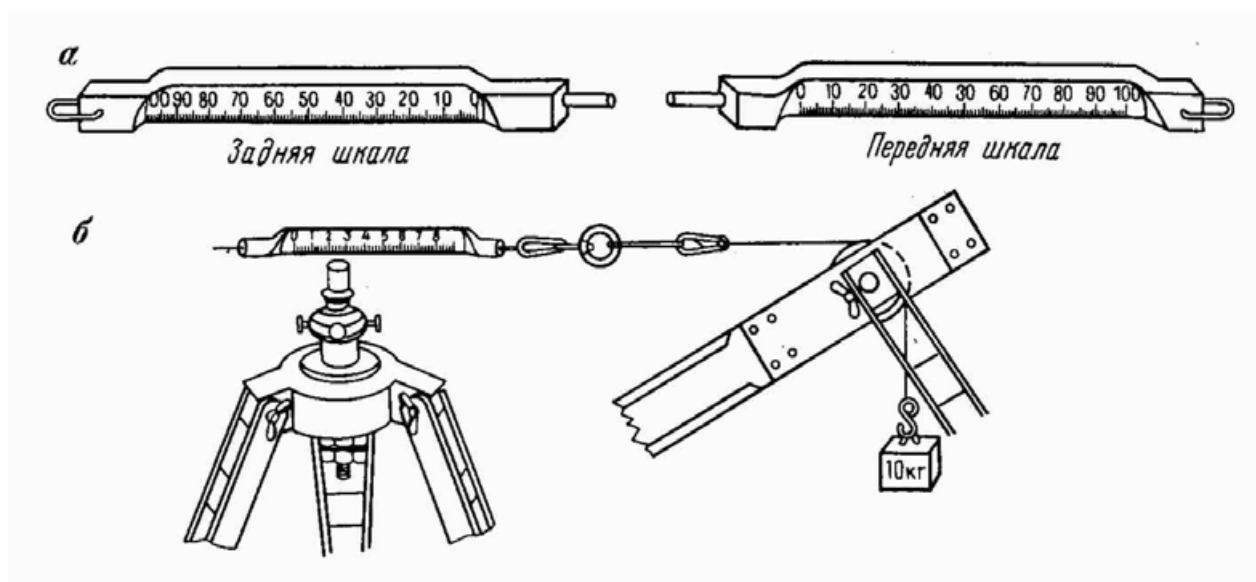


Рис. 93. Инварная мерная проволока

§ 64. КОМПАРИРОВАНИЕ МЕРНЫХ ПРИБОРОВ

Фактическая длина мерного прибора обычно отличается от эталона.. Поэтому перед измерениями должна быть определена фактическая длина применяемого мерного прибора путем ее сравнения с эталоном, имеющим установленную точность. Практически в качестве образцовой меры (эталона) может быть использован мерный прибор, точность измерений которым в 3— 5 раз выше, чем поверяемым. Процесс сравнения длины рабочего мерного прибора с образцовой мерой называется **компарированием**.

В общем случае процесс компарирования можно рассматривать как измерение одной и той же длины образцовой и рабочей линейными мерами. Компарирование производится на лабораторных (стационарных) и полевых компараторах либо упрощенным способом.

При компарировании мерных приборов на стационарном компараторе сначала с высокой точностью определяют его длину с помощью образцовых инварных жезлов. Затем сравнением длины компаратора с длиной поверяемого мерного прибора устанавливают фактическую длину последнего. Наиболее совершенный из стационарных компараторов в производит эталонирование инварных проволок базисных приборов с точностью до 1:2 500 000.

Компарирование стальных и инварных проволок, мерных лент и рулеток, предназначенных для точных измерений, может выполняться на полевых компараторах. Полевой компаратор устраивают на ровной и открытой местности с устойчивым грунтом в виде линии длиной 120 или 240 м, т. е. кратной длинам проволок и лент. Концы компаратора закрепляют бетонными монолитами, на верхней поверхности которых имеются специальные марки. Длину компаратора измеряют несколько раз образцовыми инварными проволоками. Затем эту же длину многократно измеряют рабочим прибором и вычисляют поправку за компарирование.

Длины рабочих стальных лент и рулеток поверяют упрощенным способом. На ровной поверхности (например, на бетонном полу или асфальте) укладывают рядом образцовую и рабочую меры, имеющие одинаковую номинальную длину, и совмещают их нулевые деления. Обоим мерным приборам задают одинаковое натяжение (обычно 10 кг) и линейкой измеряют разность Δl_k между фактической длиной / мерного прибора и длиной l_o образцового (контрольного) прибора, т.е.

$$\Delta l_k = l - l_o,$$

где Δl_k — поправка за компарирование.

Тогда фактическая длина рабочей ленты (рулетки) будет

$$l = l_o + \Delta l_k, \quad (X.1)$$

где l_o — номинальная длина рабочей ленты или рулетки.

При этом поправка за компарирование Δl_k считается положительной, если длина рабочей ленты больше номинальной, и отрицательной, если меньше номинальной. В случае когда при линейных измерениях необходимо учитывать температурные поправки, то следует измерить температуру t_0 , при которой производилось компарирование. По окончании компарирования к каждому мерному прибору (проволоке, ленте, рулетке) прилагают свидетельство (аттестат), в котором указываются способ и дата компарирования, длина прибора, натяжение и температура компарирования.

§ 65. СВЕТО- И РАДИОДАЛЬНОМЕРЫ

В настоящее время в геодезии и маркшейдерском деле все большее распространение получают электрофизические приборы для определения расстояний, основанные на принципах электронного измерения времени распространения электромагнитных волн между конечными точками измеряемой линии. В зависимости от вида электромагнитных колебаний такие приборы подразделяются на **светодальномеры и радиодальномеры**.

Свето- и радиодальномеры по сравнению с оптическими дальномерами обладают значительно более высокой точностью измерений и возможностью измерений больших расстояний.

Светодальномеры (электрооптические дальномеры) по методу измерения времени прохождения электромагнитной волной измеряемой длины подразделяются на **ИМПУЛЬСНЫЕ И ФАЗОВЫЕ**.

В импульсных светодальномерах непосредственно измеряют промежуток времени t , в течение которого световой импульс проходит двойное расстояние между конечными точками измеряемой линии. Импульс электромагнитных колебаний передатчиком направляется к отражателю; одновременно часть импульса направляется на индикатор времени. Отраженный импульс улавливается приемником и регистрируется индикатором времени. Для образования сигнала и обеспечения работы частей дальномера служит источник энергии. Определив время t прохождения импульсом пути «передатчик — отражатель — приемник» и зная скорость v распространения электромагнитных волн в воздухе, можно рассчитать расстояние между точками А и В по формуле

$$D = D_1 + c = v \frac{t}{2} + c, \quad (\text{X.2})$$

где v — скорость распространения электромагнитных волн в воздухе, равная $v = v_0/n$; v_0 — скорость распространения электромагнитных волн в вакууме ($v_0 = 299792,5 \pm 0,4$ км/с); n — показатель преломления воздуха, зависящий от температуры, давления и влажности воздушной среды; D_1 — расстояние, проходимое световым импульсом от передатчика до отражателя; c — постоянная дальномера, определяемая специальными исследованиями;

Импульсные дальномеры из-за сравнительно низкой точности, сложности и громоздкости аппаратуры находят ограниченное применение в геодезических работах. Наиболее точные из них — радиовысотомеры, применяются при аэрофотосъемке для определения высоты полета самолета в момент фотографирования местности. Погрешность определения ими высоты составляет в равнинной местности около 1,2 м, в гористой — 2 м. Для более точных измерений в геодезических и маркшейдерских работах получили распространение фазовые светодальномеры, в которых время определяется косвенно, по разности фаз двух колебаний, образовавшихся при данном расстоянии D_1 и частоте f .

В качестве источников света в дальномерах используют лампы накаливания, газоразрядные источники света, светодиоды и лазеры. Использование в светодальномерах лазерных источников света повышает дальность и точность измерений расстояний. Так, с помощью остронаправленного луча лазера было измерено расстояние от поверхности Земли до Луны (373787,265 км) с относительной погрешностью около 1 : 90 000 000.

Ранее в нашей стране были разработаны и изготовлялись светодальномеры «Кварц», СГ-3, ЭОД-1, СВВ-1, ГД-316, серии СТ-(62—66), «Кристалл», СМ-2, КДГ-3 (СМ-3), МСД-1 и др. В соответствии с действующим ГОСТ 19223—82 светодальномеры по точности их работы подразделяются на **ВЫСОКОТОЧНЫЕ, ТОЧНЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ**. Данным стандартом предусматривается изготовление следующих типов светодальномеров:

1. СБ-6 — светодальномер высокоточный большой для измерения расстояний до 30 км днем и 50 км ночью со средней квадратической погрешностью не более $\sigma = \pm(1+0,1D)$, см, где D —расстояние, км. Предназначен для измерения базисов в триангуляции 1, 2, 3 классов и линий в трилатерации и полигонометрии 1, 2, 3 классов.

2. СМ-02 — светодальномер высокоточный малый для измерения расстояний до 300 м со средней квадратической погрешностью не более 2 мм, предназначен для целей инженерной геодезии и маркшейдерских работ.

Маркшейдерский светодальномер СМ-02М (МСД-1М) выпускается во взрывобезопасном исполнении и используется для измерения расстояний от 1 до 500 м в горных выработках и на земной поверхности.

3. СМ-2—светодальномер точный малый для измерения расстояний до 2 км со средней квадратической погрешностью не более 2 см; предназначен для измерения базисов в триангуляции 4 класса, а также линий в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов. Светодальномер под шифром 2СМ-2 изготавливается серийно с 1976 г.

4. СМ-5— светодальномер технический малый для измерения расстояний до 500 м со средней квадратической погрешностью не более 5 см; предназначен для измерения линий в полигонометрии 2 разряда и теодолитных ходах. Имеет небольшую массу и габариты; может выпускаться как в виде самостоятельных приборов, так и в виде насадок на теодолиты (СМН-5).

Из зарубежных точных светодальномеров наибольшее распространение получил светодальномер ЕОК. 2000 (Народное предприятие «Карл Цейсс», Иена, Германия); с 1978 г. освоен выпуск светотакхеометра ЕОС 2000 с автоматическим цифровым измерением расстояний до 3 км, с погрешностью 10 мм.

Принцип действия радиодальномеров практически тот же, что и светодальномеров. Радидальномер состоит из двух взаимозаменяемых приемопередающих радиостанций, размещаемых в пунктах, между которыми определяется расстояние. Радиостанции снабжены устройствами для измерения времени прохождения радиосигналов от одного пункта до другого. В отличие от светодальномеров, на работу которых существенное влияние оказывают атмосферные условия, радиодальномеры позволяют вести измерения при любых метеорологических условиях (кроме сильного дождя) и в любое время суток. Радидальномеры обладают большей (до 150 км) дальностью действия, чем светодальномеры. Это объясняется меньшим затуханием радиоволн в атмосфере по сравнению со световыми, а также применением в радиодальномерах активных отражателей, которые ретранслируют сигналы, принятые от передающей станции.

Недостатком радиодальномеров являются большая постоянная часть погрешностей измерений (до 3—5 см) и возможность получения ошибочных результатов вследствие отражения радиоволн от складок рельефа и местных предметов.

В последние годы созданы радиодальномеры с отделяемыми антеннопередающими устройствами, которые поднимаются с помощью легких мачт на высоту до нескольких десятков метров (радиодальномер «Луч»). Это позволяет создавать геодезические сети методами трилатерации и полигонометрии без постройки дорогостоящих геодезических сигналов. В настоящее время при измерениях длин сторон государственных геодезических сетей 2, 3 и 4 классов успешно применяются радиодальномеры РДГВ и «Луч», обеспечивающие измерение расстояний до 30—40 км с точностью 1 : 200 000—1 : 300 000.

§ 66. ОПТИЧЕСКИЕ ДАЛЬНОМЕРЫ

Оптические дальномеры — это геодезические приборы, позволяющие определять горизонтальные и наклонные расстояния косвенным методом. В основу определения расстояний оптическими дальномерами положено решение равнобедренного (или прямоугольного) треугольника, имеющего одну короткую сторону (рис. 94, а). Острый угол ε такого треугольника называется **параллактическим**, а противолежащая сторона—**базой**.

Расстояние D определяется решением параллактического треугольника по формуле

$$D = \frac{1}{2} b \cdot \operatorname{ctg} \frac{\varepsilon}{2}. \quad (\text{X.3})$$

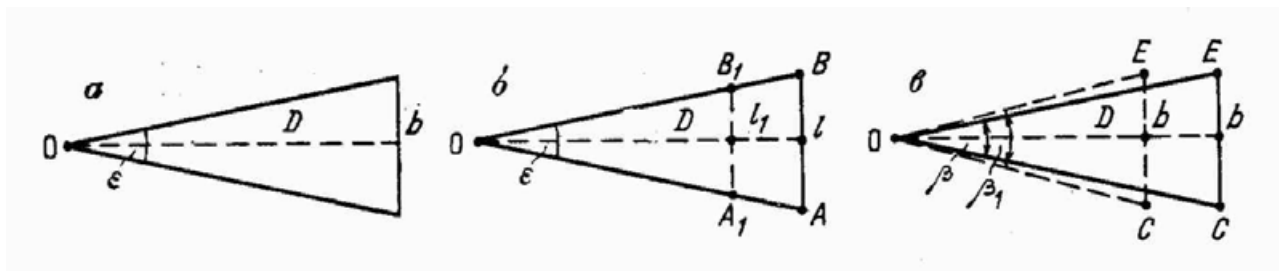


Рис. 94. Принцип измерения расстояния оптическими дальномерами

Поскольку угол ε мал (менее 1°), то функцию $\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}$ — можно заменить значением аргумента $\frac{\varepsilon}{2}$, выраженным в радианной мере.

Тогда

$$D = \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}} = \frac{bp}{\varepsilon}. \quad (\text{X.4})$$

Конструкциями оптических дальномеров предусматривается, что одна из величин (угол ε или база b) является постоянной, а вторая — переменной величиной, подлежащей измерению. В зависимости от этого различают два типа оптических дальномеров.

Дальномеры, с постоянным параллактическим углом, (рис. 94, б). При работе с такими дальномерами измеряют переменную величину l с помощью дальномерной рейки, устанавливаемой в конечной точке измеряемой линии.

Обозначив в формуле (X.4) постоянную величину $\frac{p}{\varepsilon}$ через K , т.е. $\frac{p}{\varepsilon} = K$, получим

$$D = K \cdot l, \quad (\text{X.5})$$

где K — коэффициент дальномера.

Дальномеры с постоянной базой (рис. 94, в). При работе с дальномерами данного типа измеряют угол β ; постоянная база b закрепляется на дальномерной рейке специальными марками. В этом случае искомое расстояние D определится по формуле

$$D = \frac{K}{\beta}, \quad (\text{X.6})$$

где $K = bp$ — коэффициент дальномера.

Во всех случаях дальномерная рейка может занимать как горизонтальное, так и вертикальное положение. При горизонтальном расположении ее длина обычно не превосходит 2 м, а при вертикальном достигает 4 м. Оптические дальномеры предназначены для определения расстояний от десятков до нескольких сотен метров.

Определение расстояний нитяным дальномером. Нитяной дальномер относится к простейшим оптическим дальномерам с постоянным параллактическим углом и переменной базой при определяемой точке. Он представляет собой зрительную трубу, на сетке нитей которой дополнительно нанесены дальномерные штрихи (см. рис. 83, б, в), симметрично расположенные относительно визирной оси.

Нитяные дальномеры не являются самостоятельными приборами. Они совмещаются с маркшейдерско-геодезическими приборами (теодолитами, нивелирами, кипрегелями), что придает этим приборам универсальность.

Теория нитяного дальномера определяется типом зрительной трубы, в которой он применен, — с внешним или внутренним фокусированием.

Рассмотрим его принципиальную схему.

Рассмотрим вначале частный случай, когда визирная ось трубы занимает горизонтальное положение и, следовательно, перпендикулярна к рейке. Параллактический угол ε образуется лучами визирования, проходящими через дальномерные нити a и b ; его величина зависит от расстояния между ними $p=ab$. Вершина угла ε совпадает с передним фокусом F объектива.

$$D = E + \delta + f, \quad (\text{X.7})$$

Лучи от дальномерных нитей a и b , пройдя через объектив и его передний фокус, пересекают рейку в точках A и B . Из подобия треугольников ABF и $a'b'F$ имеем

$$\frac{E}{n} = \frac{f}{p},$$

$$E = \frac{f}{p} n.$$

Поскольку величины f и p являются постоянными, то и их отношение $\frac{f}{p} = K$.

$$D = E + f + \delta = Kn + c, \quad (\text{X.8})$$

Для удобства вычисления расстояний величины f и p в приборах подбирают таким образом, чтобы $K=100$. Такое значение коэффициента дальномера будет иметь место при $\varepsilon=34,38'=34'22,8''$.

Величина $c=f+\delta$ в трубах с внешним фокусированием достигает 0,6 м, поэтому при крупномасштабных съемках (1:500, 1:1000, 1:2000) ее необходимо учитывать. Для труб с внутренним фокусированием величина обычно не превышает 4 см, в связи с чем ее пренебрегают.

При измерении расстояний нитяным дальномером величину переменного базиса l выражают числом n делений дальномерной рейки, видимых под углом ε на данном расстоянии. Значение n находят как разность отчетов по рейке, взятых по нижней и верхней дальномерным нитям. Тогда для труб с внутренним фокусированием искомое расстояние определится как

$$D = Kn = 100n \quad (\text{X.9})$$

Например, отсчеты по дальномерным нитям по рейке равны 2522 мм и 1208 мм. Тогда $n = 2522 - 1208 = 1314$ см; $D = Kn = 100 \cdot 1314$ см = 13140 см = 131,4 м.

Практически измерение расстояния нитяным дальномером производится следующим образом. Визируют на рейку и наводящим винтом зрительной трубы совмещают верхнюю дальномерную нить с отсчетом, кратным 10 см. По рейке отсчитывают число сантиметров, заключенных между дальномерными нитями. При $K=100$ дальномерный отсчет по рейке в сантиметрах выразит искомое расстояние в метрах (рис. 95, б).

При измерении больших расстояний, а также в случаях, когда нижние деления рейки закрываются травой, кустарником, складками рельефа местности и т. п., для взятия дальномерных отсчетов можно пользоваться дальномерной и средней нитями, принимая коэффициент дальномера $K=200$. С помощью нитяного дальномера рекомендуется измерять линии длиной не более 200 м; при больших расстояниях линию следует делить на части.

К достоинствам нитяного дальномера относятся простота устройства и удобство применения, к недостаткам — сравнительно низкая точность измерения расстояний, равная 1:200—1:400. Последнее обусловлено влиянием на результаты измерений неблагоприятных внешних условий, неточности отсчитывания по рейке, большой толщины нитей, неточности коэффициента дальномера и делений рейки и т. п. При необходимости точность измерения длин линий может быть повышена применением дальномеров двойного изображения.

Определение коэффициентов дальномера. Значения постоянных дальномера обычно приводятся в паспорте геодезического прибора. Однако перед началом полевых работ независимо от паспортных данных следует определять коэффициент дальномера.

В практике маркшейдерско-геодезических работ обычно применяется способ **ЗАВИСИМОГО** определения коэффициента нитяного дальномера с внутренним фокусированием. Этот способ учитывает цену деления рейки, а поэтому полученное значение коэффициента дальномера соответствует только определенной дальномерной рейке. В основу определения коэффициента дальномера K положена формула

$$K = \frac{D}{n}. \quad (\text{X.10})$$

Определение коэффициента дальномера следует производить с точностью $\pm 0,1$ при наиболее благоприятных атмосферных и погодных условиях. Для этого на ровной местности выбирается базис, на котором отмеряются отрезки длиной 25, 50, 75, 100 и 150 м (рис. 95, в). Длину базиса и его отрезков измеряют мерной лентой или дальномером двойного изображения с точностью не ниже 1:2000.

На одном конце базиса устанавливают прибор, а в точках 1, 2, 3, 4, В — последовательно дальномерную рейку в прямом, а затем в обратном направлениях. В каждой точке берут дальномерные отсчеты по рейке. Из каждой пары отсчетов вычисляются коэффициенты дальномера $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$, значения которых не должны отличаться друг от друга более чем на 0,4. За окончательное значение коэффициента дальномера принимают его среднее арифметическое

$$K = \frac{K_1 + K_2 + K_3 + \dots + K_n}{n}. \quad (\text{X.11})$$

Если коэффициент дальномера не равен 100, то для удобства и повышения производительности при определении расстояний составляется таблица поправок, рассчитываемая по формуле

$$\Delta D = (K - 100)n, \quad (\text{X.12})$$

где K — полученное значение коэффициента. Из таблицы по аргументу n выбирается значение поправки ΔO . В некоторых случаях для дальномера изготавливают специальную рейку, при

работе с которой коэффициент был бы равен 100. Для этой цели берется выдержанный заgroundанный брусок дерева необходимой длины (3—4 м). Над начальной точкой базиса устанавливают прибор, а брусок последовательно устанавливают на расстояниях 50, 100, 150 и 200 м; при этом каждый раз одну крайнюю дальномерную нить наводят на верхний обрез бруска, а проекцию другой дальномерной нити отмечают на бруске чертой. Полученные на рейке интервалы делят на соответствующее число частей и раскрашивают в контрастные тона.

Определение горизонтальных проекций наклонных расстояний при измерении длин дальномером.

На практике при определении расстояний с помощью нитяного дальмера по вертикальной рейке визирование обычно производится наклонным лучом (рис. 96). Если бы рейка была перпендикулярна к визирной оси, т. е. наклонена к визирному лучу на угол ν , то наклонное расстояние $D = MN = Kn' + c$. Но поскольку рейка устанавливается вертикально, фактический дальномерный отсчет по ней будет равен n . Как видно из рис. 96, в треугольниках $Na'a$ и Nbb' углы при точках a' и b' отличаются от 90° на половину параллактического угла ϵ , т. е. на $\epsilon/2 = 17,2$. Учитывая невысокую точность измерений нитяным дальмером, этим отличием можно пренебречь, принимая треугольники $Na'a$ и Nbb' прямоугольными.

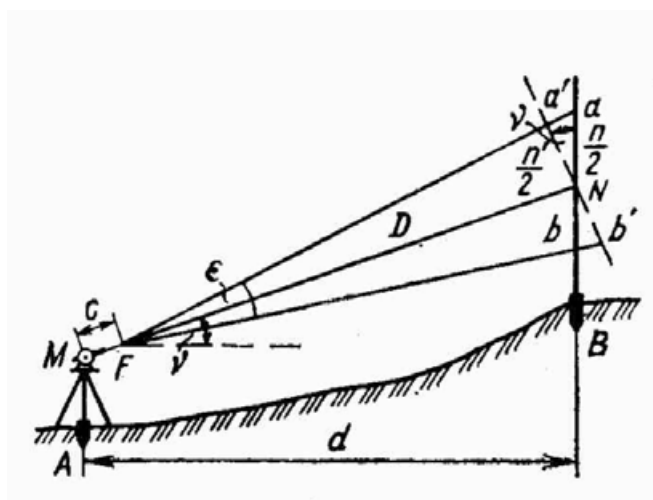


Рис. 96. Схема определения горизонтальных проекций наклонных расстояний, измеренных

Тогда можно записать:

$$Na' + Nb' = (Na + Nb) \cos \nu,$$

или

$$n' = n \cos \nu.$$

Отсюда наклонное расстояние $D = Kn \cos \nu + c$. Принимая для труб с внутренним фокусированием $c=0$, имеем

$$D = K \cdot n \cos \nu. \quad (X.13)$$

Горизонтальная проекция линии будет равна

$$d = D \cdot \cos \nu = Kn \cdot \cos^2 \nu, \quad (X.14)$$

или, обозначив величину Kn через L , получим

$$d = L \cdot \cos^2 \nu, \quad (X.15)$$

После преобразования формулу (100) можно представить в виде

$$d = L - \Delta L_H, \quad (X.16)$$

где $\Delta L_H = L \cdot \sin^2 \nu$, — поправка за наклон в измеренное дальномером наклонное расстояние.

Дальномеры двойного изображения и их классификация. Дальномеры двойного изображения в значительной мере свободны от недостатков, присущих нитяному дальномеру, и позволяют получать результаты с точностью, близкой к точности измерения расстояний мерными лентами. В основу этих дальномеров положено свойство стеклянной призмы отклонять проходящие через нее лучи к основанию. Призма с очень малым преломляющим углом 9 называется оптическим клином.

Дальномеры двойного изображения изготавливаются двух видов:

1. Дальномеры с постоянным параллактическим углом и переменной базой, в которых используется оптический клин.
2. Дальномеры с постоянной базой и переменным углом, в которых используются линзы либо их системы.

Дальномер с переменным параллактическим углом и постоянной базой у цели; предназначен для измерения длин линий от 40 до 400 м в полигонометрии 2 разряда, теодолитных ходах и

триангуляционных сетях по горизонтальной и вертикальной рейкам с относительной погрешностью соответственно не более 1: 5000 и 1 :3000. Конструктивно он оформлен как 'самостоятельный прибор, включающий дальномерное устройство, вертикальный круг для измерения углов наклона линии визирования с точностью до V , алидадную часть, съемную подставку и дальномерную рейку длиной 2 м. Дальномерное устройство снабжено оптическим компенсатором, позволяющим точно измерять сравнительно большие (почти до $1,5^\circ$) параллактические углы.

Редукционный дальномер выполнен в виде насадки на зрительную трубу теодолита с постоянным параллактическим углом; предназначен для измерения горизонтальных проложений длин линий от 20 до 120 м по вертикальной рейке в теодолитных ходах с относительной погрешностью 1:1000—1:2000 и для горизонтальной съемки застроенных территорий. Особенностью дальномера является наличие редуцирующего устройства в виде подвесного клина, автоматически преобразующего наклонные расстояния в их горизонтальные проложения при углах наклона зрительной трубы до $\pm 12^\circ$. Редуцирующий клин является составной частью оптического компенсатора, создающего постоянный параллактический угол $\varepsilon = 34'22,6''$. В качестве измерительной базы используется дальномерная рейка, имеющая шкалу и верньер для взятия дальномерного отсчета.

§ 67. ПОНЯТИЕ О ПАРАЛЛАКТИЧЕСКОМ МЕТОДЕ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ

Под параллактическим методом понимается косвенный метод определения расстояния с помощью малого базиса, разбиваемого поперек измеряемой линии, и параллактических углов, под которыми базис рассматривается из концов линии. Впервые данный метод был применен русским астрономом и геодезистом В. Я. Струве в 1836 г. при измерении длин сторон в полигонометрии.

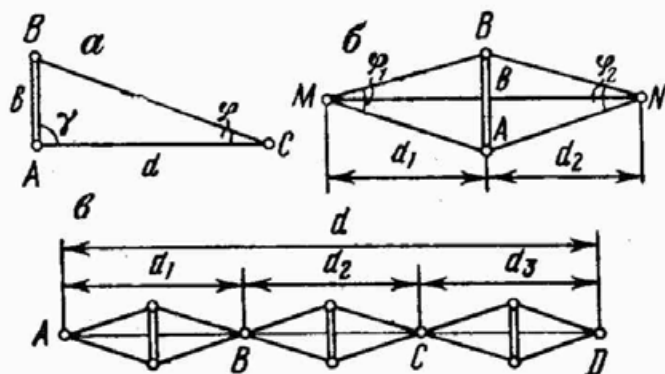


Рис. 97. Параллактический метод определения расстояния

Параллактический метод используется в случаях, когда непосредственное измерение расстояний мерными приборами невозможно из-за наличия в створе измеряемых линий различного рода препятствий либо затруднительно ввиду сильно пересеченной местности. Геометрическая фигура, образованная измеряемой линией с базисом и связывающим их построением, называется параллактическим звеном. Наиболее широкое распространение в геодезической практике получили два типа параллактических звеньев.

1. Звено треугольной формы с коротким базисом, расположенным в конце линии под углом 90° (рис. 97, а).

В этом звене угол $\gamma = 90^\circ$ называется **прибазисным**. На местности измеряют базис b и параллактический угол φ . Длина линии рассчитывается с использованием теоремы синусов по формуле

$$d = \frac{b \cdot \sin(\varphi + \gamma)}{\sin \varphi},$$

или приближенно в радианной мере

$$d = \frac{b\rho}{\varphi}. \quad (X.17)$$

2. Симметричное звено ромбической формы с коротким базисом, расположенным под углом 90° к линии хода вблизи ее середины (рис. 65, б); схема такого звена обеспечивает наибольшую точность. В этом случае длина линии определится по формуле

$$d = d_1 + d_2 = \frac{b}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2} \right),$$

или в радианной мере

$$d = b \left(\frac{\rho}{\varphi_1} + \frac{\rho}{\varphi_2} \right). \quad (\text{X.18})$$

Точность определения длин линий параллактическим методом зависит во многом от точности измерения параллактических углов и базиса. Поэтому данный метод целесообразно применять лишь при наличии приборов и оборудования, позволяющих измерять углы и базисы с высокой точностью. Направление базиса разбивают техническим теодолитом перпендикулярно к измеряемой линии с погрешностью не более $2'$. Величины параллактических углов должны быть не менее 8° в полигонометрии 1 разряда и 4° — в полигонометрии 2 разряда.

Базисы в параллактических звеньях измеряют инварной проволокой, при этом длину базиса принимают кратной длине проволоки (24, 48 м и т. д.). Базис должен располагаться по возможности на ровном месте.

В настоящее время при измерении длин сторон в полигонометрии 1 и 2 разрядов широко применяется разработанный проф. В. В. Даниловым параллактический метод определения расстояний **с постоянным базисом**; в качестве последнего используется натянутая на блочных станках инварная проволока длиной 24 м, на концах которой закрепляются визирные марки.

Параллактические углы измеряют теодолитами типа Т2 четырьмя приемами с погрешностью не более $1,5''$.

При измерении линий в ходах полигонометрии 1 и 2 разрядов на застроенной территории или в лесистой местности разрешается применять **короткобазисный** параллактический метод, когда в качестве базиса используются инварные двух- или трехметровые жезлы с визирными марками. Жезлы устанавливаются на штативах в горизонтальном положении по круглому уровню и перпендикулярно к измеряемой линии с помощью оптического визира.

В зависимости от требуемой точности и местных условий в короткобазисной полигонометрии применяются различные типы простых и сложных параллактических звеньев; из них наиболее рациональным является звено ромбической формы. При больших длинах линий последние измеряются цепочкой ромбических звеньев длиной 40—60 м каждое, разбиваемых в створе измеряемой линии (рис. 97, в).

В этом случае длина стороны AD определится суммой длин простых звеньев, т. е. $d = d_1 + d_2 + d_3$. Такой способ измерения длин называется **створно-короткобазисным**.

При створно-короткобазисном способе параллактические углы не должны быть менее $2,5^\circ$ в полигонометрии 1 разряда и 2° — в полигонометрии 2 разряда. Измерение углов выполняется теодолитами типа Т2 с точностью не ниже $1''$ по специальной программе.

§ 68. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕПРИСТУПНЫХ РАССТОЯНИЙ

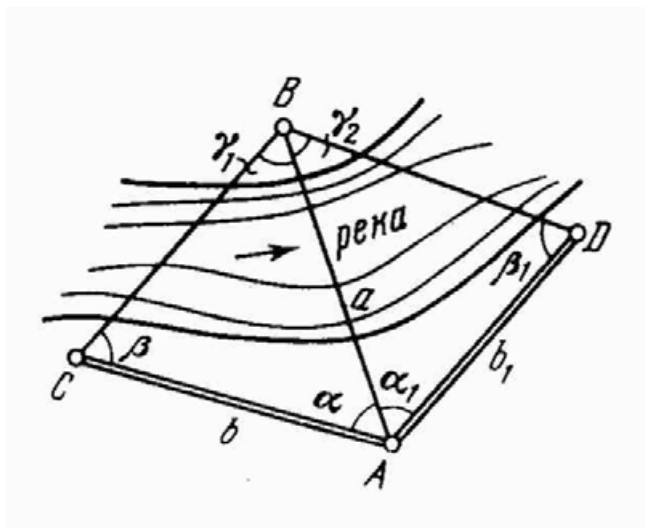


Рис. 98. Схема определения недоступных расстояний

В практике инженерно-геодезических работ довольно часто оказывается невозможным непосредственное измерение расстояния между двумя точками местности. Это имеет место при пересечении линиями различного рода препятствий: рек, оврагов, заболоченных участков, котлованов, зданий и т. п. В таких случаях искомое расстояние, называемое **неприступным**, определяют косвенным путем, выполнив соответствующие измерения.

Пусть требуется определить расстояние $AB=a$ (рис. 98), которое не может быть измерено непосредственным способом. При этом искомое расстояние a определяется из решения двух треугольников, в которых измерены на местности две стороны (базисы) b и b_1 и горизонтальные углы, α , α_1 и β , β_1 . Базисы выбираются по возможности на ровной

местности, удобной для линейных измерений, и измеряются не менее двух раз. В точках A , C и D последовательно устанавливают теодолит и измеряют углы α , α_1 , β и β_1 . Если имеется возможность, то для контроля угловых измерений следует измерить также углы γ и γ_1 .

Значение недоступного расстояния вычисляют по теореме синусов дважды по формулам

$$a = b \frac{\sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)}; a = b_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin(\alpha_1 + \beta_1)}. \quad (X.19)$$

Расхождение между обоими результатами не должно превышать некоторой величины, устанавливаемой в зависимости от требуемой точности. За окончательное значение искомого расстояния принимается среднее арифметическое из полученных результатов.

Точность определения недоступного расстояния зависит от точности измерения базисов и углов, а также от формы треугольников. Для получения наиболее точных результатов (при прочих равных условиях) треугольники по форме должны приближаться к равносторонним.

§ 69. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ МЕРНЫМИ ЛЕНТАМИ

Вешение линий. При непосредственном измерении длин линий в инженерных геодезических работах широко применяются штриховые стальные мерные ленты. В процессе измерения лента должна укладываться в **створе** линии местности, т. е. в отвесной плоскости, проходящей через конечные точки линии.

Перед измерением на местности створ линии обозначается **ВЕХАМИ**, представляющими собой заостренные деревянные шесты длиной 1,5—2,5 м, раскрашенные попеременно через 20 см в белый и красный цвета. При измерении коротких (100—150 м) линий в условиях равнинной местности достаточно установить вехи в конечных точках линии. В случаях измерения длинных линий, особенно в условиях сложного рельефа, в створе линий устанавливается ряд дополнительных вех. Установка вех в створе измеряемой линии называется **ВЕШЕНИЕМ** ЛИНИИ.

В зависимости от длин линий, характера местности и требуемой точности вешение линий может производиться «на глаз», с помощью полевого бинокля или теодолита.

Если между конечными точками линии имеется взаимная видимость, то вешение обычно производится способом «на себя», т. е. от дальнего конца линии к наблюдателю (рис. 99, а). Этот способ является наиболее точным, так как каждая ранее установленная веха не закрывает последующую веху. Наблюдатель становится в 1—2 м от вехи в точке и смотрит вдоль створа линии, чтобы веха *A* закрывала собой дальнюю веху *B*. Рабочий по сигналам наблюдателя последовательно устанавливает в створе линии вехи 1, 2, 3 и 4.

При больших расстояниях, а также при точных линейных измерениях вешение линий выполняют с помощью теодолита. Для этого в точке *A* устанавливают теодолит и, наведя зрительную трубу на основание вехи в точке *B*, закрепляют лимб и алидаду. По указанию наблюдателя рабочий отвесно устанавливает вехи в точках 1, 2, 3 и 4 таким образом, чтобы на них проектировалась вертикальная нить сетки.

Если между конечными точками *A* и *B* нет взаимной видимости, то вешение выполняется следующим образом (рис. 99, б). Вблизи от створа линии ставят веху в точке *D*₁ и, провешивая линию *D*₁*A*, устанавливают веху в точке *C*₁. Затем провешивают линию *C*₁*B*,

Рис. 99. Схема вешения линии: а — способом на себя; б — через холм; в — через овраг

переставляя веху из точки *D*₁ в точку *D*₂. Далее снова провешивают линию *D*₂*A*, перемещая веху из точки *C*₁ в точку *C*₂. В таком порядке вехи перемещают до тех пор, пока они не займут следующего положения: веха *D* будет находиться в створе линии *CB*, а веха *C* — в створе линии *DA*. При этом обе вехи *C* и *D* окажутся в створе линии *AB*.

Вешение линии, пересекающей лощину или овраг (рис. 99, в), производится с двух концов. Сначала из точки *A* наблюдатель устанавливает веху 1 в створе линии *AB*, а затем способом «от себя» — веху 2 в створе линии *A* — 1. Другой наблюдатель из точки *B* устанавливает веху 3 в створе линии *B* — 1. Затем по створу линии 2—3 из точки 2 устанавливается веха 4 на дне лощины. В зависимости от условий местности возможны и другие варианты вешения линий.

Порядок измерения линий мерной лентой. После вешения створ линии необходимо расчистить и подготовить для измерений: удалить с него камни и кочки, раздвинуть высокую траву и мешающие измерениям ветки кустарника и т. д. Измерение длин мерной лентой состоит в последовательном откладывании по створу измеряемой линии ленты с фиксацией ее концов с помощью шпилек. Измерения выполняются двумя мерщиками в следующей последовательности.

В начальной точке линии задний мерщик втыкает шпильку 1 (рис. 100) и надевает на нее задний конец ленты. Передний мерщик, имеющий остальные 10 (или 5) шпилек комплекта, разматывает ленту вдоль измеряемой линии и по командам заднего мерщика укладывает ее в створе линии. Путем встряхивания ленты передний мерщик добивается, чтобы вся лента лежала в створе линии, натягивает ее и фиксирует передний конец шпилькой 2. Шпильки должны втыкаться в землю отвесно и на достаточную глубину, чтобы при натяжении ленты они не наклонялись и не сдвигались с места. Далее передний мерщик снимает ленту со шпильки и протягивает ее на один пролет. Задний мерщик, забрав шпильку 1, доходит до оставленной передним мерщиком шпильки 2 и надевает на нее свой конец ленты. Передний мерщик вновь натягивает ленту по створу линии и отмечает ее конец шпилькой 3 и т. д.

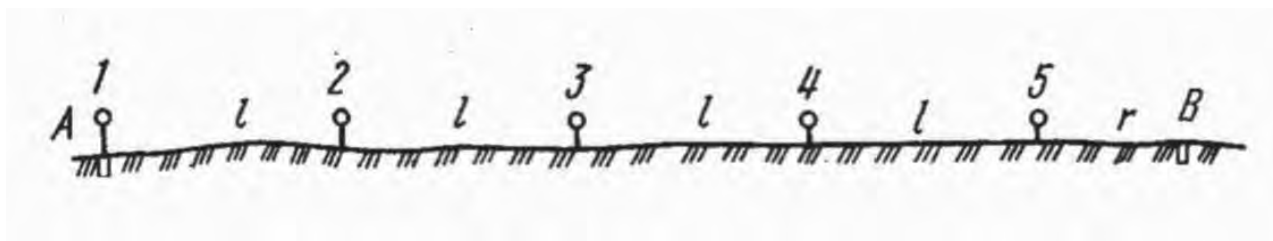


Рис. 100. Порядок измерения линии мерной лентой

В таком порядке откладывание ленты в створе линии продолжается до тех пор, пока передний мерщик не израсходует все шпильки (10 или 5); это указывает на то, что отложенное лентой расстояние составляет 200 или 100 м. При этом у заднего мерщика должно быть 10 (или 5) шпилек; одна шпилька находится в земле у переднего конца ленты. Задний мерщик передает переднему 10 (или 5) шпилек и записывает в журнал одну **передачу**. Дальнейшие измерения выполняются в той же последовательности. Последний отрезок линии, длина которого меньше длины мерного прибора, называется **ОСТАТКОМ**. Измерение остатка производится лентой, причем десятые доли дециметровых делений ленты оцениваются на глаз.

Общую длину измеряемой линии подсчитывают по формуле

$$D_{изм} = nl + r, \quad (X.20)$$

где l — длина ленты; n — число полных укладок ленты; r — остаток.

Для контроля линию измеряют дважды: 20-метровой лентой в прямом и обратном направлениях либо 20- и 24-метровой лентами—в одном направлении. Расхождения в результатах двойных измерений не должны превышать установленных величин.

Основными источниками погрешностей измерения длин мерной лентой являются: неточное укладывание ленты в створе линии, изгиб и провисание ленты, незнание истинной длины ленты, колебания температуры в процессе измерений, просчеты и неточности при взятии отсчетов по ленте и др. Ослабление влияния данных факторов на точность измерений достигается более тщательным провешиванием линий, использованием динамометров для натяжения лент, введением поправок в измеренные длины, проведением контрольных измерений и т. п.

На точность измерения длин мерной лентой большое влияние оказывают условия местности, характер грунта и растительного покрова. Поэтому в зависимости от рельефа и условий измерений условно различают три класса местности: I класс—местность, **благоприятная для измерений** (ровная поверхность с твердым грунтом); II класс—местность **со средними условиями для измерений** (холмистая поверхность со слабым грунтом); III класс — местность, **неблагоприятная для измерений** (сильно пересеченная, заросшая кустарником местность с кочками и выемками, с песчаной или заболоченной почвой).

Практикой установлено, что относительные погрешности измерения линий штриховыми мерными лентами не должны превышать: на местности I класса—1:3000, II класса—1:2000 и III класса— 1:1000.

Измерение углов наклона линий. Для получения горизонтальных проекций измеренных на местности линий необходимо знать углы их наклона к горизонту. Эти углы измеряют с помощью вертикального круга теодолита либо простейшего угломерного прибора — **эклиметра**. Наибольшее распространение в практике получили круговой маятниковый эклиметр и эклиметр-высотомер ЭВ-1.

Круговой маятниковый эклиметр состоит (рис.101,а) из круглой металлической (или пластмассовой) коробки 1, в которой вокруг горизонтальной оси вращения кольцо 6. На ободе кольца 6 нанесены градусные деления в обе стороны от 0 до $\pm 60^\circ$. К кольцу

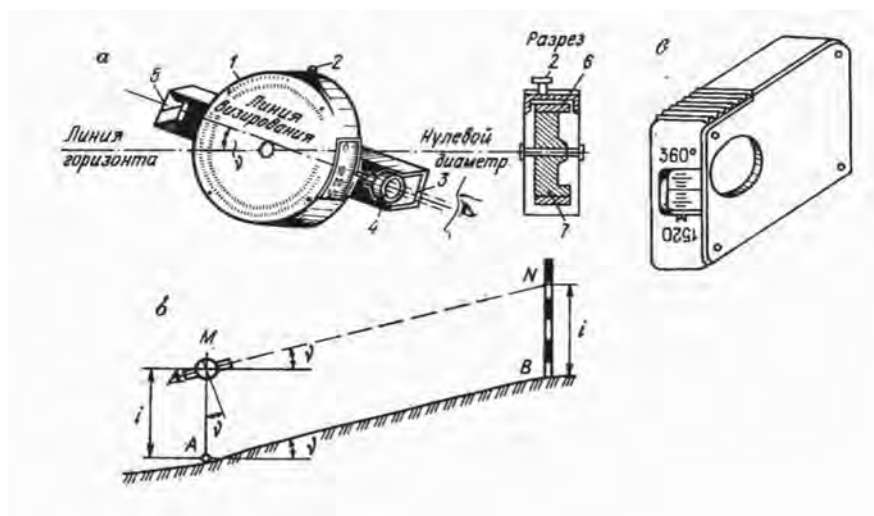


Рис.101. Эклиметры

прикреплен груз 7 в виде сектора, под действием которого нулевой диаметр шкалы устанавливается горизонтально. Сверху коробки находится стопорная кнопка 2 (арретир), служащая для торможения кольца. К коробке прикреплена пусто-гелея визирная трубка с двумя диоптрами: глазным 3 в виде горизонтальной щели и предметным 5, представляющим собой окно: горизонтально натянутой металлической нитью. В коробке против глазного диоптра имеется окошко, через которое с помощью лупы 4 берутся отсчеты по шкале.

Для измерения угла наклона линии AB (рис.101, б) в точке A становится наблюдатель с эклиметром, а в точке B устанавливается веха с меткой на высоте глаза наблюдателя i . Через прорезь глазного диоптра наблюдатель наводит нить предметного диоптра на метку вехи и нажимает стопорную кнопку. Когда кольцо под действием тяжести груза успокоится, т. е. его нулевой диаметр займет горизонтальное положение, наблюдатель отпускает кнопку и через лупу берет отсчет, проектируя предметный диоптр на шкалу кольца. Этот отсчет дает значение угла наклона ν линии AB . Для контроля угол наклона линии измеряют в прямом и обратном направлениях. За окончательное значение угла принимается его среднее арифметическое, т. е.

$$\nu = \frac{\nu_{AB} + \nu_{BA}}{2}.$$

Эклиметр-высотомер ЭВ-1 (рис.101, в) действует по тому же принципу, однако у него на ободе колеса нанесены две шкалы: одна предназначена для измерения углов наклона, другая — для определения превышений при длинах линий 15 и 20 м. При его использовании визирование ведется вдоль наружной вертикальной поверхности корпуса путем совмещения индекса диафрагмы с точкой наведения. Измерение углов наклона выполняется при верхнем, а превышений — при нижнем расположении стопорной планки.

Эклиметры позволяют измерять углы наклона линий местности с погрешностью 15—30'. При углах наклона линий (либо отдельных участков линий) более 5—6° их измерение должно выполняться с помощью вертикального круга теодолита.

Поправки, вводимые в измеренные длины. В измеренные на местности длины линий вводятся поправки за компарирование мерного прибора, температуру и наклон линии (за приведение линии к горизонту).

Поправка за компарирование в измеренное расстояние вычисляется по формуле

$$\Delta D_K = \frac{D_{изм}}{l} \Delta l_K, \quad (X.21)$$

где $D_{изм}$ —длина измеренной линии; l —длина мерного прибора; Δl_K —поправка за компарирование мерного прибора, приводимая в его свидетельстве (аттестате).

Поправка за температуру определяется по формуле

$$\Delta D_t = a(t - t_0)D_{изм}, \quad (X.22)$$

где a —коэффициент линейного расширения (для стали $a = 12,5 \cdot 10^{-6}$); t — температура мерного прибора при измерении; t_0 —температура компарирования.

Тогда наклонная длина линии с учетом поправок за компарирование и температуру мерного прибора будет

$$D = D_{изм} + \Delta D_K + \Delta D_t. \quad (X.23)$$

Если при измерении длин линий стальной мерной лентой поправка за компарирование $\Delta l_k < 2$ мм, то ею обычно пренебрегают; при разности температур измерения и компарирования $(t - t_0) < 8^\circ$ поправку за температуру также можно не вводить.

Для перехода от наклонной длины линии к горизонтальной ее проекции необходимо знать угол наклона линии к горизонту v либо превышение h между конечной и начальной точками линии (рис.102, а).

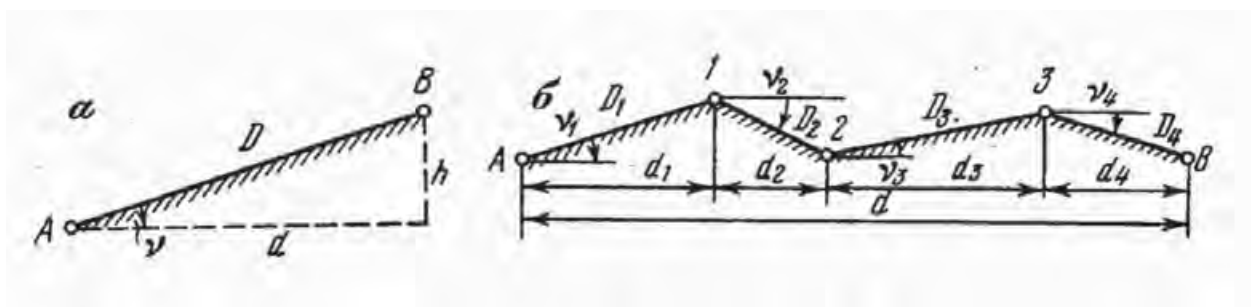


Рис. 102. Схемы определения поправки за наклон в измеренную длину (а) и горизонтального проложения линии (б)

Если измерен угол наклона v линии AB , наклонная длина которой равна D , то ее горизонтальное проложение

$$d = D \cdot \cos v.$$

На практике обычно горизонтальное проложение d находят как разность наклонной длины линии D и поправки за наклон ΔD_H , т. е.

$$d = D - \Delta D_H.$$

Как следует из рис.102, а,

$$\Delta D_H = D - d = D - D \cdot \cos v = D(1 - \cos v),$$

или

$$\Delta D_H = 2D \sin^2 \frac{v}{2}. \quad (X.24)$$

Если известно превышение h между крайними точками линии, то поправка ΔD_H определится из следующих соображений (см. рис.102, а):

$$h^2 = D^2 - d^2 = (D - d)(D + d).$$

Принимая $D - d = \Delta D_H$, $D + d \approx 2D$, получим

$$\Delta D_H = \frac{h^2}{2D}. \quad (X.25)$$

Следует помнить, что поправка за наклон ΔD_H всегда отрицательна независимо от знака угла наклона.

Если измеряемая линия AB состоит из участков, имеющих разные углы наклона (рис.102, б), то для каждого из них измерение длин и углов наклона, определение поправок за наклон и горизонтальных проложений производится отдельно. Тогда горизонтальное проложение линии AB определится как сумма горизонтальных проложений ее отдельных участков, т. е.

$$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = \sum_{i=1}^4 d_i.$$

При измерении расстояний стальными мерными лентами поправки за наклон учитывают, если углы наклона линий превышают 1° .

Модуль V

Глава 11. НИВЕЛИРОВАНИЕ

§ 70. Геометрическое нивелирование

Нивелирование производится для определения высот точек земной поверхности, необходимых для изучения рельефа местности и изображения его на планах и картах.

Геометрическое нивелирование производится при помощи нивелира и реек. Главными частями нивелира являются зрительная труба и цилиндрический уровень, при помощи которого визирная ось трубы приводится в горизонтальное положение.

Рейки, используемые при геометрическом нивелировании, представляют собой деревянные бруски, на которые нанесены шашечные сантиметровые деления.

Основным методом нивелирования является *нивелирование из середины*. При нивелировании из середины инструмент устанавливают посередине между точками А и В, а на точки устанавливают одинаковые рейки. На рис.103 R_a и R_b - рейки; J - нивелир; линия AB_1 - уровенная поверхность точки А; H_A - абсолютная отметка точки А (т. е. высота ее над средней уровенной поверхностью, соответствующей среднему уровню Балтийского моря); h - превышение точки В над точкой А; a и b - соответственно взгляд (отсчет) на заднюю рейку - «НАЗАД» и на переднюю - «ВПЕРЕД».

Из рис.103 следует, что

$$b + h = a, \text{ отсюда}$$

$$h = a - b,$$

т. е. при нивелировании из середины превышение равно «отсчёту назад» минус «отсчёт вперед». Если при этом «отсчет назад» больше «отсчета вперед» ($a > b$), то превышение h положительно, т.е. точка В выше точки А, если же «отсчет назад» меньше «отсчета вперед» ($a < b$), то превышение h отрицательно, т.е. точка В ниже точки А.

Зная отметку H_A точки А и превышение h , определяем отметку точки В:

$$H_B = H_A + h, \quad (\text{XI.I})$$

т.е. отметка передней точки равна отметке плюс превышение h между ними.

Высота визирного луча нивелира над уровнем моря называется **горизонтом прибора** и обозначается через ГП:

$$\text{ГП} = H_A + a = H_B + b. \quad (\text{XI.2})$$

Если установить рейку в какой-нибудь точке С и взять по ней отсчет c , то

$$H_C = \text{ГП} - c, \quad (\text{XI.3})$$

т.е. отметка любой точки равна горизонту прибора ГП минус отсчет по рейке, стоящей в данной точке.

Последовательное нивелирование. В тех случаях, когда с одной установки инструмента нельзя определить превышение между конечными

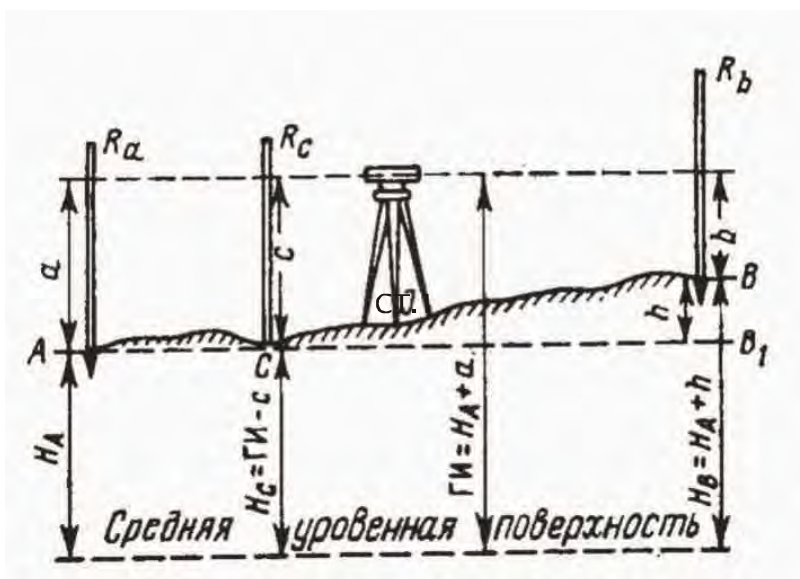


Рис. 103. Схема геометрического нивелирования

точками, прибегают к последовательному нивелированию, т. е. расстояние между конечными точками разбивают на ряд равных отрезков, допускающих простое нивелирование их концов. Определяя последовательно превышения между этими связующими точками и суммируя их, получают превышение между начальной A и конечной B точками как алгебраическую сумму превышений между **связующими точками** (рис.104). **Связующими** называют точки, общие для двух смежных установок нивелира.

Следовательно, превышение h_{AB} между конечными точками A и B

$$h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + \dots + h_n = (a_1 - b_1) + (a_2 - b_2) + (a_3 - b_3) + \dots + (a_n - b_n);$$

$$h_{AB} = \sum_1^n h = \sum_1^n a - \sum_1^n b. \quad (XI.4)$$

Вычисляя превышение h_{AB} между конечными точками A и B и зная отметку начальной точки H_A , находят отметку конечной точки

$$H_B = H_A + h_{AB} = H_A + \sum_1^n a - \sum_1^n b. \quad (XI.5)$$

Итак, при последовательном нивелировании превышение между конечными точками равно

сумме «отсчетов; назад» $\left(\sum_1^n a\right)$ минус сумма «отсчетов вперед» $\left(\sum_1^n b\right)$.

Последовательное нивелирование по линии местности между удаленными точками с целью передачи отметки называется **продольным нивелированием**, или нивелирным ходом.

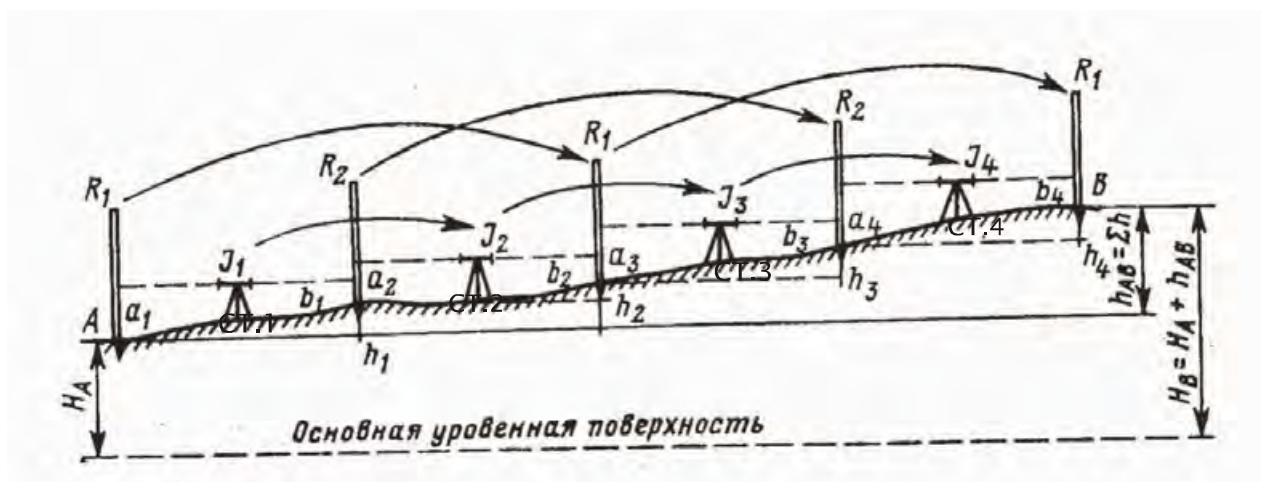


Рис. 104. Схема сложного нивелирования

§ 71. Нивелиры и их проверки

Промышленность выпускает нивелиры следующих типов.

Нивелир Н-05 - высокоточный, с оптическим микрометром для определения превышения со средней квадратической погрешностью более 0,5 мм на 1 км двойного хода. Применяется при нивелировании I и II классов в государственных геодезических сетях, на геодинамических полигонах, при ведении инженерно-геодезических работ.

Нивелир Н-3 - точный, используется для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 3 мм на 1 км двойного хода. Применяется при нивелировании III и IV классов и инженерно-геодезических изысканиях.

Нивелир Н-10 - технический, для определения превышений со средней квадратической погрешностью не более 10 мм на 1 км двойного хода. Применяется для высотного обоснования топографических съемок, при инженерно-геодезических изысканиях, в строительстве.

В зависимости от применяемого устройства для приведения визирной оси в горизонтальное положение нивелиры всех типов должны выпускаться в двух исполнениях: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона визирной оси. При наличии компенсатора в шифр нивелира добавляется буква К. Нивелиры типов Н-3 и Н-10 допускается изготавливать с лимбом для измерения горизонтальных углов. При наличии лимба в шифре нивелира добавляется буква Л.

Нивелир с цилиндрическим уровнем 2Н-10Л (рис.105) предназначен для определения превышений при выполнении технического нивелирования, при инженерно-геодезических изысканиях, в строительстве.

Прибор состоит из неподвижной нижней части 1 и верхней 2, имеющей возможность вращаться относительно нижней. Нижняя часть представляет собой подставку цилиндрической формы с подъемными винтами 9, на которой укреплен горизонтальный лимб. Верхняя часть нивелира имеет зрительную трубу 3 с внутренней фокусировкой, осуществляемой головкой 4, контактный уровень при трубе, помещенный в коробку 5, установочный уровень и элевационный винт 7, которым осуществляется точная установка пузырька уровня на середину. Верхняя и нижняя части нивелира соединены плоскими шайбами осевой системы. Наведение трубы нивелира на рейку осуществляется от руки поворотом его верхней части относительно нижней. Отсчеты по горизонтальному лимбу производятся при помощи верньеров.

Труба нивелира имеет увеличение $23\times$. Подставка-треножник соединяется со штативом станковым винтом, ввинчиваемым в плоскую пружину 10. Под позициями 6 и 8 показаны крышка исправительных винтов и верньер лимба.

Оптическая система, помещенная в коробке уровня, передает изображение концов пузырька

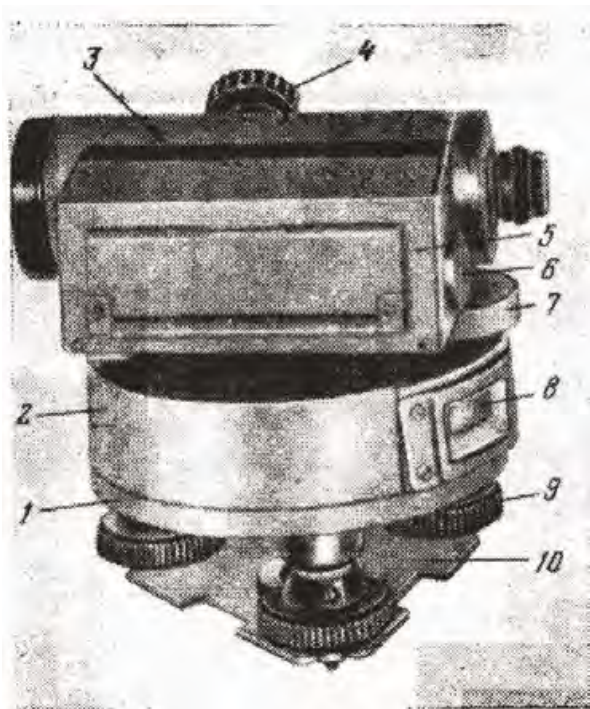


Рис. 105. Нивелир 2Н-10Л

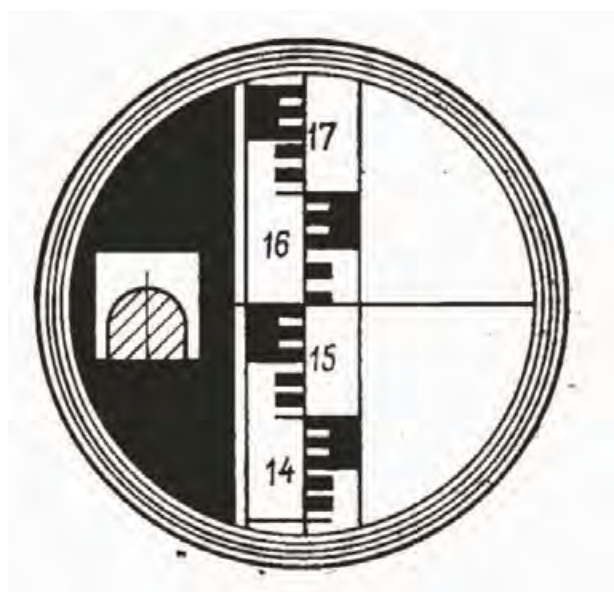


Рис. 106. Поле зрения нивелира

непосредственно в поле зрения трубы (рис.106), что создает удобство работы, так как позволяет одновременно наблюдать за рейкой и за уровнем.

В поле зрения трубы пузырек уровня кажется разрезанным вдоль пополам. Если обе половины совмещены, то это значит, что пузырек выведен на середину. Совмещение концов пузырька можно осуществить точнее, чем совмещение его с делениями на ампуле (как у уровней теодолита). Такая система уровней называется **КОНТАКТНОЙ**.

Поверки нивелира 2Н-10Л

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Эта поверка выполняется аналогично такой же поверке теодолита: уровень располагают параллельно двум подъемным винтам и при помощи последних пузырек уровня выводят на середину в нуль - пункт. После этого трубу поворачивают на 90° и пузырек выводят в нуль пункт третьим винтом. Затем

трубу поворачивают на 180°. Если пузырек сместился с середины, то его передвигают на половину дуги смещения с помощью исправительных винтов уровня, а на другую половину пузырек перемещают подъемными винтами подставки.

2. При нивелировании необходимо, чтобы горизонтальная нить сетки нитей была перпендикулярна к оси вращения инструмента. Поверка производится в следующем порядке.

На расстоянии 20—30 м от нивелира на забитый в землю кол устанавливают нивелирную рейку. Наводят трубу нивелира на рейку так, чтобы изображение рейки оказалось с края поля зрения трубы. Берут отсчет по рейке и затем поворачивают трубу в горизонтальной плоскости до тех пор, пока изображение рейки не перейдет на другую сторону поля зрения. Берут еще один отсчет. Если отсчеты окажутся равными, то условие выполнено; если отсчеты будут различными, то условие не соблюдено.

Исправление осуществляется поворотом сетки нитей до тех пор, пока отсчеты по концам горизонтальной нити не будут равны.

3. Основным условием нивелира является параллельность визирной оси трубы и оси уровня. Это условие проверяется двойным нивелированием следующим образом. На местности на расстоянии 30-40 м друг от друга забивают в землю два колышка A и B . Над точкой A устанавливают нивелир, а над точкой B - рейку. При помощи миллиметровой рулетки измеряют высоту инструмента i_1 и берут отсчет по рейке a_1 , который равен сумме истинного отсчета a'_1 и погрешности x за счет не параллельности оси визирования нивелира и оси уровня.

После этого аналогичные действия проводят, когда нивелир установлен над точкой B , а рейка - над точкой A . Получают значения i_2 и a_2 . Выражают превышение h точек A и B через эти данные:

$$h = i_1 + x - a_1;$$

$$h = a_2 - i_2 - x,$$

$$\text{отсюда } i_1 + x - a_1 = a_2 - i_2 - x$$

$$\text{и } x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (\text{XI.6})$$

Теперь, зная x , определяем истинный отсчет $a'_2 = a_2 - x$, когда визирная ось нивелира горизонтальна.

Исправления производят, если $x > \pm 4$ мм. Действуя элевационным винтом, устанавливают горизонтальную нить на этот отсчет. После этого вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня добиваются совмещения изображений концов пузырька.

Нивелир с компенсатором Н-10КЛ. В настоящее время используются нивелиры с самоустанавливающимися в горизонтальное положение визирными осями. Эти нивелиры удобно применять на неустойчивых грунтах.

Нивелир Н-10КЛ предназначен для определения превышений при выполнении технического нивелирования. Применяется для обоснования топографических съемок, при инженерно-геодезических измерениях, в строительстве. Нивелир состоит из нижней неподвижной и верхней части, имеющей возможность вращаться относительно нижней.

Нижняя часть — подставка с тремя подъемными винтами и пластинкой и втулкой, служащей для закрепления нивелира на штативе при помощи станкового винта.

На подставке имеется горизонтальный лимб. В верхнюю часть вмонтирована зрительная труба с встроенным компенсатором углов наклона. Верхняя часть имеет, кроме того, вертикальную ось вращения и несет на себе установочный уровень.

Компенсатором является прямоугольная призма, подвешенная на подшипниках. Фокусировка зрительной трубы, имеющей увеличение $20\times$, осуществляется перемещением призмы компенсатора вдоль оптической оси зрительной трубы при помощи головки.

Наведение, трубы на рейку производится поворотом от руки верхней части нивелира. Диапазон работы компенсатора $\pm 20''$.

Поверки нивелира Н-10КЛ

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

2. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.

Эти две поверки производятся так же, как первые две поверки нивелира 2Н-10Л.

3. Линия визирования должна быть горизонтальна в пределах рабочих углов компенсатора ($\pm 20'$).

Прежде чем производить эту поверку, необходимо исследовать правильность работы компенсатора. Для этого нивелир по круглому уровню подъемными винтами выводят в рабочее положение. На расстоянии 70-80 м по направлению одного из подъемных винтов на забитый в землю кол устанавливают рейку. Вращением подъемного винта вначале в одном, а затем в противоположном направлении наклоняют трубу в пределах $\pm 20'$ и берут отсчеты по рейке. Все отсчеты должны быть одинаковыми. Если отсчеты меняются, то исправление может быть выполнено опытным механиком в условиях мастерской.

После этого поверку третьего условия производят в следующем порядке. Устанавливают две рейки на расстоянии 100 м друг от друга и несколько раз определяют превышение между ними нивелированием из середины. Находят среднее значение превышения. Затем устанавливают нивелир на расстоянии около 10 м от одной из реек и снова определяют превышение. Если оно будет отличаться от превышения, полученного из середины, не более чем на 1-2 мм, то можно считать, что линия визирования занимает горизонтальное положение с достаточной точностью. В противном случае необходимо перемещением сетки нитей исправить отсчет на рейке, находящейся на далеком расстоянии, так, чтобы получилось такое же превышение, какое было получено при нивелировании из середины.

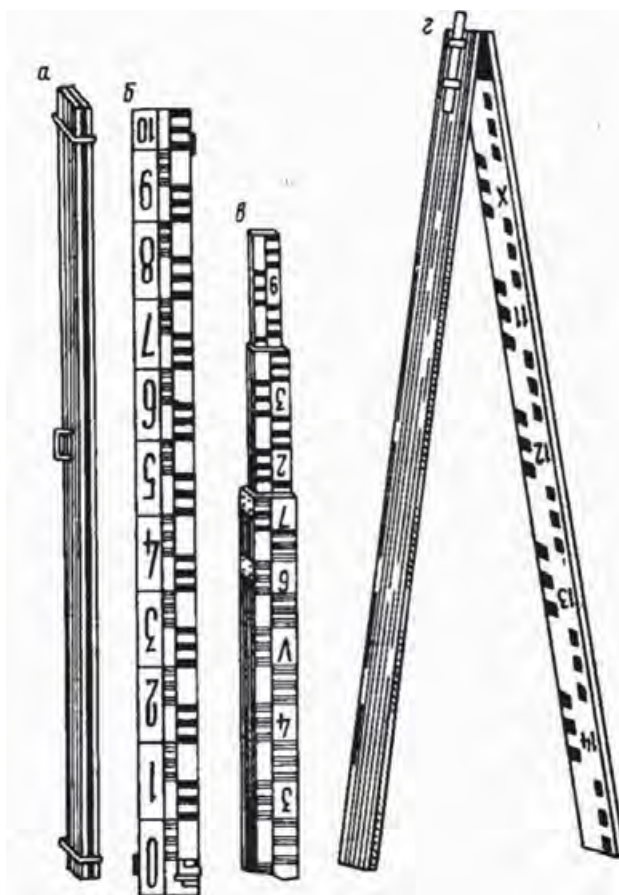


Рис. 107. Нивелирные рейки

§ 72. Нивелирные рейки

Для технического нивелирования применяют деревянные рейки, представляющие собой бруски длиной 3-4 м, шириной 10 см и толщиной 2-3 см. Для изготовления нивелирных реек применяется выдержанная древесина. Бруски окрашиваются белой масляной краской и на них наносятся сантиметровые шашечные деления (рис.107, б). Каждый дециметр подписывается, а сантиметровые деления для облегчения отсчета объединяют в группы по 5 см. Величина наименьшего деления рейки называется ценой деления рейки. Наибольшая длина цельной рейки (из одного бруска) равна 3 м.

Для увеличения длины реек их делают раздвижными (рис.107, а), складными (рис.107, г) или раздвижными телескопическими (рис.107, в). На нижнюю часть рейки набивается стальная пластинка-пятка, предохраняющая рейку от быстрого изнашивания.

Рейки могут быть односторонними или двусторонними. В последнем случае одна сторона имеет черные деления, другая красные. Соответственно стороны рейки называются черной и красной. На черной стороне отсчет, соответствующий нулю, совпадает с пяткой рейки, а на красной стороне отсчет, соответствующий пятке, не равен нулю.

Перед началом работ рейки следует проверить. Для этого рейку укладывают горизонтально и, положив на нее контрольный метр, измеряют отдельные дециметры и метры. Случайные погрешности в дециметровых делениях не должны превышать ± 1 мм, а погрешность в длине всей рейки должна быть не более ± 2 мм.

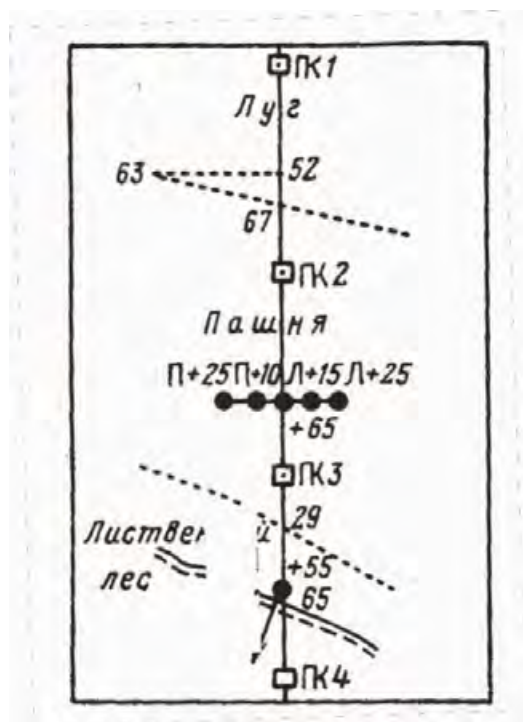


Рис. 108. Страница пикетажной книжки

это значит, что она находится между 7-м и 8-м пикетами на расстоянии 35 м от 7-го пикета. В вершинах углов поворота трассы устанавливают столбы с крестовиной и полочкой, которая обращена внутрь угла. На вертикальной стенке над полочкой пишут номер точки.

Когда магистраль прокладывается для съемки и нивелирования полосы земли, одновременно производится закрепление поперечников, для чего в нужных местах строят (обычно при помощи экера) линии, пересекающие ось трассы под прямым углом. На линиях поперечников в точках перегиба поверхности земли забивают колышки, на которых надписывают расстояния от оси трассы с буквой Л или П в зависимости от того, с какой стороны от оси трассы находится точка относительно наблюдателя, смотрящего по направлению хода трассы. Попутно с разбивкой пикетажа ведется съемка полосы местности по 50 м в обе стороны от оси трассы. В пределах 25 м по обе стороны ведется инструментальная съемка (обычно методом перпендикуляров), а от 25 до 50 м - глазомерная. Одновременно с разбивкой пикетажа и съемкой полосы ведется абрис в особой тетради с твердой обложкой, называемой **пикетажной книжкой** (рис.108). В пикетажную книжку заносят результаты съемки полосы местности, результаты соответствующих промеров с целью съемки, все точки пересечения трассы дорогами, ручьями и другими контурами.

На страницах пикетажной книжки стрелками отмечают углы поворотов трассы, которую показывают прямой линией. При переходе на следующую страницу ее начинают с того пикета, которым была закончена предыдущая страница.

Нивелирование трассы. Нивелирование начинают с привязки трассы к реперу или марке государственной высотной сети. Если трасса в каком-либо месте проходит мимо государственного репера или марки, то она в этом месте должна быть привязана. Для осуществления надежного контроля конечную точку трассы привязывают к опорной точке одним из возможных способов. Если же трасса, опирается на государственную нивелирную сеть только одним концом, то нивелирование проводят в два нивелира или прямым и обратным ходом.

Для контроля на каждой станции берется по две пары отсчетов. Вторая пара отсчетов берется после изменения высоты инструмента и выведения его в горизонтальное положение, если рейки односторонние. При нивелировании с двусторонними рейками вторая пара отсчетов берется по красным сторонам реек при том же горизонте инструмента.

В табл.12 приведен образец журнала нивелирования трассы при применении двусторонних реек.

Рассмотрим подробнее порядок работы на станции при нивелировании трассы инженерного сооружения (рис.109). Примерно на одинаковых расстояниях от связующих точек *Rio* и пикета № 0

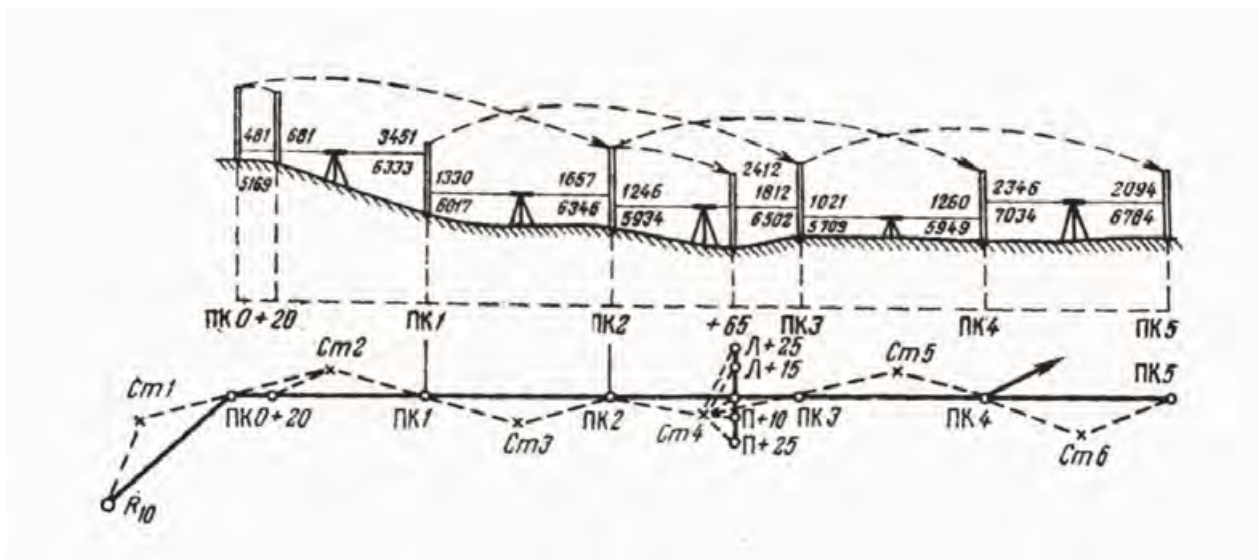


Рис. 109. Схема нивелирования трассы

устанавливают нивелир, а на связующих точках - рейки (двусторонние). Инструмент приводят в рабочее положение, наводят трубу на заднюю точку и по черной стороне берут отсчет 615 (1) (табл.12), наводят трубу на переднюю точку и берут по черной стороне отсчет 1645 (2). Записи отсчетов заносят в журнал нивелирования. После этого реечники поворачивают рейки красными сторонами к наблюдателю, и он делает отсчеты 6333 (3) и 5304 (4). Разности черных 615—1645=1030 (5) и красных отсчетов 5304—6333=1029 (6) не должны расходиться более чем на ± 4 мм. В графу 7 вписывается среднее из превышений - 1030 мм с округлением до 1 мм.

Затем задний реечник переходит на пикет № 1, а техник-наблюдатель на Ст 2, а реечник, стоящий на пикете № 0, поворачивает рейку черной стороной к нивелиру. После приведения нивелира в горизонтальное положение берут отсчеты по черным сторонам рейки: назад 481 (7) и вперед 3451 (8). Рейки поворачивают красными сторонами к наблюдателю, и он берет отсчеты 8138 (9) и 5169 (10). После этого вычисляют превышение по черным 481—3451=2970 и по красным отсчетам 5169—8138=2969 и, убедившись, что расхождение не превышает ± 4 мм, выводят среднее превышение—2970, которое записывают в графу 7. Далее реечник, стоящий на пикете №0, переходит на плюсовую точку +20 и устанавливает на ней рейку черной стороной к нивелиру, по которой наблюдатель делает отсчет 681 (11). Реечник с промежуточной точки +20 переходит на пикет № 2, наблюдатель переносит нивелир на Ст 3, а реечник на пикете № 1 поворачивает черную сторону рейки к наблюдателю и т.д.

Работа на каждой станции заканчивается вычислением превышений и занесением их в графу 7 табл.12. Наблюдатель покидает станцию, убедившись в правильности отсчетов и вычислений.

При нивелировании на крутых скатах может оказаться, что превышения между пикетами настолько велики, что с одной установки нивелира не могут быть измерены. В таких случаях кроме пикетов приходится вводить дополнительные связующие точки, которые не являются характерными с точки зрения рельефа, и поэтому нет необходимости знать их плановое положение на трассе. Они необходимы лишь для определения превышения между пикетами трассы, их обычно называют **ИКСОВЫМИ ТОЧКАМИ**.

Для иксовой точки можно использовать устойчивый местный предмет или кол, временно забиваемый в землю. В этих случаях превышение определяется с двух установок инструмента, как сумма превышений, например, между пикетом № 16 и № 16+х и пикетом № 17. В некоторых случаях на особенно крутых скатах между соседними пикетами приходится делать более двух установок нивелира, в соответствии с чем делают несколько иксовых точек.

Нивелирование поперечников. Нивелирование поперечников может производиться отдельно от нивелирования оси трассы (если поперечников много) или совместно с ним.

Пусть в точке ПК 2+65 разбит поперечник. Устанавливают нивелир на Ст 4 при одном положении трубы, если рейки односторонние, или по одной черной стороне рейки, если они двусторонние, берут отсчеты по рейке, устанавливаемой на все точки поперечника, в том числе и на промежуточную точку ПК 2+65, которая явится задней для вычисления отметок точек поперечника.

В табл.13 приведен порядок записей в журнале при нивелировании поперечников.

При сложном рельефе нивелирование вдоль поперечника может осуществляться с нескольких установок нивелира.

Нивелирование площадей. На ровной открытой местности при помощи нивелирования можно быстро и точно снять рельеф данного участка. Нивелирование, выполняемое для съемки рельефа на всей площади участка местности, называется нивелированием площади.

Наиболее распространенным видом нивелирования площадей является нивелирование по сетке квадратов. Для этого при помощи теодолита участок разбивают на квадраты со сторонами 100 м. Углы квадратов закрепляют прочными кольями. Затем стороны квадратов разбивают на отрезки по 10-20 м. Провешивая линии, соединяющие концы отрезков на противоположных сторонах квадратов, разбивают большие квадраты на

Таблица 1

Номер станции	Номер пикета и плюсовой точки	Отчеты по рейкам, мм			Превышение, мм	Среднее превышение, мм	Горизонт инструмента, м	Абсолютная отметка, м	Условная профильная отметка, м
		задние	передние	промежуточные					
1	R ₁₀	615 (1)			-1030 (5)			153.611	53.61
		5304 (4)				-1030			
	0		1645 (2)					152.581	52.58
			6333 (3)		-1029 (5)				
2	0	481 (7)			-2970		153.062	152.581	52.58
		5169 (10)							
	+20			681 (11)		-2970		152.581	52.58
	1		3451 (8)					149.611	49.61
			8138 (9)		-2969				
3	1	1330			-327			149.611	49.61
		6017							
	2		1657			-328		149.283	49.28
			6346		-329				
	2	1246			-566		150.529	149.283	49.28
		5934							
4	+65			2412		-567		148.117	48.12
			1812					148.716	48.72
	3		6502		-568				
	3	1021						148.716	48.72
5		5709							
	4		1260		-239			148.476	48.48
			5949		-240	-240			
	4	2346						148.476	48.48
6		7034							
	5		2094		+252			148.727	48.73
			6784		+250	+251			
		42206	51971		-10267	-5135		-4884	
					+502	+251			
		42206-51971=-9765			-9765:2 = -4884	4884			

меньшие со сторонами 10—20 м. Углы малых квадратов закрепляют кольшками и подписывают номер кольшка по вертикальному и горизонтальному рядам в виде дроби, например $\frac{2}{3}$, $\frac{3}{3}$ и т. д. Передачу при помощи продольного нивелирования высотную отметку на одну из вершин квадратов, устанавливают нивелир и, взяв задний отсчет на эту точку, ставят рейку поочередно на все углы квадратов и берут отсчеты.

Вычисленные отметки обычно записывают на плане сетки квадратов. По полученным отметкам проводят горизонтالي и получают рельеф участка в горизонталях. Промерами от вершин квадратов можно снять и ситуацию участка. Нивелирование по сетке квадратов широко применяется на открытых горных разработках для определения объема выемки, при строительстве - для планирования строительной площадки и др.

Таблица 2

Номер станции	Номер точки	Отчеты по рейке					Превышение, м	Горизонт инструмента, м	Абсолютная отметка	Условные профильные отметки
		читанный		средний						
		задний	передний	промежуточ ный	задний	передний				
Поперечник на пикете				2+65						
	Л+25			957					149,478	
4	Л+25			1265					149,170	
	ПК2+65	2318						150,435	148,117	
	ПК+10			2153					148,282	
	П-25			2322					147,213	

§ 74. Камеральная обработка полевых измерений

Вычислительные работы. Камеральная обработка нивелирования начинается с тщательного просмотра всех записей, вычислений в полевых журналах и с постраничного контроля в две руки. После того как постраничный контроль сделан, приступают к вычислению невязки хода.

Постраничный контроль (см. табл.1 гл.XI) заключается в том, что на каждой странице подсчитывают суммы отсчетов граф 3, 4 и алгебраические суммы граф 6 и 7. Очевидно, что полуразность сумм $\sum_3 - \sum_4$ должна равняться полусумме $\sum_6$ и одновременно должна равняться алгебраической сумме $\sum_7$:

$$(\sum_3 - \sum_4) / 2 = \sum_6 / 2 = \sum_7.$$

После выполнения постраничного контроля приступают к вычислению невязки хода. Если нивелирный ход проложен между твердыми высотными геодезическими точками - реперами, то сумма превышений $\sum h$, полученная из нивелирования, должна быть равна разности отметок $H_n - H_1$ конечного R_n и начального R_1 реперов

$$\sum h = H_n - H_1.$$

(XI.7)

Невязка в этом случае

$$f_n = \sum h - (H_n - H_1).$$

(XI.8)

Если нивелирование хода проводилось двумя нивелирами, то сумма превышений $\sum h_1$, полученных первым нивелиром, должна равняться сумме превышений $\sum h_2$ второго нивелира, т. е. $\sum h_1 = \sum h_2$ и, следовательно, невязка

$$f_h = \sum h_1 - \sum h_2.$$

Если нивелирование проводилось прямым и обратным ходами, то сумма превышений прямого хода $\sum_{np} h$ должна равняться сумме превышений обратного $\sum_{обр} h$ по абсолютной величине, но с обратным знаком, т.е.

$$\sum_{np} h = -\sum_{обр} h.$$

При замкнутом нивелирном ходе сумма превышений должна равняться нулю ($\sum h = 0$) и, следовательно, невязка хода

$$f_h = \sum h.$$

Невязки f_h во всех случаях должны быть подсчитаны непосредственно по окончании полевых работ, с тем чтобы сразу же выяснить допустимы они или нет, и если окажутся недопустимыми, то необходимо переделать работу.

При техническом нивелировании допустимая невязка (мм) не должна превышать

$$\Delta h = \pm 50\sqrt{L},$$

где L — длина хода, км.

Увязка нивелирного хода и вычисление отметок. Увязка нивелирного хода состоит в распределении допустимой невязки на все превышения поровну с обратным знаком. Если нивелирование было проведено в прямом и обратном направлениях или в два нивелира, то допустимая невязка делится пополам и ее половина равномерно распределяется на все превышения прямого хода с обратным знаком и округлением до миллиметров.

При увязке нивелирных ходов, пройденных между твердыми точками, и увязке замкнутых ходов невязку с обратным знаком распределяют поровну на каждое превышение хода с округлением до 1 мм.

В тех случаях, когда поправки на превышение оказываются меньше 1 мм, их вводят через одно или через два в третье превышение, но с таким условием, чтобы сумма поправок равнялась невязке с обратным знаком.

После того как превышения увязаны, приступают к вычислению отметок связующих (пикетных и иксовых) точек по формуле

$$H_i = H_{i-1} + h,$$

где H_i — вычисляемая отметка; H_{i-1} — отметка предыдущей точки; h — увязанное превышение между точками.

Проверка правильности вычислений отметок осуществляется по выражению

$$H_n - H_0 = \sum h_{увяз},$$

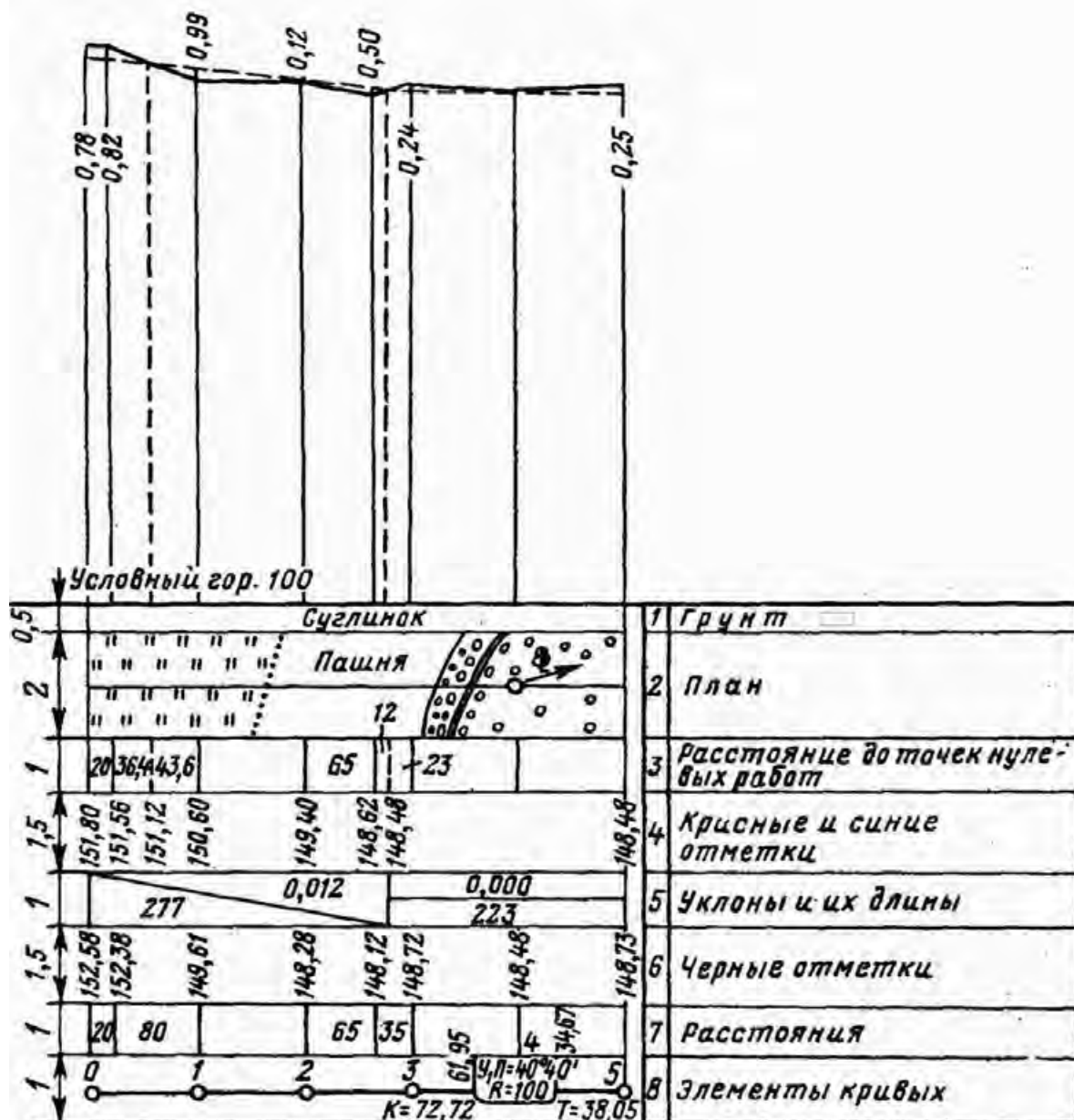
т.е. на каждой странице разность между отметкой последнего на странице пикета и первого должна быть равна сумме увязанных превышений. В табл.12 сумма средних превышений равна -4884 и разность $H_5 - H_{10} = -4884$.

После определения высот всех связующих точек приступают к вычислению горизонтов инструмента только для тех станций, на которых имеются промежуточные (плюсовые) точки и поперечники. В (табл.1 гл.XI) такими станциями являются 2 и 4. Горизонт инструмента находят по формуле

$$ГИ = H_A + a,$$

где a — отсчет по черной стороне задней рейки.

Рис. 110. Профиль трассы (размеры показаны в метрах)



Например, горизонт инструмента станции 2 $ГИ_2=152,581+0,481=153,062$, а станции 4 $ГИ_4 = 149,283+1,246=150,529$ м. Зная горизонт инструмента, легко вычислить отметки промежуточных точек:

$$H_{пр} = ГИ - c.$$

Аналогично через горизонт инструмента вычислялись отметки точек поперечника ПК 2+65 (см. табл.2 гл.XI).

Составление продольного профиля. Работа по составлению продольного профиля трассы состоит из построения фактического профиля и построения проектной (красной) линии. **Фактическим профилем** называется профиль трассы, построенный по отметкам точек, полученным непосредственно в поле, и поэтому отражающий положение в момент нивелирования. Все линии и подписи профиля выполняются черной тушью.

Проектной или красной линией называется тот профиль оси трассы, который она должна приобрести после производства земляных работ. Все линии и записи, относящиеся к проектной линии, выполняются красной тушью.

Построение фактического профиля начинается с выбора горизонтального и вертикального масштабов и отметки условного горизонта. Горизонтальный масштаб профиля выбирается с учетом рельефа местности в зависимости от точности проектирования. При дорожных изысканиях в равнинной местности горизонтальный масштаб принимают равным 1:10000, в холмистой - 1:5 000, а в гористой - 1:2000. Чтобы изменения рельефа были видны отчетливее, при построении профиля вертикальный масштаб берется в 10 раз крупнее горизонтального.

Условный горизонт должен быть выбран так, чтобы линия профиля нигде его не пересекала, и чтобы в среднем профиль был расположен выше над линией горизонта на 8-10 см. Отметка условного горизонта должна быть кратна 10 м. В нашем примере (рис.110) за условный горизонт принята линия с отметкой 100 м.

Профиль вычерчивают на миллиметровой бумаге. Линию условного горизонта проводят с таким расчетом, чтобы под ней можно было расположить те построения, которые показаны на рис.110. Эти построения называются **сеткой профиля**. Назначение линий и полос сетки профиля определяется подписями, расположенными справа. Вертикальные размеры полос сетки показаны в сантиметрах слева.

После проведения линии горизонта и всех линий сетки профиля на линии горизонта в масштабе 1:5000 откладывают пикеты и промежуточные точки. В каждой из полученных точек восстанавливают перпендикуляр к линии условного горизонта, на котором откладывают в вертикальном масштабе (1:500) профильную отметку, равную разности отметки точки и условного горизонта с округлением до сантиметров. Перпендикуляры и соответствующие им вертикальные линии в полосах сетки 3 и 7 проводят черной тушью. В полосе 7 в тех местах, где имеются промежуточные точки, делают записи расстояний от заднего и от переднего пикетов до данной промежуточной точки в метрах.

Например, в интервале от нулевого пикета до пикета № 1 такими расстояниями будут 20 и 80 м, а от № 2 до № 3 - 65 и 35 м. Сумма таких расстояний должна равняться 100 м, т. е. расстоянию между связующими точками. Под полосой 7 подписывают номера пикетов. В полосе 6 подписывают абсолютные отметки, округленные до 1 см. Все эти линии и надписи делаются черной тушью. Концы перпендикуляров, равных профильным отметкам в масштабе 1:500, восстанавливаем к линии условного горизонта и соединяем прямыми черными линиями. Образовавшаяся ломаная линия будет черным профилем.

После этого в полосе 2 сетки в соответствии с пикетажной книжкой составляется план трассы в горизонтальном масштабе профиля (1:5000). При этом спрямленная ось трассы наносится красной линией, а все контуры - черной. На оси трассы пикеты и промежуточные точки не показывают.

Контуры на плане трассы изображают общепринятыми для данного масштаба условными топографическими знаками. В полосе 1 сетки профиля делают черной тушью надписи, указывающие характер грунта.

При проектировании красной линии рассматривается несколько вариантов и выбирается наиболее целесообразный. Поэтому проектирование ведется карандашом на вычерченном тушью фактическом профиле. После того как выбран вариант проектной линии, она вычерчивается красной тушью. На рис.110 красная линия, в отличие от черной, показана пунктиром. При проектировании красной линии на профиле приходится решать такие задачи, как определения уклонов и отметок красной линии, расстояний до точек пересечения красной линии с черной и отметок этих точек.

Рассмотрим порядок решения этих задач и последовательность проектирования красной линии.

Определение уклона красной линии. Определив графически по профилю разность отметок h начала и конца данного уклона в метрах, разделив ее на горизонтальное проложение d этого уклона в метрах, снятое с профиля, получим уклон

$$i = \text{tg} \alpha = h/d.$$

В нашем примере (см. рис. 67) $h=3,3$ м, $d=277$ м, поэтому

$$i = \operatorname{tg} \nu = h / d = 3,3 / 277 = 0,012 .$$

(XI.10)

Концы отдельных уклонов и горизонтальных площадок проектируются красной тушью в полосу S сетки и на соответствующем участке полосы проводится или диагональ, показывающая направление падения (восстания) уклона, или горизонтальная линия, показывающая горизонтальную площадку. Над диагональю выписывается уклон до тысячных долей, а под ней - длина уклона в метрах. Все эти линии и надписи делаются красной тушью.

Вычисление проектных отметок. Для каждого пикета и каждой плюсовой точки кроме отметок фактического профиля нужно знать отметку проектной линии. В соответствии с выражением (X.10) разность отметок проектной линии $h=id$.

Зная проектную отметку начальной точки H_k^0 , получаем

$$H_k^n = H_k^0 + id_n,$$

где H_k^n - проектная отметка n -й точки; d_n - горизонтальное проложение от начальной до n -й точки.

В нашем примере $i=0,012$, а горизонтальные проложения d соответственно 20; 100; 200; 265 и 277 м и поэтому превышения будут:

$$h_{0-20} = 0,012 \cdot 20 = 0,24; \quad h_{N1} = 0,012 \cdot 100 = 1,20;$$

$$h_{N2} = 0,012 \cdot 200 = 2,40; \quad h_{N2+65} = 0,012 \cdot 265 = 3,18;$$

$$h_{N2+77} = 0,012 \cdot 277 = 3,32.$$

Вычитая эти превышения из проектной отметки нулевого пикета $H_k^0=151,80$, получаем проектные отметки всех точек. Очевидно, что отметки горизонтального участка проектной линии будут везде равны отметке начала этого участка, т. е. 148,48 м. Проектные отметки выписываются в полосу 4 против соответствующих фактических отметок.

Рабочими отметками называются разности фактических и проектных отметок одной и той же точки. Они определяют глубину выемки или высоту насыпи в данной точке. Это наиболее важные цифры для производителя земляных работ. Рабочие отметки выписывают красной тушью с точностью до 1 см. Если рабочая отметка характеризует выемку, то она записывается под профильной линией, например: 0,78; 0,82; 0,24 и 0,25. Если же рабочая отметка относится к насыпи, то она записывается над профильной линией, например: 0,99; 0,12 и 0,50.

Точки нулевых работ. Пересечения красной линии с черной называются точками нулевых работ. В этих точках не надо производить земляных работ, так как рабочие отметки в них равны нулю. Положение их на трассе нужно знать с точностью до десятой доли метра, так как именно от них начинают вести земляные работы. Отметки точек нулевых работ выписывают в полосу красных отметок синей тушью.

Модуль VI

Глава 12. ПОНЯТИЯ О ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ, МЕНЗУЛЬНОЙ И ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКАХ

§ 75. Тахеометрическая съемка

Топографическими называются такие съемки, в которых одновременно с контурной частью плана снимают рельеф. Типичными топографическими съемками являются тахеометрическая и мензульная. Тахеометрия в переводе на русский язык дословно означает «скороизмерение». При тахеометрической съемке горизонтальная и вертикальная съемки выполняются одновременно круговым тахеометром - техническим теодолитом с вертикальным кругом.

Плановое положение точек определяется измерением горизонтального угла и расстояния (рис.111), а отметки - тригонометрическим нивелированием, т. е. измерением при помощи вертикального круга вертикального угла v . Расстояние при тахеометрической съемке измеряется дальномером. По специальным тахеометрическим таблицам, используя результаты измерений, вычисляют горизонтальное проложение и превышение точки и по полученным данным наносят точку полярным способом. Тахеометрическую съемку применяют на местности с хорошо выраженными формами рельефа и со средней сложностью контуров.

Тригонометрическое нивелирование. Определение превышения $h=BC$ между точками: A и B тригонометрическим или геодезическим нивелированием производится на основании следующих соображений (рис.112).

Над точкой A установлен круговой тахеометр, а в точке B - рейка BE . Высота оси вращения трубы AO над точкой A называется **высотой инструмента** и обозначается буквой i , а длина рейки обозначается через v . Измеряя при помощи вертикального круга тахеометра угол наклона v линии OE и зная горизонтальное проложение d линии OE , получаем, что

$$DE = dtgv.$$

Из рис.112 следует, что $h+v=d tg v + i$; отсюда превышение

$$h=dtgv + i -v$$

(XII.1)

Первый член этого равенства $dtgv$ может быть найден по таблицам высот. Если $i=v$, то выражение (XII. 1) принимает вид

$$h = d tg v.$$

(XII.2)

Так как формула (XII.2) проще, чем формула (XII. 1), при съемке на рейке заранее отмечают высоту инструмента тесемкой или шнурком и при измерении вертикального угла наводят горизонтальную нить не наверх рейки, а на высоту инструмента.

При производстве тахеометрической съемки приходится вычислять много превышений точек, расстояния до которых измерены при помощи дальномера. Поэтому применение формулы тригонометрического нивелирования $h=dtgv$ неудобно, так как требует знания горизонтального проложения. Подставляя в это выражение значение d из формулы (X.15), получаем формулу, определяющую превышение через расстояние, измеренное дальномером, и угол наклона v :

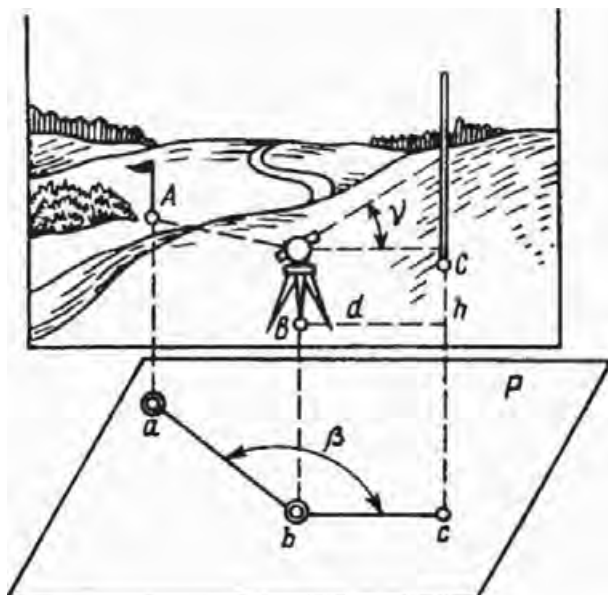


Рис. 111. Схема тахеометрической съемки

$$h = L \cos^2 v \operatorname{tg} v = L \sin v \cos v = \frac{L}{2} \sin 2v,$$

(XII.3)

где L — расстояние, измеренное дальномером, полученное наклонным лучом визирования непосредственно через отсчет по вертикальной рейке.

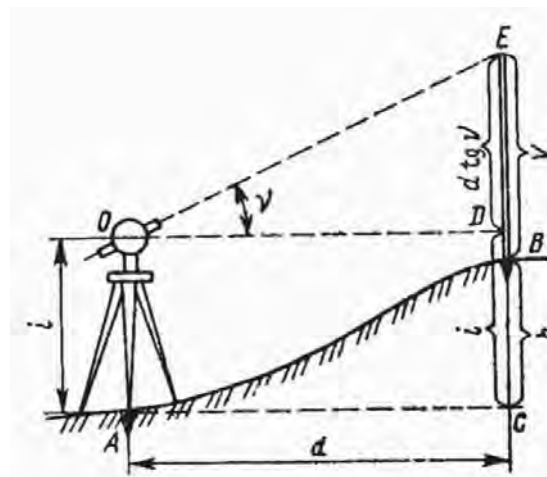


Рис. 112. Схема тригонометрического нивелирования

Вычисление превышений по формулам (XII.2) и (XII.3) ведется при помощи специальных таблиц превышений, из которых превышения выбираются по углу наклона и горизонтальному (дальномерному) расстоянию или при помощи вычислительных машин.

Таблица 1

Наблюдательная точка	Отсчет по горизонтальному у кругу	Расстояние L	Отсчеты по вертикальному кругу	Угол наклона $\pm v$	$D = L \cos^2 v, м$	$\pm h, м$	Отметка $H, м$	Примечание
Станция №1								
Лимб ориентирован на точку А при круге справа по дирекционному углу $A=241^{\circ}13'$, $H=176,16 м$, $MO=0^{\circ}00',5$.								
А	$61^{\circ}14'$		$358^{\circ}38'$	$0^{\circ}00',5$				
П	318 50		0 35	0 00 ,5				
			КП					
А	$241^{\circ}13'$	139,2	$1^{\circ}23'$	$+1^{\circ}22',5$	139,2	+3,31	-	
П	138 51	105,6	359 26	-0,34 ,5	105,6	-1,05	-	
1	17 05	53,1	359 35	-0,25 ,5	53,1	-0,38	175,78	Тропинка
2	42 15	72,0	357 00	-3 00,5	71,9	-3,76	172,40	Граница
3	103 26	39,1	356 56	-3 04, 5	39,0	-2,08	174,08	огорода
4	144 11	356 59	-3 01 ,5	3 01 ,5	53,8	-2,83	173,33	То же
	53,9							То же
5	198 35	26,2	0 53	+0 52 ,5	26,2	+0,39	176,55	Тропинка
6	206 30	47,8	0 31	+0 30 ,5	47,8	+0,42	176,58	То же

7	284 19	45,0	1 36	+1 35,5	45,0	+1,25	177,41	То же
---	--------	------	------	---------	------	-------	--------	-------

В последнее время при производстве тахеометрической съемки все чаще применяют тахеометры - автоматы, позволяющие отсчитывать по вертикальной рейке горизонтальные проложения линий и превышения. К этим типам тахеометров относятся отечественный тахеометр ТА-2 и тахеометр производства Германии - Дальта 020.

Применение этих приборов значительно облегчает полевые и камеральные работы, так как отпадает необходимость измерять вертикальные углы и вычислять превышения и горизонтальные проложения.

Производство тахеометрической съемки подробностей.

Съемка ведется с точек съёмочного обоснования в следующей последовательности. Над точкой центрируется тахеометр. Лимб его ориентируют, так чтобы при наведении зрительной трубы на вторую твердую точку при круге справа отсчет по горизонтальному кругу равнялся дирекционному углу этой твердой линии. Для этого алидада горизонтального круга устанавливается на отсчет, равный этому дирекционному углу. Движением лимба визирная ось трубы наводится на вторую твердую точку. В этом случае нуль лимба будет ориентирован по оси x . Поэтому, если съемка подробностей ведется при круге справа, то отсчеты по горизонтальному кругу сразу дают дирекционные углы направлений на съёмочные точки.

В тех случаях, когда съемка подробностей ведется с точек теодолитных ходов, иногда лимб ориентируют не относительно оси x , а по направлению линии теодолитного хода (обычно по линии на заднюю точку), т.е. отсчет по лимбу на заднюю точку будет равен $0^{\circ}00'$. Тогда отсчеты по микроскопу горизонтального круга дают угол между твердым направлением (линией теодолитного хода) и направлением на данную съёмочную точку. Перед началом съемки необходимо определить место нуля (МО).

Для съемки подробностей рейку устанавливают на характерных точках контуров и рельефа местности. Съемка точки сводится к наведению вертикальной нити на середину рейки, установленной на съёмочной точке, отсчету по дальномётным нитям расстояния, наведению наводящим винтом средней горизонтальной нити на высоту инструмента, отсчитыванию по горизонтальному и вертикальному кругам.

В (табл.1 гл XII) приведен образец журнала тахеометрической съемки. Точки, на которые устанавливают рейку для съемки подробностей, называются **ПИКЕТАМИ**. Нужно стремиться выбирать пикеты с таким расчетом, чтобы набрать минимальное, но достаточное для полной характеристики местности число пикетов. Пикеты при однообразных скатах и ясно выраженном рельефе местности выбираются не реже чем через 30 м при съемке в масштабе 1:2000.

В процессе съемки одновременно с полевым журналом ведутся абрис. Так как составление плана тахеометрической съемки производится в камеральных условиях, т.е. когда исполнитель не видит перед собой местности, ведение абриса имеет важное значение. Абрис должен давать исчерпывающее представление о снимаемом участке местности, как с точки зрения ситуации, так и с точки зрения рельефа. На нем наносятся все пикетные точки и по ним контуры угодий, местных предметов. Стрелками указывают направления скатов, а условными горизонталями - отдельные ярко выраженные формы рельефа. Лучше всего абрис вести для каждой станции по специальным круговым диаграммам (рис.113), сброшюрованным в тетрадь с твердой обложкой.

Диаграмма представляет собой ряд концентрических окружностей, определяющих удаление от станции пикетных точек, и ряд радиусов, проведенных через 10° , позволяющих откладывать дирекционные углы линий, или углы, составленные данными линиями с твердой линией. Центр концентрических окружностей определяет положение станции. На абрисе наносят все пикетные точки по их полярным координатам: азимуту a и расстоянию d от станции до пикета.

Составление плана тахеометрической съемки начинается с разбивки координатной сетки и нанесения по координатам точек геодезической основы и рабочего обоснования. После проверки по горизонтальным проложениям правильности нанесения опорных точек приступают к нанесению на план точек съемок подробностей.

Таблица 2

Масштаб съемки	Расстояние до пикетов, м	
	высотных	контурных и высотно-контурных
1:5000	250	150
1:2000	200	100
1:1000	150	80

Точки ситуации и рельефа наносят при помощи металлического транспортира или транспортира-квадранта (рис.114). Для этого транспортир-квадрант укрепляют на станции и располагают так, чтобы отсчет, соответствующий дирекционному углу линии, совпал с направлением оси x , заранее проведенной через станцию. Затем вдоль шкалы нулевого радиуса откладывают горизонтальное проложение и накалывают точку пикета. Около пикета подписывают карандашом в знаменателе его номер, а в числителе - отметку с точностью до 0,1 м данного пикета. На рис.114 показан пример нанесения первого пикета из табл.1 главы XII.

Если лимб тахеометра ориентирован по твердой линии, то транспортир-квадрант устанавливают так, чтобы отсчет на круговом транспортире против твердой линии соответствовал отсчету по первому верньеру горизонтального круга при наблюдении данного пикета.

После нанесения всех пикетов данной станции, руководствуясь кроки и примечаниями полевого журнала, строят контуры, а затем путем интерполирования по отметкам пикетов проводят горизонтали.

После построения плана в карандаше и тщательной его корректуры приступают к вычерчиванию тушью. Вначале вычерчивают все подписи, находящиеся в пределах координатной рамки, затем все контуры и условные знаки и жженой сиеной - горизонтали и другие условные знаки рельефа.

§ 76. Мензуральная съемка

Основным отличием мензульной съемки от остальных инструментальных съемок является то, что в процессе производства измерений непосредственно в поле получается полный топографический план, вычерченный карандашом. Достигается это при помощи мензулы и кипрегеля. Кипрегель отличается от кругового тахеометра тем, что отсутствует горизонтальный круг и вместо алидады имеется линейка, являющаяся его основанием.

Основной частью мензулы служит квадратная доска размером 60х60х3 см, называемая планшетом. На бумаге, наклеенной на планшет, производится построение плана. Планшет прикреплен к подставке, устроенной аналогично теодолитной, но большего размера. Подставка с помощью винта прикреплена к штативу.

На рис.115 изображен кипрегель-автомат КН, позволяющий определять по вертикальной рейке горизонтальные проложения до пикетов и превышения пикетов

Рис.116. Построение угла на планшете

над станцией без измерения вертикальных углов.

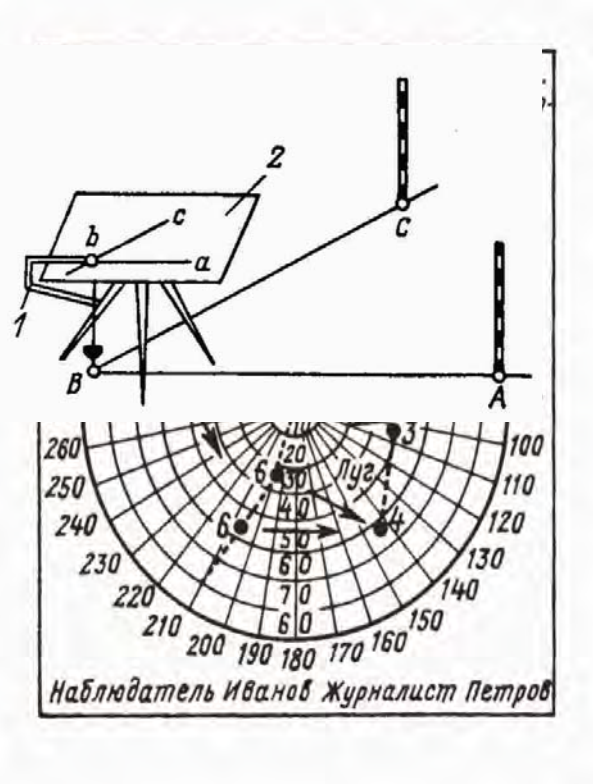


Рис. 113. Абрис

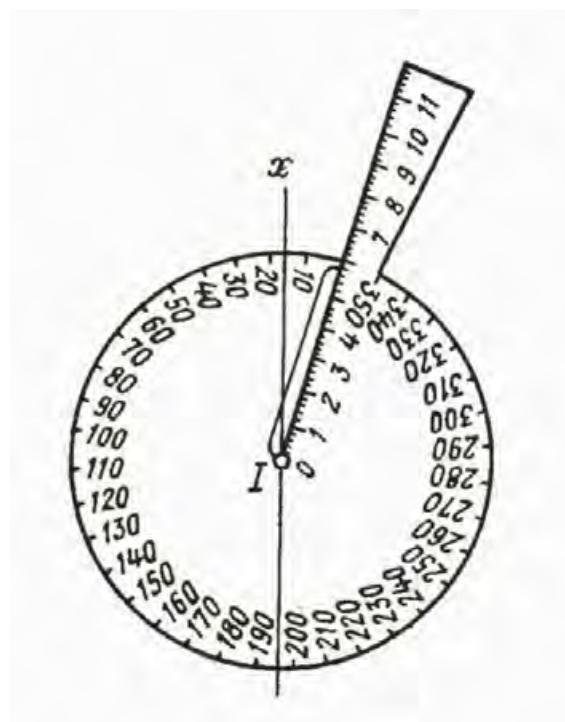


Рис.114. Транспортир-квадрант

Кипрегелем нельзя измерять горизонтальные углы, но можно строить их графически на плоскости планшета. Поэтому в отличие от теодолита кипрегель называют не угломерным, а углоначертательным прибором. Для построения угла мензулу нужно центрировать над точкой местности B при помощи центрировочной вилки (рис.116), последовательно наводить трубу кипрегеля на точки A и C и прочерчивать на планшете 2 по линейке кипрегеля прямые be и ba . Недостатком мензульной съемки является то, что она в большой степени зависит от погоды и что план составляется только в одном масштабе. Все действия по установке мензулы выполняются в следующем порядке. После грубой ориентировки планшета берутся за середины двух ножек штатива и устанавливают приблизительно точку планшета над соответствующей точкой местности на глаз или при помощи центрировочной (специальной) вилки 1. Одновременно добиваются, чтобы планшет был по возможности горизонтален. Затем устанавливают кипрегель на планшет и, действуя подъемными винтами подставки, приводят планшет в горизонтальное положение по уровню кипрегеля. Устанавливают линейку кипрегеля вдоль линии, соединяющей точку стояния на планшете с любой другой видимой твердой точкой, и движением планшета вокруг вертикальной оси наводят микрометричным винтом крест нитей кипрегеля на эту точку.

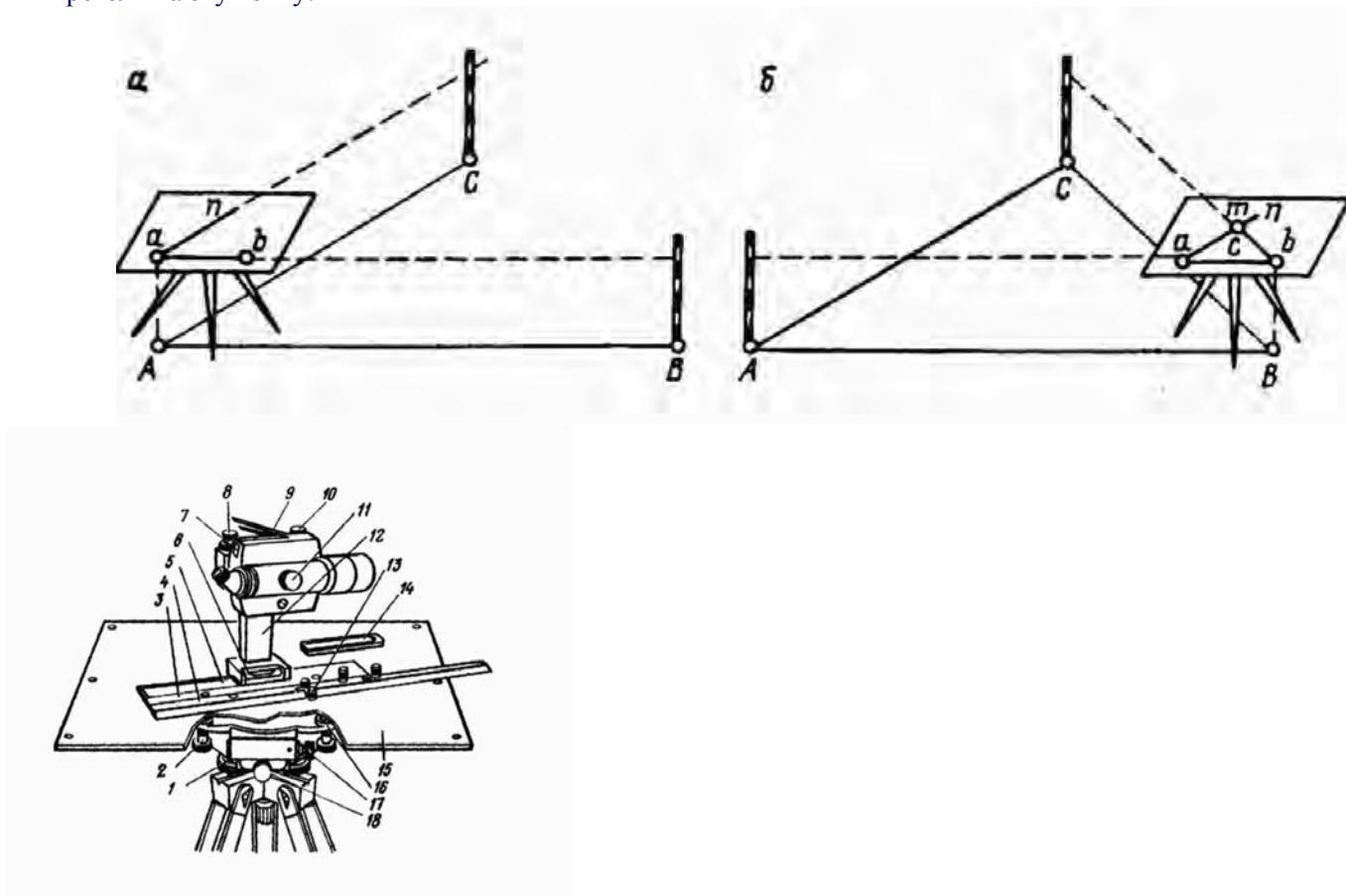


Рис.115. Кипрегель КН:

1 - подъемные винты; 2 - винт крепления планшета; 3 - основная линейка; 4 - дополнительная линейка; 5 - поперечный масштаб; 6 - уровень; 7 - крышка исправительных винтов уровня; 8 - наводящий винт трубы; 9 - зеркало уровня номограммы; 10 - микрометричный винт уровня номограммы; 11 - маховичок фокусировки; 12 — колонка; 13 - наколочный штифт; 14 - ориентир-буссоль; 15 - мензульная доска; 16 - диск подставки; 17 - наводящий винт мензулы; 18 - закрепительный винт

Рис.117. Прямая графическая засечка

Прямая и обратная мензульная засечка. При мензульной съемке часто возникает необходимость нанесения точки прямой засечкой. Сущность задачи состоит в следующем. Пусть на местности имеются две взаимовидимые точки A и B , а на планшете - их изображения. Требуется определить на планшете положение изображения c точки C местности. Устанавливают мензулу в точке A , приводят ее в рабочее положение, ориентируя по линии AB (рис.117, a). Прикладывая линейку кипрегеля к точке a , наводят крест нитей трубы кипрегеля при неподвижном планшете на точку C и вдоль скошенного края линейки проводят линию an .

После этого переходят в точку B , приводят мензулу в рабочее положение, ориентируясь по линии BA (рис.117, b). Прикладывают линейку кипрегеля к точке b , наводят крест нитей кипрегеля на точку C и проводят линию bm . В пересечении линий an и bm получится изображение c точки C . Наиболее точно положение точки C определяется в том случае, когда угол acb равен 90° . Нужно следить, чтобы этот угол не был меньше 30° и больше 150° , в противном случае засечка будет неточной.

В процессе съемки может возникнуть необходимость определить положение точки стояния инструмента на планшете по трем твердым точкам. Такая задача называется обратной засечкой. Наиболее надежный и простой в исполнении способ графического решения этой задачи предложил проф. А. П. Болотов. На планшет накладывают лист восковки и в середине листа намечают карандашом произвольную точку. На местности находят три хорошо видимых предмета, которые ранее изображены на плане. После укрепления планшета в горизонтальном положении проводят через намеченную точку (при помощи линейки кипрегеля) три направления на выбранные предметы (рис.118). Затем восковку располагают на планшете так, чтобы все три направления одновременно прошли через соответствующие изображения местных предметов, при этом точка на восковке окажется в точке стояния мензулы на планшете. Переколов эту точку, получим точку стояния мензулы на планшете.

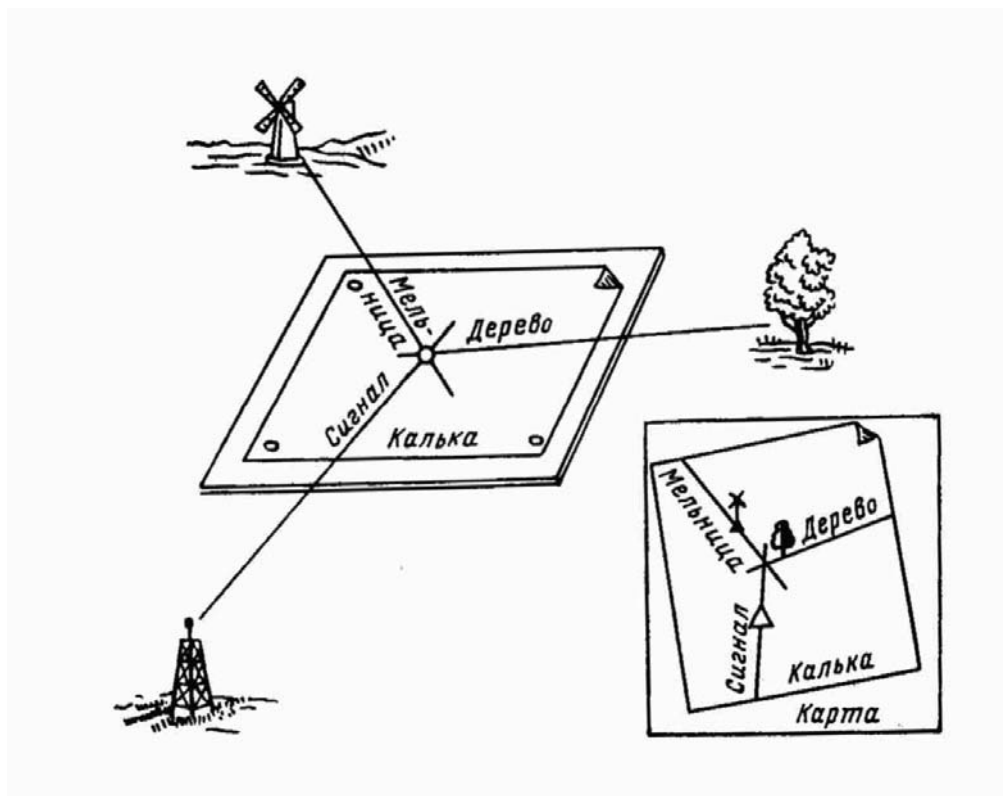
Производство мензульной крупномасштабной съемки.

Мензульная съемка производится на листе ватманской бумаги, наклеенной на планшет. Ватман покрывается «рубашкой» — листом александрийской бумаги, который приклеивается к торцам и нижней поверхности планшета клеем и временно закрепляется кнопками. На поверхности рубашки при помощи линейки Дробышева разбивают координатную сетку размером 50×50 см со сторонами квадратов 10 см. Пользуясь циркулем-измерителем и поперечным масштабом, по координатам наносят все опорные точки.

Углы рамок планшета, точки внешних сторон координатной сетки и все опорные точки аккуратно перекалывают с рубашки на основной лист, а над ними вырезают в рубашке отверстия диаметром около 10 мм. Кроме того, заготавливают две кальки: кальку высот и кальку контуров. На кальку высот наносят все опорные пункты, пикетные точки и подписывают их номера и отметки, а на кальку контуров - все контуры и отдельные местные предметы. Кальки высот и контуров необходимы для того, чтобы при окончательном вычерчивании планшета иметь возможность восстановить стершиеся пикеты и контуры.

После подготовки планшета в журнале мензульной съемки на специально отведенных страницах чернилами выписывают координаты и высоты всех Опорных пунктов, а также вычисленные координаты ориентировочных точек.

Рис.118. Обратная графическая засечка проф. А.П.Болотова



После центрирования, ориентирования и нивелирования планшета на станции вокруг нее в рубашке лезвием вырезают отверстие. При переходе на следующие станции и во время работы на них, заснятые части планшета закрывают плотной бумагой, подsunутой под остатки рубашки, для предохранения планшета от загрязнения в процессе съемки и от выгорания под лучами солнца.

Для съемки рельефа пикетные точки берут на вершинах водоразделов, на перегибах скатов, на тальвегах в местах их поворота, у вершин и устьев лощин, в котловинах, у берегов рек и озер, прудов с таким расчетом, чтобы пикетные точки ограничивали ровные скаты, что позволяет легко интерполировать горизонтали.

При съемке рельефа набор пикетных точек следует чередовать с рисовкой рельефа, что позволяет осуществить изображение рельефа по минимальному числу пикетов, так как в процессе рисовки рельефа выявляется необходимое и достаточное число пикетных точек.

Горизонтали и контуры проводят в поле, не сходя с точки стояния и не нарушая ориентировки планшета, корректируя их путем сличения с натурой. Для выявления деталей рельефа допускается проведение полугоризонталей, которые в отличие от горизонталей проводятся пунктиром.

Пикеты при спокойном скате и ясно выраженном рельефе местности выбирают не реже чем через 30 м при съемке в масштабе 1:1000 и через 50 м при съемке в масштабе 1:2000.

В местах с неопределенными скатами и изрезанным рельефом число пикетных точек должно быть увеличено, но при этом необходимо иметь в виду, что излишнее число взятых пикетов затрудняет проведение горизонталей.

Порядок вычерчивания планшета тушью следующий. Сначала делают подписи населенных пунктов, рек, озер, пашен, огородов, отметок опорных точек, урезов воды и др. Затем вычерчивают контуры и условные знаки местных предметов. Так как горизонтали не должны пересекать условные знаки, то они вычерчиваются после ситуации. В последнюю очередь вычерчивается рамка и делается зарамочное оформление.

§ 77. Фототопографическая съемка

Фототопографическая съемка основана на использовании фотографических снимков местности. Так как фотоснимки не представляют собой точных планов местности, они подвергаются обработке по законам соответствия объектов съемки и их изображений. Наука, рассматривающая методы обработки снимков для получения точных планов местности и определения пространственного положения объектов, называется **фотограмметрией** (измерительной фотографией).

Преимущество фототопографической съемки заключается в полной объективности и документальности, так как на фотоснимках точно фиксируется расположение контуров и предметов на местности в момент съемки, в то время как качество обычных наземных съемок в большой мере зависит от квалификации съемщика.

Фототопографические методы съемок позволяют большую часть операций по созданию карты перенести в камеральные условия. Кроме того, помимо карты, как конечного результата этих работ, получают фотоснимки местности, которые позволяют вести всестороннее изучение снятой территории.

Фотографирование может производиться с точек поверхности земли, координаты которых определены заранее геодезическими методами (**наземная фотограмметрическая** или **фототеодолитная** съемка), и с воздуха при помощи специального фотоаппарата, установленного на самолете (**аэрофотосъемка**). В настоящее время фототопография получила широкое развитие и большинство топографических съемок выполняется этим методом. Мензульные и тахеометрические съемки применяются лишь для крупномасштабных съемок небольших участков.

РАБОЧАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ «ГЕОДЕЗИЯ»

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Одобрено методической
комиссией
геофизического
факультета Института
Окружающей Среды

«УТВЕРЖДАЮ»
Декан факультета

« » 2000 г.
Председатель МК
Ф.И.О., подпись

« » 2000г.

Специальность 300100 – прикладная геодезия
факультет геофизический
кафедра астрономии и геодезии
курс 1 семестр 1,2
лекции 85час.
практические занятия – 68 час.
семинарские занятия -
лабораторные работы -.
всего часов 153
самостоятельная работа 60час.
реферативные работы не предусмотрены
расчетно-графические работы предусмотрены
экзамен 1, 2 (семестр)
зачет - семестр

Рабочая программа составлена на основании авторских разработок
Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры астрономии и
геодезии « 19 октября » 2000г.

Заведующий кафедрой М.Д. Герасименко

Составитель З.М. Карабцова , доцент

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа курса "Геодезия" составлена в соответствии с требованиями государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования.

- Цель курса : приобретение необходимых знаний и навыков в области геодезии-. Знание проблем и перспектив развития геодезии, взаимосвязь со смежными областями геодезической науки. Знание устройства геодезических инструментов, предназначенных для решения задач по геодезии и топографии Приобретение необходимых методов и знания инструментов для выполнения топографических съемок любых видов и масштабов.

I. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Теоретические вопросы (всего 85 часов)

1. Предмет геодезии, научное содержание дисциплины - 4 часа.
2. История развития , понятие о формах и размерах Земли - 4 часа.
3. Масштабы, системы координат, применяемые в геодезии - 6 часов.
4. Углы ориентирования, прямая и обратная геодезические задачи - 2 часа.
5. Рельеф местности и построение горизонталей, решение инженерных задач по карте с горизонталями. - 4 часа.
6. Изображение земной поверхности на плоскости - 4 часа.
7. Определение длин и площадей по карте - 4 часа.
8. Угломерные приборы теодолиты, классификация теодолитов, устройства и поверки теодолитов, измерение горизонтальных и вертикальных углов теодолитом, погрешности измерения горизонтальных углов - 8 часов.
9. Нивелиры, устройство и поверки нивелиров, способы нивелирования, нивелирование способом вперед , из середины, тригонометрическое нивелирование, барометрическое нивелирование, техническое нивелирование ,обработка журнала геометрического нивелирования -8 часов.
- 10.Линейные измерения. Способы измерения длин линий. Механические приборы для непосредственного измерения длин линий. Компарирование мерных приборов - 4 часа.
- 11.Свето и радиодальномеры, оптические дальномеры, измерение неприступных расстояний, измерение длин линий мерными лентами -4 часа.
- 12.Правила обращения с геодезическими приборами - 2 часа.

13. Разбивка и закрепление трасс на местности. Разбивка круговых кривых, разбивка поперечников. - 2 часа.
14. Съёмки, тахеометрическая и мензульная, способы съёмки, глазомерная съёмка. - 12 часов
15. Государственные геодезические сети, их виды. - 2 часа
16. Основные положения о построении сетей планового обоснования. Методы построения плановых опорных геодезических сетей. Классификация и характеристика сетей планового обоснования, полевые работы при построении плановых сетей сгущения и инструменты применяемые при этом. -4 часа
17. Съёмка подробностей, проектирование съёмочных сетей для топографических карт.- 4 часа
18. Элементы теории погрешности измерений. Классификация погрешностей измерений. Свойства случайных погрешностей, равноточные измерения, неравноточные измерения - 6 часов

Практические занятия (68 час.)

1. Использование масштабов - 4 часа
2. Определение географических и прямоугольных координат по карте - 2 часа
3. Решение прямой и обратной геодезических задач по карте - 4 часа.
4. Определение углов ориентирования по карте - 2 часа
5. Определение номенклатуры карт - 4 часа
6. Построение модели рельефа местности - 4 часа
7. Решение задач по карте с горизонталями - 2 часа
8. Определение площадей по карте при помощи планиметра- 4 часа
9. Устройство и поверки теодолитов, измерение горизонтальных и вертикальных углов- 10 часов.
10. Устройство и поверки нивелиров. Определение превышений и.отметок точек методом геометрического нивелирования -10 часов
11. Обработка данных тахеометрической съёмки и построение плана - 6 часов
12. Устройство и поверки мензулы. Мензульная съёмка - 10 часов.
13. Ошибки измерений Пример обработки ряда равноточных непосредственных измерений. - 6 часов.
14. Пример обработки ряда неравноточных измерений - 6 часов

II. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ (167 часов)

1. Знакомство с периодическими изданиями по геодезии и картографии
2. Знакомство с научной и научно-популярной литературой по геодезии.
3. Отбор методик изучения профессиональных знаний

III. ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Применение и использование масштабов карт.
2. Координаты применяемые в геодезии, решение задач по карте.
3. Решение обратной и прямой геодезических задач.
4. Определение площадей по карте с горизонталями.
5. Номенклатура карт.
6. Углы ориентирования их связи.
7. Виды рельефа.
8. Горизонтالي и их свойства.
9. Решение задач по карте с горизонталями.
10. Теодолиты. Устройства и поверки.
11. Измерение углов способом приемов.
12. Нивелиры Устройство и поверки.
13. Мензула. Устройство и поверки.
14. Коллимационная погрешность и другие ошибки, влияющие на измерение горизонтального угла
15. Место нуля (МО) и его влияние на измерение вертикального угла.
16. Виды геодезического обоснования.
17. Геометрическое нивелирование и его способы.
18. Техническое нивелирование Обработка журнала технического нивелирования.
19. Тахеометрическая съемка.
20. Привязка нивелирного хода к реперу..
21. Способы измерения площадей. Устройство планиметра.
22. Классификация ошибок измерения.
23. Зрительная труба теодолита. Измерение расстояний нитяным дальномером.
24. Свойство случайных ошибок.
25. Измерение неприступного расстояния.
26. Мензульная съемка.
27. Глазомерная съемка.
28. Равноточные и неравноточные измерения.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Поклад Г.Г." Геодезия " М. Недра, 1988
2. Кудрицкий Д.М. "Геодезия" Л. Гидрометиздат 1982.

Дополнительная

3. Визгин А.А и др." Практикум по инженерной геодезии" М.Недра 1989
4. Федоров В.И..Шилов П.И. Инженерная геодезия. М.