

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т.Ф. Горбачева»
Кафедра маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

В. А. Горбунова

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Рекомендовано в качестве учебного пособия
учебно-методической комиссией направления подготовки бакалавров
270800 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги»

Кемерово 2012

Рецензенты:

Игнатов Ю. М., заведующий кафедрой маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Измestьев А. Г., ст. преподаватель кафедры маркшейдерского дела, кадастра и геодезии

Горбунова Вера Акентьевна. Инженерная геодезия: учеб. пособие [Электронный ресурс] : для студентов направления подготовки бакалавров 270800 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги» / В. А. Горбунова. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) ; зв. ; цв. ; 12 см. – Систем. требования : Pentium IV ; ОЗУ 8 Мб ; Windows 95 ; (CD-ROM-дисковод) ; мышь. - Загл. с экрана.

Учебное пособие содержит основные сведения и термины по геодезии, информацию о системах координат. Дается представление о топографических картах, планах и профилях. Рассмотрены вопросы ориентирования линий на плоскости и на эллипсоиде. Изложены общие положения о геодезических сетях, методах их построения. Приведены наиболее часто используемые геодезические приборы. Изложена методика линейно-угловых измерений и определения превышений. Дается общее представление об основных видах геодезических работ при строительстве автомобильных дорог.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров 270800 «Строительство», профиль «Автомобильные дороги», а также может быть полезно всем студентам строительного и горного направления, изучающим дисциплину «Инженерная геодезия».

© КузГТУ

© Горбунова В. А.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕМА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	6
1.1. Предмет и задачи геодезии	6
1.2. Основные этапы развития геодезии	8
1.3. Правовые основы геодезии	13
1.4. Единицы измерений, используемые в геодезии	18
1.5. Основные процессы геодезических работ	20
1.6. Факторы, влияющие на результаты измерений	23
ТЕМА 2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В ГЕОДЕЗИИ 1	27
2.1. Форма и размеры Земли.	27
2.2. Системы координат	29
2.2.1. Астрономическая система координат	30
2.2.2. Геодезические координаты	32
2.2.3. Геоцентрическая и топоцентрическая системы координат	33
2.2.4. Зональная система плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера	34
2.2.5. Плоская условная система прямоугольных координат	37
2.2.6. Система полярных координат	37
Тема 3. ПОНЯТИЕ О ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ И ПЛАНАХ	39
3.1. Понятие о карте, плане, профиле	39
3.2. Масштабы. Точность масштабов. Масштабный ряд	41
3.3. Номенклатура карт и планов	44
3.4. Изображение ситуации и рельефа на картах и планах	47
3.5. Решение задач с горизонталями по картам и планам	51
3.5.1. Построение горизонталей по отметкам точек	51
3.5.2. Определение отметки точки по горизонталям	52
3.5.3. Определение углов наклона по заложению	52
3.5.4. Построение профиля по заданному направлению	53
3.5.5. Проведение линии с заданным уклоном	54
3.6. Способы определения площадей и объемов по картам и планам	54
3.6.1. Аналитический способ	54
3.6.2. Механический способ	55
3.6.3. Графический способ. Палетки	57
3.6.4. Геометрический способ	58
3.6.5. Определение объемов тел	59
3.6.6. Нормативная точность определения координат характерных точек границ земельных участков	61
3.7. Понятие о геоинформационных системах (ГИС)	63
3.8. Цифровые и электронные топографические карты	66

ТЕМА 4. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ НА ЭЛЛИПСОИДЕ И НАПЛОСКОСТИ	72
4.1. Ориентирные углы	72
4.2. Ориентирование по местным предметам	79
4.3. Прямая и обратная геодезические задачи	80
ТЕМА 5. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ И ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ	82
5.1. Общие сведения о геодезических сетях	82
5.2. Методы построения геодезических сетей	90
5.2.1. Методы построения плановых сетей	90
5.2.2. Методы построения высотных сетей	93
5.2.3. Спутниковый метод построения планово-высотных сетей	94
5.2.4. Каталоги координат и высот точек	95
5.3. Топографические съемки	96
5.3.1. Основа для топографических съемок	96
5.3.2. Обзор методов топографических съемок	100
5.3.3. Тахеометрическая съемка	107
ТЕМА 6. ЛИНЕЙНО–УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	114
6.1. Общие сведения из теории погрешностей	114
6.1.1. Виды измерений. Классификация погрешностей	114
6.2. Линейные измерения	117
6.2.1. Классификация приборов для линейных измерений	117
6.2.2. Определение расстояния до неприступной точки	125
6.3. Угловые измерения	125
6.3.1. Горизонтальные и вертикальные углы	125
6.3.2. Теодолиты. Классификация. Основные поверки	127
6.3.3. Измерение углов теодолитом	135
6.3.4. Построение горизонтального угла	138
ТЕМА 7. ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ	140
7.1. Общие сведения о нивелировании	140
7.2. Геометрическое нивелирование	140
7.3. Нивелир. Устройство. Поверки	143
7.4. Нивелирование 4 класса	147
7.5. Техническое нивелирование	150
7.6. Тригонометрическое нивелирование	151
ТЕМА 8. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ	155
8.1. Роль инженерной геодезии в строительстве	155
8.2. Основные методы разбивки сооружений	160
8.3. Трассирование линейных сооружений	170
8.4. Элементы автомобильной дороги	172
8.4.1. Общие сведения об автомобильной дороге	172

8.4.2. План трассы	174
8.4.3. Продольный профиль трассы	177
8.4.4. Поперечный профиль трассы	179
8.5. Система дорожного водоотвода	182
8.6. Искусственные сооружения на автомобильных дорогах	184
8.7. Пересечения и примыкания автомобильных дорог	186
8.8. Геодезические работы при вертикальной планировке	
8.9. Системы управления строительной техникой	187
Список литературы	191

ТЕМА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Предмет и задачи геодезии

Геодезия – одна из древнейших наук о Земле, возникла исходя из практических потребностей человека, связанных с измерениями земной поверхности для строительства различных инженерных сооружений, ведения сельского хозяйства, учета земель, создания карт и планов.

За века существования определение геодезии как науки неоднократно менялось. Сам термин происходит от греческих слов **Ge** – земля и **Dazio** – делю, разделяю, что переводилось как «землеразделение».

В настоящее время в России законодательно установлено следующее определение термина «геодезия» – это область отношений, возникающих в процессе научной, технической и производственной деятельности по определению фигуры, размеров, гравитационного поля Земли, координат точек земной поверхности и их изменений во времени.

Роль геодезии в жизни страны трудно переоценить. Наряду с научными задачами геодезия решает целый комплекс практических задач:

- создание геодезических сетей для обеспечения топографических съёмок,
- применение геодезических методов при строительстве сооружений, дорог и других объектов,
- проведении подземных работ в шахтах, тоннелях, метрополитене (маркшейдерские работы),
- проведение работ по землеустройству (кадастровые съёмки),
- наблюдение за деформацией и осадкой зданий и сооружений и т.д.



Велика роль геодезии в обороне страны и обеспечении боевых действий, т.к. невозможно эффективное использование современного высокоточного оружия (в том числе стратегических ракет) без точного геодезического и гравиметрического обеспечения.

В процессе своего развития геодезия разделилась на ряд самостоятельных дисциплин:



Инженерная геодезия имеет исключительное прикладное значение в различных отраслях народного хозяйства. Методы инженерной геодезии широко используют при проектировании, строительстве и эксплуатации дорог, мостов, транспортных тоннелей, аэродромов, каналов, зданий и сооружений автотранспортной и аэродромной службы, гидромелиоративных сооружений, подземных коммуникаций, воздушных сетей.

К задачам инженерной геодезии относят:

- получение материалов для проектирования;
- определение на местности положения основных осей границ сооружений и других характерных точек (разбивочные работы);
- обеспечение на местности геометрических форм и размеров сооружений в соответствии с проектом;
- определение отклонений сооружаемого объекта от проекта (исполнительные съёмки);
- изучение деформаций сооружений, которые происходят под действием различных факторов.

В инженерной геодезии используются методы высшей геодезии, топографии и фотограмметрии, и материалы всех видов съемок, в том числе и космических.

В свою очередь геодезия, в т.ч. инженерная, тесно связана с другими науками, краткий перечень которых приведен ниже:



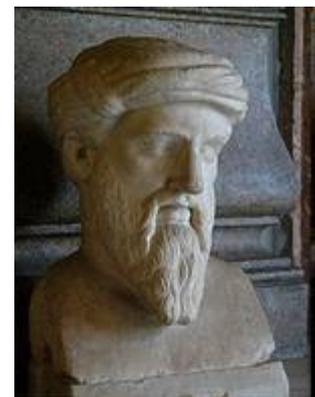
1.2. Основные этапы развития геодезии

Строительство выдающихся инженерных сооружений глубокой древности (каналы, дворцы, храмы, пирамиды в Египте, древние города Индии с их удивительно правильной планировкой, оросительные системы в Японии, Великая китайская стена и т. д.) было немислимо без глубокого знания основ геодезии и без наличия необходимых геодезических приборов. История геодезии неразрывно связана с историей человечества: с экономикой, с ее войнами, научными и географическими открытиями. Здесь мы попробуем дать краткую систематизацию всему развитию геодезии, с точки зрения развития представлений человечества о форме и размерах Земли.

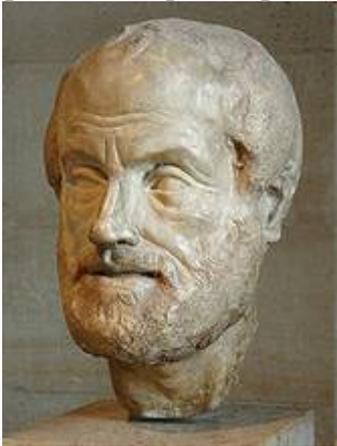
Первый период

Мысль о шарообразности Земли высказал древнегреческий философ **Пифагор Самосский** (около 571 – 497 г. до н.э.). В его учении утверждалось, что Земля имеет шарообразную форму и вращается вокруг своей оси, вызывая видимое суточное движение звезд, и обращается вокруг Солнца в течение года. По существу, была выдвинута идея гелиоцентрической системы мира, научно обоснованная Коперником через две тысячи лет.

Проблемой определения формы и размеров Земли



занимались такие древнегреческие философы и ученые как Аристотель, Архимед, Эратосфен и другие.



Аристотель



Архимед



Эратосфен

В дальнейшем работы по определению форм и размеров Земли были выполнены арабскими и туркестанскими учеными такими как Халиб ибн Абдул Малик, Али ибн Муса, Бируни и другими. Так, философ, астроном и геодезист **Бируни** из Туркестана в 1023 г. определил радиус земного шара из наблюдений понижения горизонта. По Бируни длина одноградусной дуги меридиана на широте 32 градусов с.ш. равна 110,278 км (по современным данным – 110,895 км).

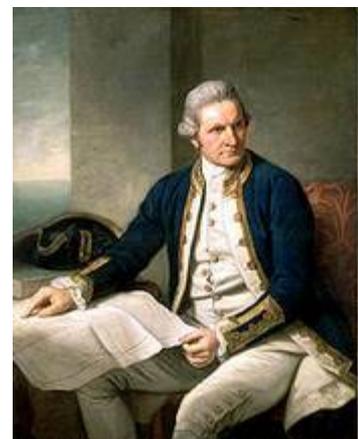
Исследования арабских и туркестанских ученых завершают **первый период становления геодезии как самостоятельной науки о Земле**, занимающейся изучением её фигуры и измерениями на её поверхности.



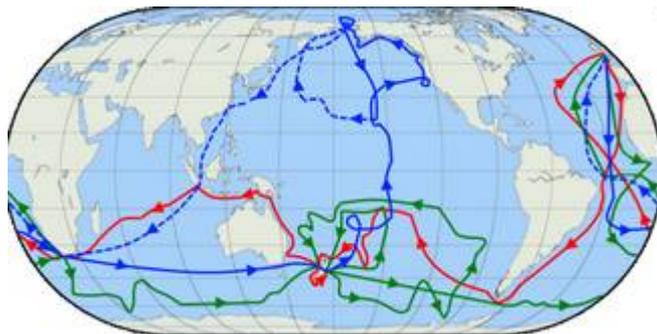
Начало второго периода в развитии геодезической науки относится к эпохе великих научных и географических открытий. В этот период свои открытия совершили Колумб, Васко да Гама, Магеллан, Кук, Беринг.



Прибытие Васко да Гамы в Каликут, 1498

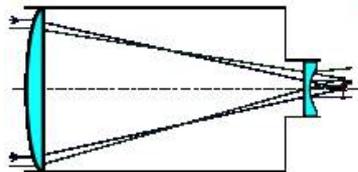


Джеймс Кук

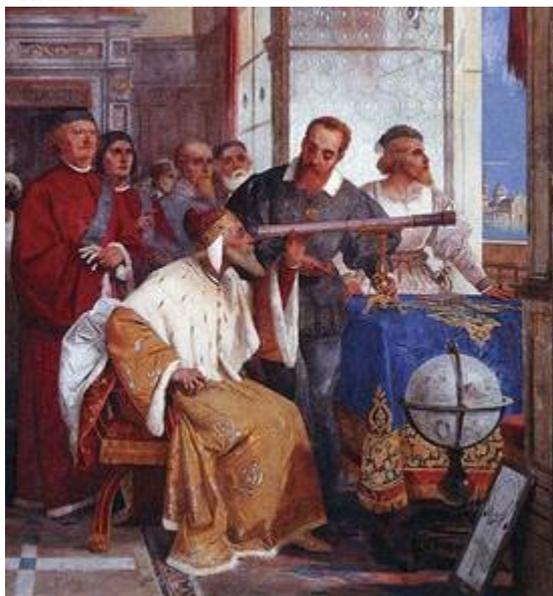


Три экспедиции Джеймса Кука

В геодезии в это же время происходит ряд замечательных открытий. Так в 1609 г. Галилеем изобретена зрительная труба.



Устройство телескопа системы Галилея



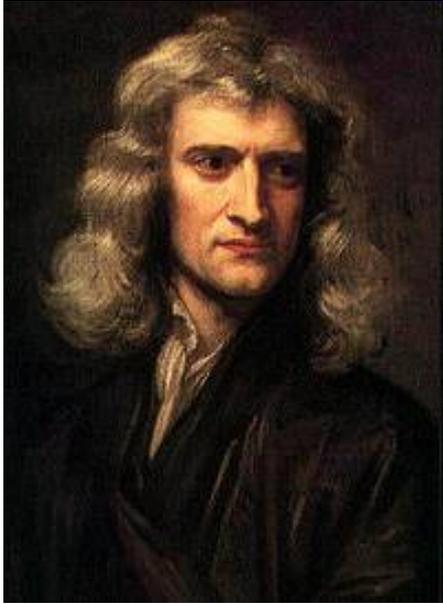
Галилей показывает телескоп венецианскому дожу (фреска Дж. Бертини)



Снеллиус

Нидерландский астроном и математик Снеллиус в 1614 году разработал метод триангуляции, который был впервые применен французским астрономом Пикаром (Jean-Felix Picard, 1620 – 1682) при измерении дуги меридиана от Парижа до Амьена. Пикар впервые использовал приборы с сеткой нитей.

В 1687 году вышел монументальный труд Ньютона – гениального английского математика, механика, астронома и физика «Математические начала натуральной философии», в котором на основании открытого им закона всемирного тяготения доказывается наличие полярного сжатия Земли. Ньютон не только установил сплюснутость фигуры Земли по оси вращения, но и теоретически определил величину её полярного сжатия.



Исаак Ньютон

Почитаемый потомок «Яблони Ньютона» –
Кембридж, Ботанический сад

Третий период развития геодезии (18 – 19 века)

Характеризуется тем, что основной научной задачей геодезии становится определение размеров земного эллипсоида. В течение этого времени получили начало такие науки как гравиметрия, геофизика. В это же время ученые – геодезисты пришли к выводу, что сглаженная до уровня Мирового океана фигура Земли не является простой геометрической фигурой, т.е. возникло понятие геоида.



К началу 19 века были накоплены значительные материалы геодезических и астрономических наблюдений. В связи с этим возникла проблема совместной обработки материалов обработки. Метод решения этой проблемы был предложен независимо немецким математиком, астрономом и геодезистом К. Ф. Гауссом и известным французским математиком Лежандром. Этот метод, названный методом наименьших квадратов, находит широкое применение при обработке геодезических сетей.

В России метод наименьших квадратов в геодезии и астрономии на практике применили известные российские астрономы и геодезисты Струве, Шуберт, Померанцев, Цингер, Певцов, Геденов и другие.



Карл Фридрих Гаусс



Карикатура на Адриена Мари Лежандра 1820 г. – единственный известный портрет учёного



Василий Яковлевич Струве

Четвертый период (конец 19 века – вторая половина 20 века)

Ознаменовался основополагающими работами известного советского ученого – геодезиста Молоденского, который доказал невозможность точного определения фигуры геоида только по измерениям на земной поверхности и разработал теорию и методы определения фигуры физической поверхности Земли.



Молоденский Михаил Сергеевич



Начало современного периода развития геодезии совпадает с запуском первых искусственных спутников Земли (ИСЗ).

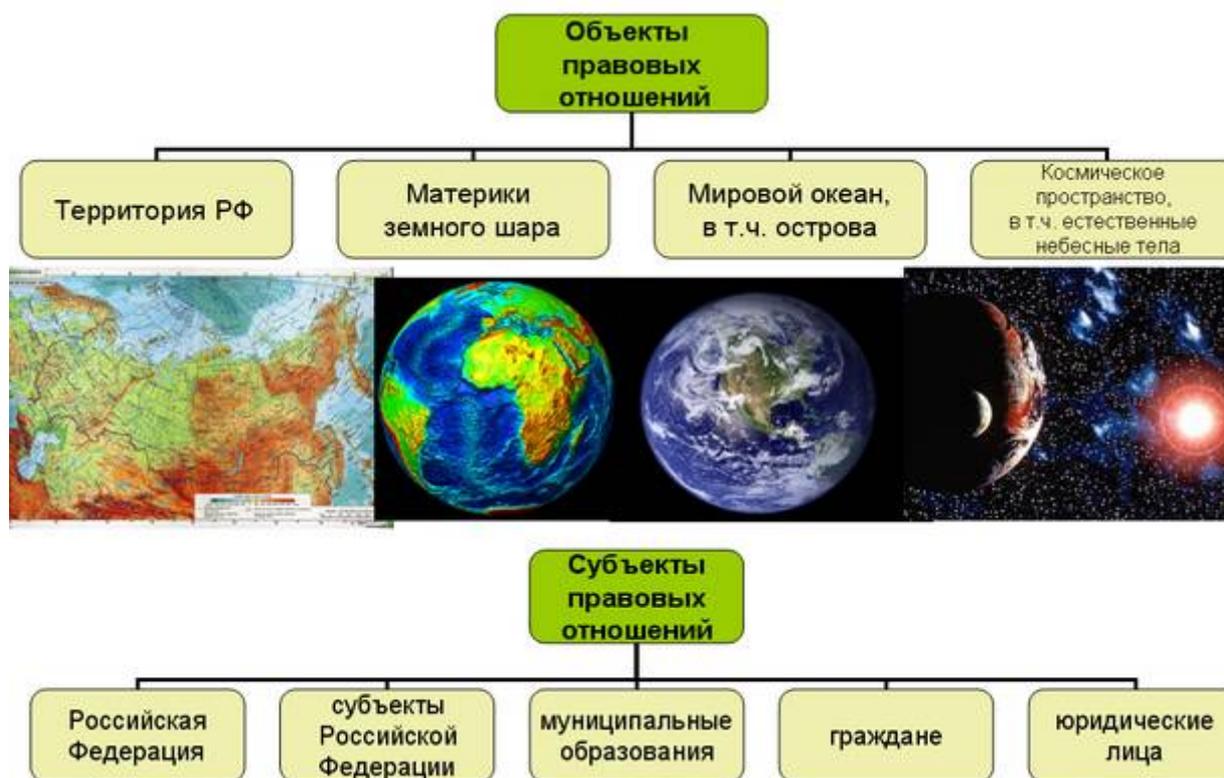


Появление ИСЗ открыло новые возможности для решения научных и практических задач геодезии. Ярким примером тому служит появление систем глобального позиционирования (GPS) в США и ГЛОбальной НАвигационной Спутниковой Системы (ГЛОНАСС) в России.

1.3. Правовые основы геодезии

Правовые основы деятельности в области геодезии установлены Конституцией РФ, федеральным законом «О геодезии и картографии» от 26 декабря 1995 года N 209-ФЗ, другими законами и различными нормативными правовыми актами Российской Федерации. Составной частью правовой системы Российской Федерации являются общепризнанные принципы и нормы международного права и международные договоры Российской Федерации в области геодезической и картографической деятельности. Особенно актуальны в этом отношении международные договоры в связи с установлением границ Российской Федерации, а также вопросы глобальной навигации.

Законом «О геодезии и картографии» установлен перечень объектов и субъектов правовых отношений в области геодезической и картографической деятельности:



Виды геодезической деятельности

Картографо-геодезическая деятельность может быть разделена на две большие категории:

1) работы федерального назначения, их результаты имеют общегосударственное, межотраслевое значение;

2) работы специального или, другими словами, отраслевого назначения. Необходимость проведения таких работ определяется потребностями субъектов Российской Федерации, муниципальных образований, отдельных отраслей, граждан и юридических лиц.

К работам **федерального назначения** относятся работы, связанные с исследованием Земли и глобальные работы по развитию геодезии в рамках России, а также по созданию государственной геодезической сети. К таким относят работы следующего содержания:

1) определение параметров фигуры Земли и внешнего гравитационного поля в этих целях;

2) создание и обновление государственных топографических карт и планов в графической, цифровой, фотографической и иных формах;

3) создание, развитие и поддержание в рабочем состоянии государственных нивелирных и геодезических сетей, в том числе гравиметрических;

4) дистанционное зондирование Земли;

5) геодинамические исследования на базе геодезических и космических изменений;

6) создание и ведение федерального и региональных картографо-геодезических фондов;

7) создание и ведение географических информационных систем (ГИС) федерального и регионального назначения;

8) проектирование, составление и издание общегеографических, политико-административных, научно-справочных, тематических карт и атласов межотраслевого назначения, учебных картографических пособий;

9) проведение геодезических, картографических, топографических и гидрографических работ в целях обеспечения обороны и безопасности Российской Федерации;

10) геодезическое, картографическое, топографическое и гидрографическое обеспечение делимитации, демаркации и проверки прохождения линии Государственной границы Российской Федерации, делимитации ее морских пространств; обеспечение материалами и данными об установлении и изменении границ субъектов Российской Федерации, границ муниципальных образований;

11) картографирование Антарктиды, континентального шельфа Российской Федерации, территорий иностранных государств, Мирового океана, в том числе создание топографических и морских карт;

12) производство геодезических и гидрографических работ в океанах и морях в целях обеспечения безопасности общего мореплавания;

13) метеорологическое обеспечение геодезических, картографических и топографических работ;

14) установление, нормализация, упорядочение употребления, регистрация, учет и сохранение наименований географических объектов;

15) выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и организация серийного производства геодезической и картографической техники.

Исходя из вышеперечисленных видов работ, становится ясным, что в области геодезической и картографической деятельности функции государства следующие:

– осуществление исполнительных, распорядительных, разрешительных, надзорных и иных функций;

– координация деятельности субъектов геодезической и картографической деятельности в целях проведения единой технической политики, исключения проведения аналогичных геодезических и картографических работ за счет средств бюджета РФ, субъектов РФ и местных бюджетов;

– установление единых государственных систем координат, высот, гравиметрических измерений, а также масштабного ряда государственных топографических карт и планов, определение порядка установления местных систем координат и государственный геодезический надзор за их установлением и применением.

Регулирование геодезической деятельности федерального значения находится в компетенции Правительства Российской Федерации.

К геодезическим и картографическим работам **специального (отраслевого) назначения** относятся:

1) создание и обновление топографических планов, предназначенных для составления генеральных планов участков строительства различных объектов, подземных сетей и сооружений, привязки зданий и сооружений к участкам строительства, а также для выполнения иных специальных работ;

2) создание и ведение ГИС специального назначения;

3) создание тематических карт, планов и атласов специального назначения в графической, цифровой и иных формах, издание этих карт, планов и атласов;

4) геодезические, топографические, аэросъемочные и другие специальные работы при инженерных изысканиях, строительстве и эксплуатации зданий и сооружений, межевании земель, ведении кадастров, иных изысканиях и специальных работах;

5) выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по вышеперечисленным направлениям.

Как видно из перечня работ, задачи инженерной геодезии относятся ко второй категории геодезических работ.

Астрономо-геодезические, геодезические, нивелирные и гравиметрические пункты, наземные знаки и центры этих пунктов, в том числе размещенные на световых маяках, навигационных знаках и других инженерных конструкциях и построенные за счет средств федерального бюджета, относятся к федеральной собственности и находятся под охраной государства. Снос наружных знаков или перезакладка центров геодезических пунктов проводятся только с разрешения федерального органа исполнительной власти в области геодезии и картографии или его территориальных органов.

Собственники, владельцы и пользователи земельных участков, на которых размещены геодезические пункты, обязаны уведомлять федеральный орган исполнительной власти в области геодезии и картографии и его территориальные органы о всех случаях повреждения или уничтожения геодезических пунктов, а также предоставлять возможность подъезда (подхода) к геодезическим пунктам при проведении геодезических и картографических работ. Положение об охранных зонах и охране геодезических пунктов утверждается Правительством Российской Федерации.

Предоставление земельных участков для размещения на них геодезических пунктов осуществляется в соответствии с законодательством Российской Федерации.

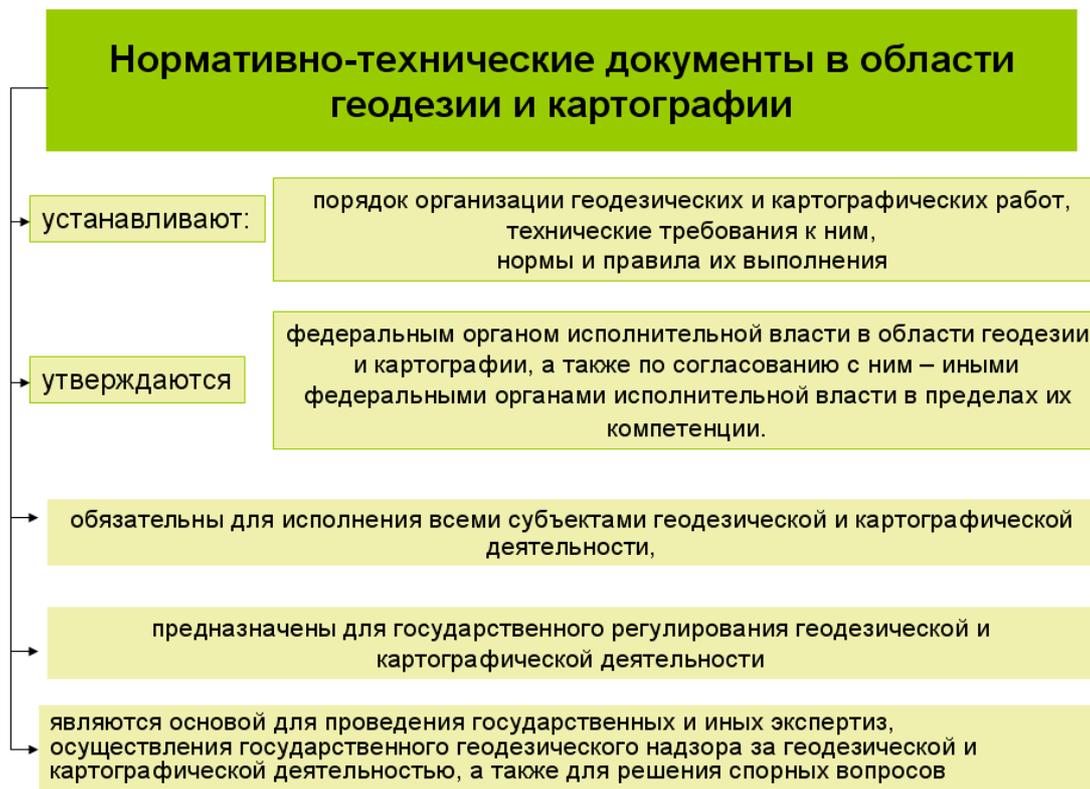
Указ Президента Российской Федерации от 25 декабря 2008 г. N 1847 «О Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии» упразднил Федеральную службу геодезии и картографии России и Федеральное агентство кадастра объектов недвижимости, их функции переданы Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр): «Возложить на Росреестр функции по организации единой системы государственного кадастрового учета недвижимости и государственной регистрации прав на недвижимое имущество и сделок с ним, а также **инфраструктуры пространственных данных РФ**».

Для создания единой государственной геодезической сети крайне важно обеспечить **единство геодезических измерений**. Это возможно осуществить в рамках законов Российской Федерации:

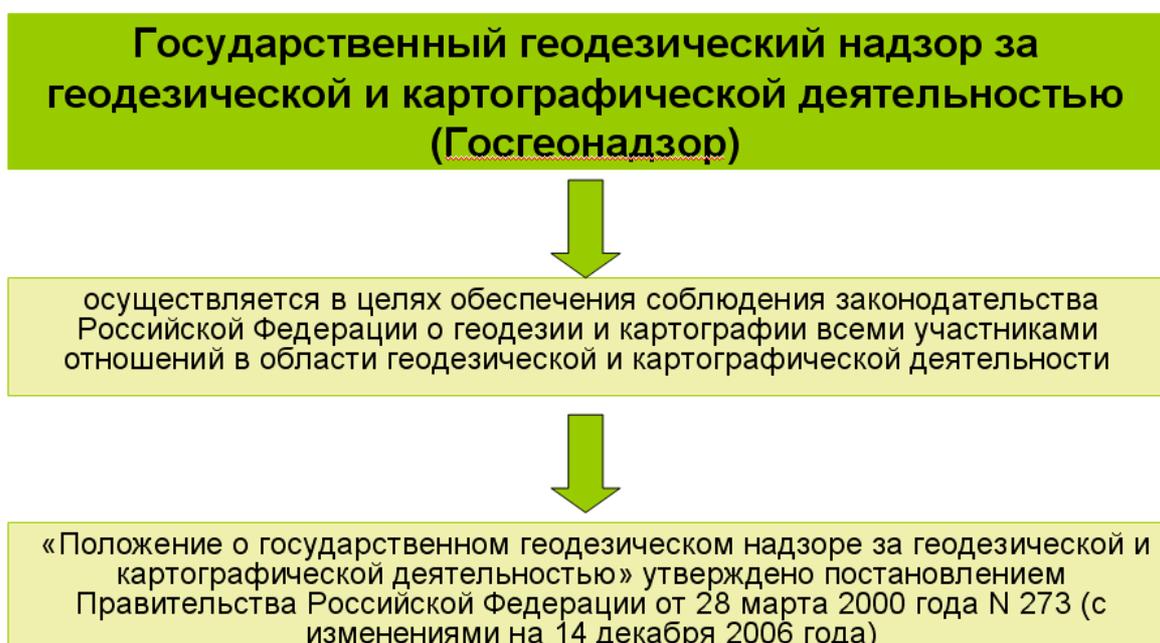
– федерального закона «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 года N 102-ФЗ;

– федерального закона «О техническом регулировании» от 27.12.2002 N 184-ФЗ.

В области геодезических отношений существует система нормативно-технической документации, которая включает ГОСТы, СНИПы, ВСН (Ведомственные Строительные Нормы), ГКИНП (Геодезические, Картографические Инструкции, Нормы и Правила), ОСТы, приказы, распоряжения, инструкции. Поэтому перед выполнением инженерных геодезических работ необходимо ознакомиться с необходимой документацией.



Важную роль в контроле геодезической деятельности играет Госгеонадзор, основные задачи которого изложены ниже в виде схемы.





1.4. Единицы измерений, используемые в геодезии

При производстве геодезических измерений важно применять единую систему координат и единую систему единиц измерения длин, углов, температуры, давления, времени, площади, объема, массы и др. Помимо основных единиц в системе СИ, повсеместно используются несистемные и производные единицы.

Основные единицы (система СИ)

Величина	Единица измерения	Обозначение	Пояснения
Длина	метр	м	1 м равен расстоянию, которое свет проходит в вакууме за 1/299 792 458 доли секунды (с 1983 г.)
Масса	килограмм	кг	1 кг равен массе международного прототипа килограмма, который хранится в Международном бюро мер и весов (г. Севр близ Парижа) с 1889 г. Представляет собой цилиндр диаметром и высотой 39,17 мм из платино-иридиевого сплава (90 % платины, 10 %

Величина	Единица измерения	Обозначение	Пояснения
			иридия).
Время	секунда	с	1 с равна 9 192 631 770 периодам колебаний электромагнитного излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 (с 1967 г.)
Сила тока	ампер	А	сила тока, при которой через проводник проходит заряд 1 Кл за 1 сек

Несистемные величины

Несистемные величины

ГОСТ 8.417-2002 разрешает применение следующих единиц: град, диоптрия, гал.

Диапазон измеряемых величин очень широк и разнообразен, поэтому допускается применение исторически сложившихся и прочно вошедших в геодезическое производство несистемных единиц:

– десятичные кратные (образованные умножением на 10, 100, 1000 и т.д.) и десятичные дольные (образованные умножением на 0,1; 0,01; 0,001 и т.д.) от единиц системы СИ

10^{-1} м	дециметр	дм
10^{-2} м	сантиметр	см
10^{-3} м	миллиметр	мм
10^3 м	километр	км

– единицы относительных величин, такие как процент, промилле

Процент — одна сотая доля. Обозначается знаком «%». Используется для обозначения доли чего-либо по отношению к целому.

Промилле (от лат. *pro mille*, букв. «за тысячу») — одна тысячная доля, 1/10 процента. Обозначается (‰). Обычно используется для обозначения доли чего-либо по отношению к целому. Количество нулей в обозначении (3 нуля) соответствует количеству нулей в числе 1 000.

– единицы логарифмических величин, такие как миллионная доля

– единицы времени, получившие широкое распространение, например, неделя, месяц, год, век, тысячелетие.

Производные единицы

Величина	Единица измерения	Обозначение	Пояснения
Время	сутки	сут	24 ч = 86 400 с
	час	ч	60 мин = 3600 с
	минута	мин	60 с
Угловые	градус	°	($\pi/180$) рад

Величина	Единица измерения	Обозначение	Пояснения
величины	(degree)		
	минута	'	$(1/60)^\circ = (\pi/10\ 800)$
	секунда	"	$(1/60)' = (\pi/648\ 000)$
Площадь	Гектар	га	$100\text{ м} \times 100\text{ м} = 10\ 000\text{ м}^2$
	квадратный километр	км ²	$1\text{ км} \times 1\text{ км} = 1\text{ км}^2$
	квадратный метр	м ²	1 м ² — площадь квадрата с длиной стороны, равной 1 м
Объем	кубический метр	м ³	1 м ³ — объем куба с длиной ребра, равной 1 м
Скорость	метр в секунду	м/с	1 м/с — скорость прямолинейно и равномерно движущейся точки, при которой она за время 1 с проходит путь 1 м
Ускорение	метр в секунду за секунду	м/с ²	1 м/с ² — ускорение прямолинейно и равноускоренно движущейся точки, при котором за время 1 с скорость точки изменяется на 1 м/с
Ускорение в гравиметрии	гал		1 Гал = 0,01 м·с ⁻²
Потенциал силы тяжести	W	г см ² ·с ⁻²	работа, которую совершает поле силы тяжести при перемещении массы в 1 грамм из бесконечности в данную точку земной поверхности.

1.5. Основные процессы геодезических работ

Все виды геодезических работ можно условно разделить на две группы: полевые и камеральные. Основное содержание полевых работ можно увидеть на нижеприведенных схемах.

Вычислительный процесс – это математическая обработка результатов измерений. Измерения выполняют по определенным схемам, которые позволяют быстро находить требуемые результаты, а также своевременно контролировать правильность их расчетов. Для облегчения вычислений применяют таблицы, графики, номограммы, ПК.

Графический процесс заключается в составлении чертежей на основе предыдущих измерений и вычислений. При составлении чертежей (планов, карт, профилей) обязательно соблюдаются установленные условные обозначения, свои для разных масштабов и типов чертежей.

Чертежи составляются с высокой точностью, т.к. они не являются иллюстрацией к расчетам, а являются конечной самостоятельной продукцией. На основании их в дальнейшем производят другие расчеты, проектирование и перенос проектов на местность. Поэтому очень важно иметь чертеж высокого графического исполнения по проверенным и точным данным.



Геодезические измерения состоят из определенных операций, пояснение которых приведено ниже:

Операция – законченное действие наблюдателя, производимое с целью подготовки и (или) осуществления геодезических измерений.

Прием измерений – минимальное количество операций, необходимое для однократного измерения геодезической величины с заданной точностью.

Серия измерений – множество геодезических измерений по определению геодезической величины, выполняемых единым методом.

Программа измерений – систематизированный перечень операций геодезических измерений с указанием наименования геодезических величин, методов и количества приемов измерений, порядка обработки и оценки точности полученных результатов.

Сеанс измерений – период времени, в течение которого производятся измерения.

Ход геодезических измерений – последовательность выполнения одноименных операций геодезических измерений единым методом, разграниченных во времени или в пространстве.

Примечание. В зависимости от последовательности операций различают **прямой и обратный ходы**; в зависимости от характера измеряемых геодезических величин: **нивелирный, теодолитный, полигонометрический ходы**.

Горизонтирование средства геодезических измерений (нивелирование) – операция по совмещению вертикальной оси средства измерений с отвесной линией и (или) приведение визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение.

Центрирование – операция по совмещению вертикальной оси средства измерений с отвесной линией, проходящей через пункт относимости геодезических измерений.

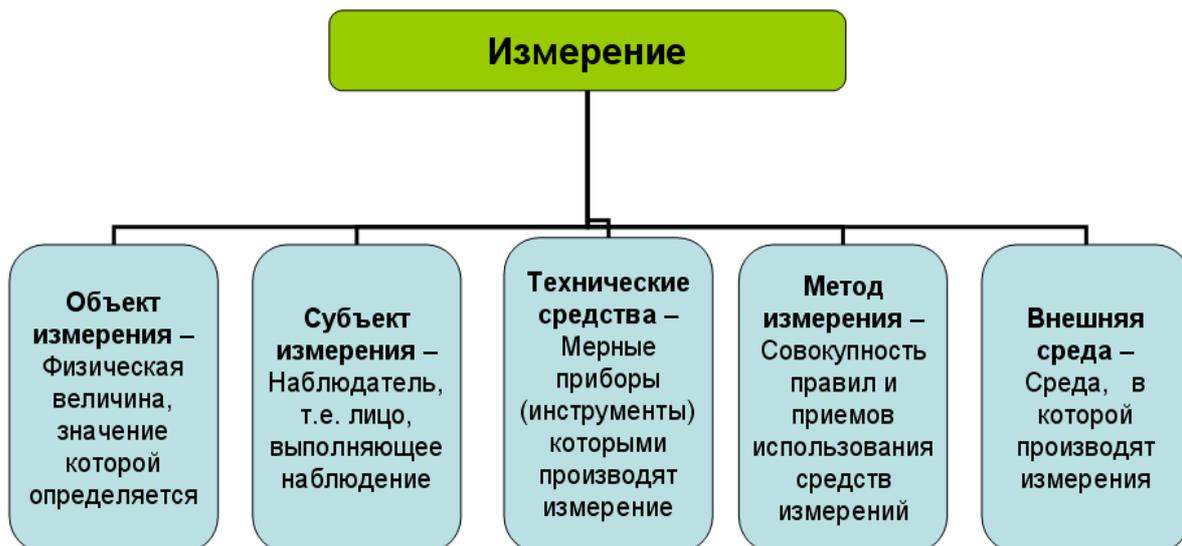
Визирование – операция по совмещению изображений сетки нитей визирного приспособления и визирной цели.

Отсчитывание при геодезических измерениях (считывание; снятие показаний) – операция, связанная с получением отсчета по шкале рабочей меры.

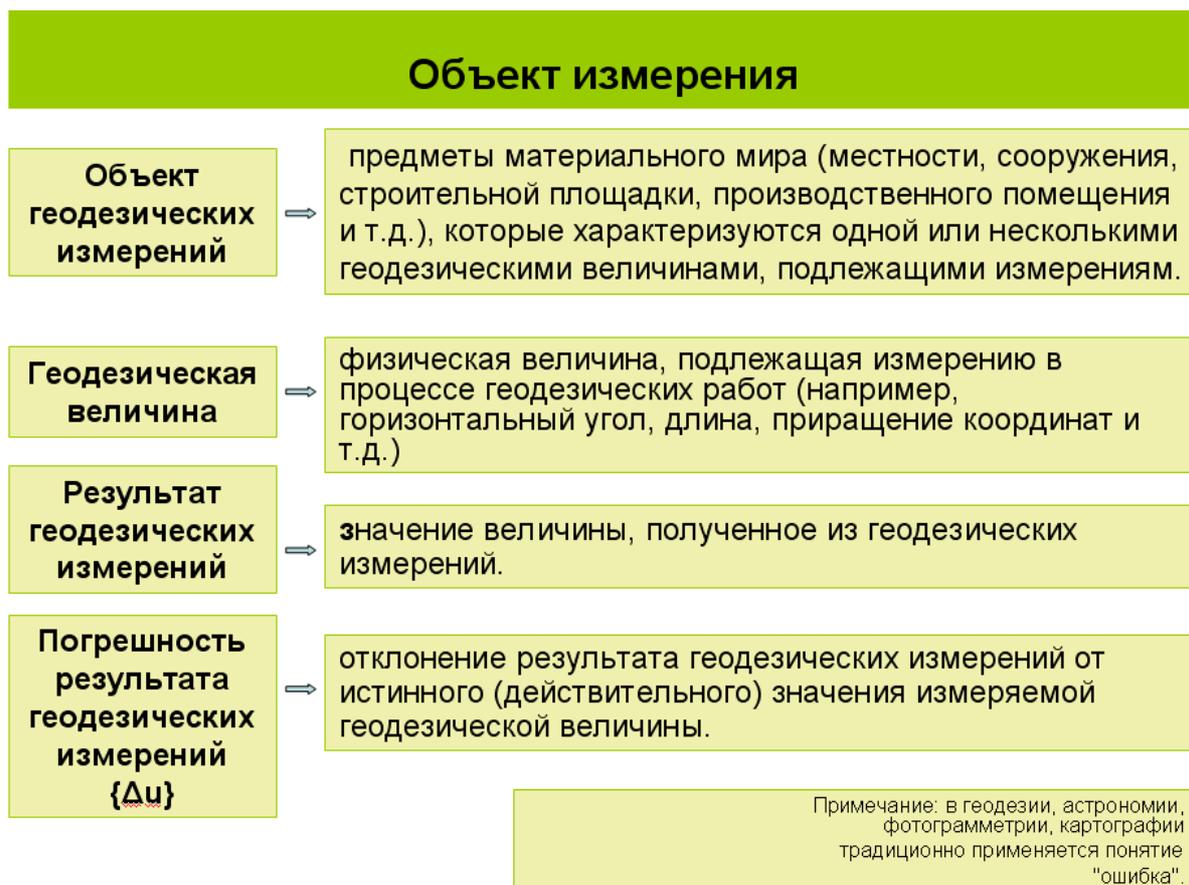
Регистрация измерений – запись в установленной последовательности на носителе результатов геодезических измерений.

На результаты измерений влияют различные факторы, все их можно свести к пяти группам: 1) объект измерения; 2) субъект измерения; 3) технические средства; 4) метод измерения; 5) внешняя среда.

1.6. Факторы, влияющие на результаты измерений



Рассмотрим отдельные группы факторов, оказывающих свое влияние на результаты измерения.



Субъект измерения

личная погрешность
геодезических измерений



составляющая погрешности
геодезических измерений,
обусловленная индивидуальными
особенностями наблюдателя.



ученик

и



профессионал

Технические средства

средство
геодезических
измерений

средство измерений, предназначенное для
выполнения геодезических измерений

Геодезическая
мера

средство геодезических измерений, предназначенное
для хранения и (или) воспроизведения одной или
нескольких значений геодезической величины
заданного размера.

Геодезический
эталон

т.е. **образцовое средство геодезических измерений** – средство геодезических измерений, предназначенное для хранения и (или) воспроизведения геодезической величины с установленной в поверочной схеме точностью и утвержденное в качестве поверочного средства в установленном порядке.

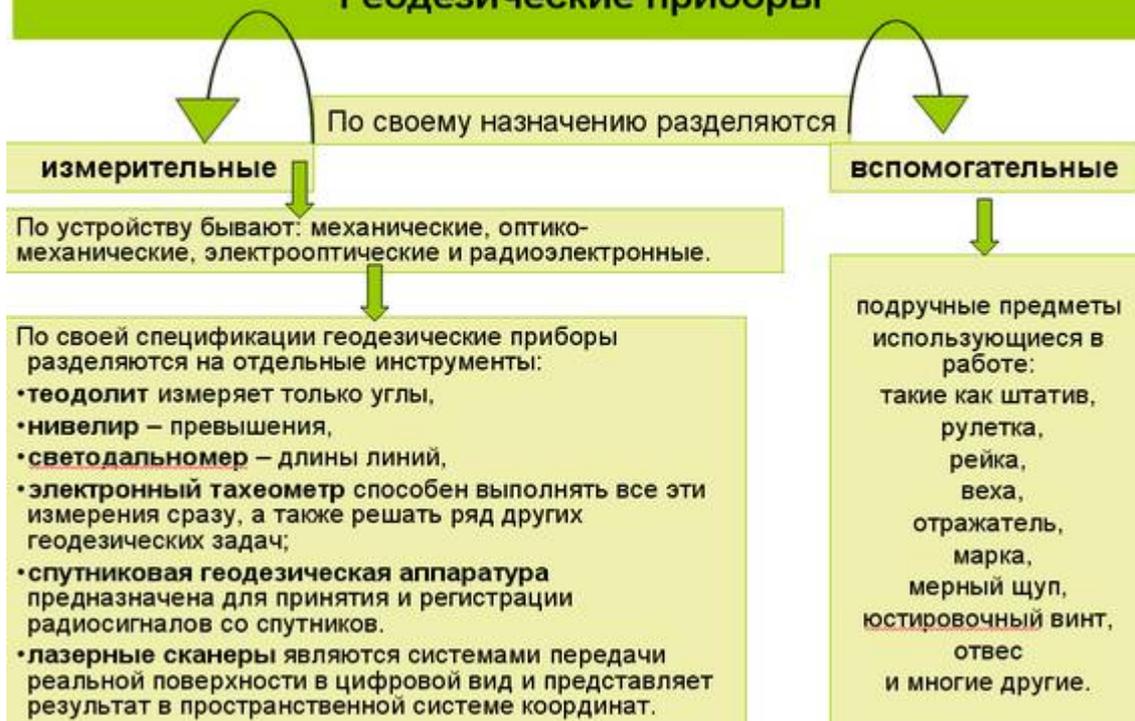
Геодезический
прибор

т.е. **геодезический инструмент** – средство геодезических измерений, предназначенное для получения измеряемой величины в установленном диапазоне в форме, доступной для непосредственного восприятия.

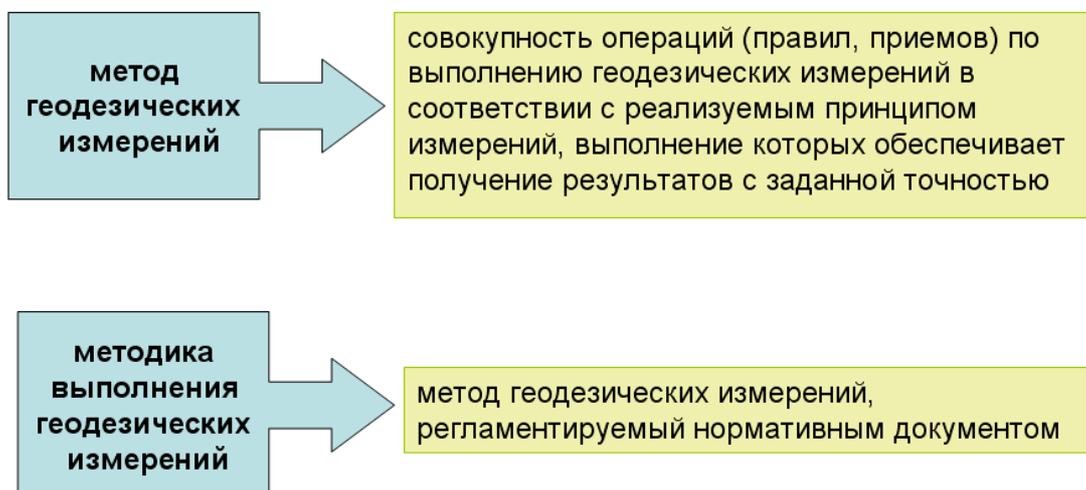
Принцип геодезических измерений – физическое явление, положенное в основу геодезических измерений

В геодезических средствах измерений используется ряд принципов, реализующих различные физические явления: оптический, оптико-механический, оптико-электронный, электромагнитный, импульсный, фазовый, спутниковый, доплеровский, интерференционный и др.

Геодезические приборы



Метод измерения



Внешняя среда

условия
проведения
геодезических
измерений

факторы внешней среды (климатические, механические, электромагнитные, световые, шумовые и т.п.), проявляющиеся на рабочем месте во время производства геодезических измерений.

Измерения в разных температурных условиях



Условия геодезических измерений весьма разнообразны: пески, снега, горы, равнины, стесненные условия...



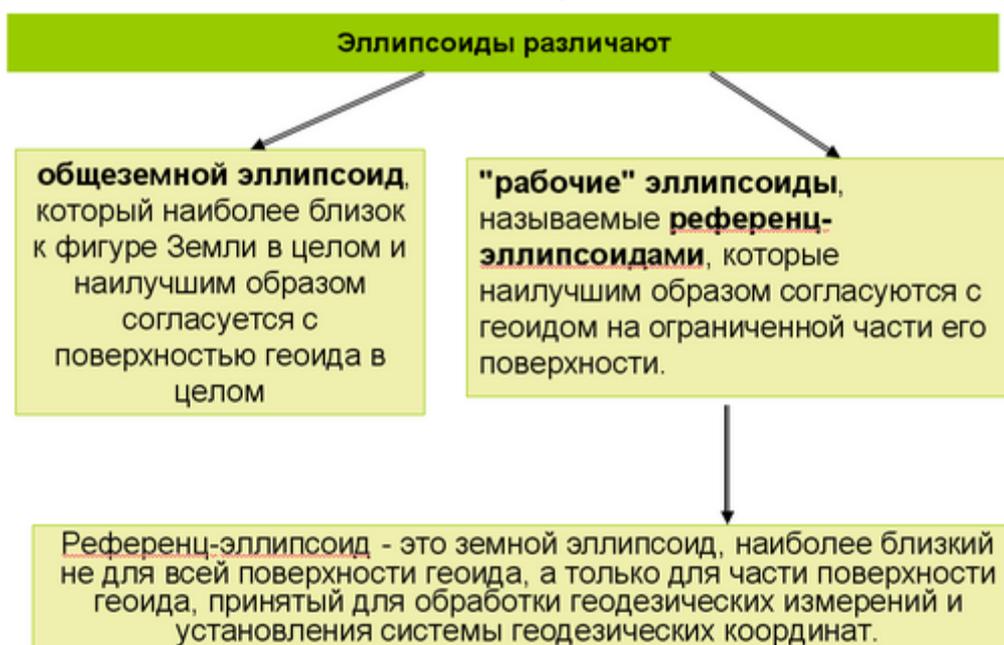
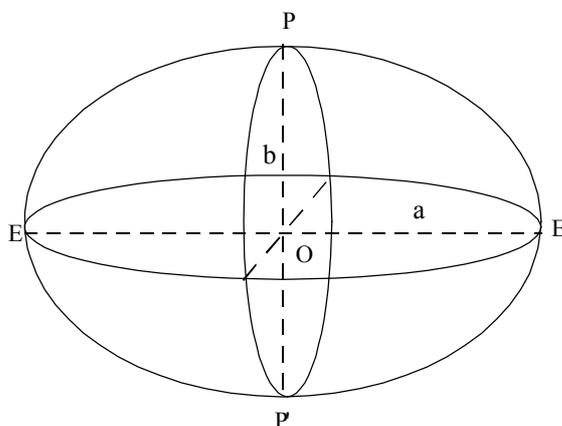
ТЕМА 2. СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В ГЕОДЕЗИИ

2.1. Форма и размеры Земли

Положение точек земной поверхности определяют относительно общей фигуры Земли. В зависимости от требуемой точности решения поставленных задач фигуру Земли принимают в виде:

– шара с радиусом $R = 6371,111$ км (чаще принимают в практике инженерной геодезии);

– двухосного эллипсоида вращения с полярным сжатием $\alpha = \frac{a - b}{a}$, где $a = 6378245$ м, – большая полуось, $b = 6356863$ м, – малая полуось. Такая фигура получается при вращении эллипса вокруг его малой оси PP_1 ;



Референц-эллипсоид принимается для одного государства или группы соседних государств. В России принят референц-эллипсоид Красовского. Он применяется для всех стран бывшего СССР, в странах вос-

точной Европы, Китае, Индии, КНДР, Южной Корее, Монголии и в других странах. Размеры выведены в 1940 г. в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэросъемки и картографии (ЦНИИГАиК) советским геодезистом А. А. Изотовым на основании исследований, проведенных под общим руководством Ф. Н. Красовского. Размеры эллипсоида Красовского были выведены из градусных измерений, произведенных на территории бывшей СССР, стран Западной Европы и США. Хотя названные градусные измерения вместе с определениями силы тяжести приводили к заключению, что фигура геоида может быть более правильно представлена трёхосным эллипсоидом, всё же эллипсоид был принят в виде эллипсоида вращения.

В США и ряде европейских стран для обработки геодезических измерений принят эллипсоид Хейфорда. Размеры различных эллипсоидов приведены в таблице ниже;

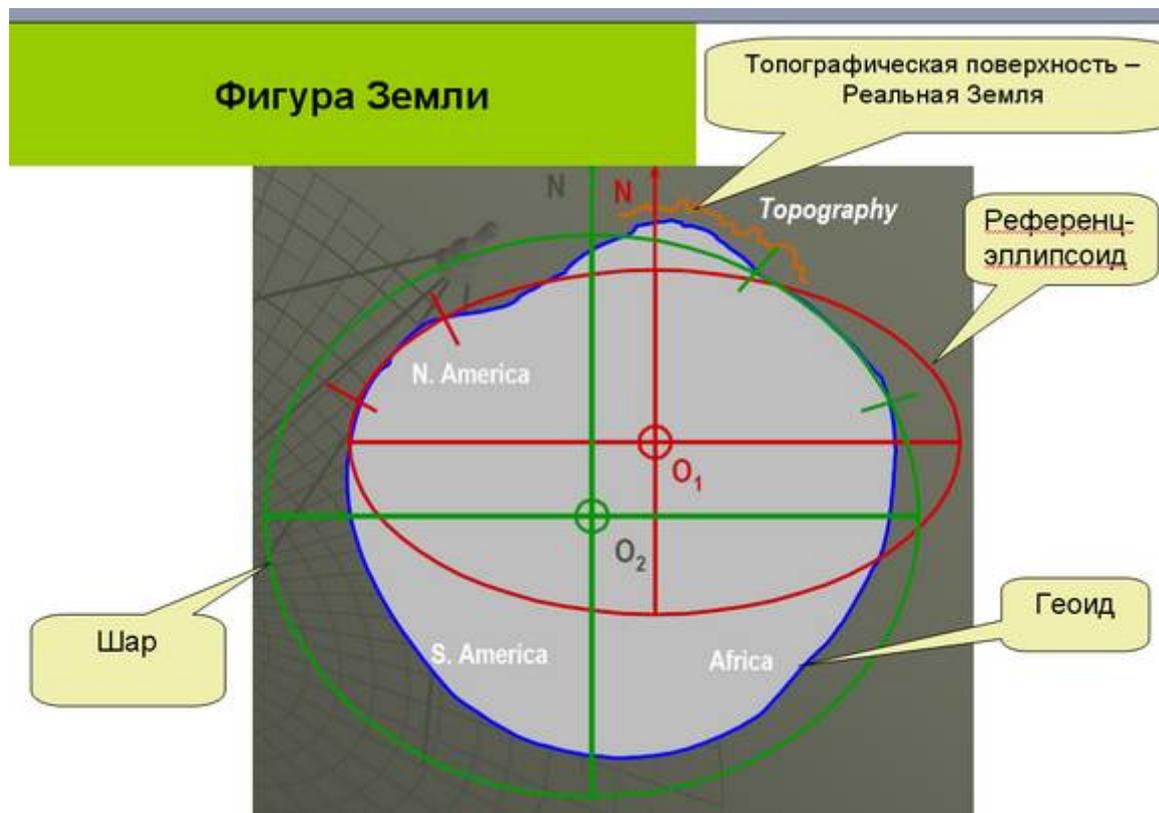
Ученый	Государство	Год	Полуось a , м	α
Д'Аламбер	Франция	1800	6375653	1 : 334,0
Бессель	Германия	1841	6377397	1 : 299,2
Эйри	Великобритания	1849	6377563	1 : 299,3
Кларк	США	1866	6378206	1 : 295,0
Красовский	СССР (СК-42)	1940	6378245	1 : 298,3
WGS-84	СНГ, США	1984	6378137	1 : 298,257
ПЗ-90	СНГ, США	1990	6378136	1 : 298,3

– трехосного эллипсоида вращения с полярным и экваториальным сжатиями;

– геоида. Так как более 70 % земной поверхности покрыто морями и океанами, то за фигуру Земли принимают фигуру, совпадающей со средним уровнем Мирового океана в спокойном состоянии. Такая поверхность в каждой своей точке перпендикулярна к направлению линии силы тяжести, т. е. горизонтальна, ее называют **уровенной поверхностью Земли**. Продолженная под материками так, чтобы в любой точке отвесная линия была к ней перпендикулярна, эта поверхность названа **геоидом**. Этот термин введен и. Листингом в 1873 г. и означает «землеподобный». Поверхность имеет сложную волнообразную форму и очень сложна для математической обработки;

– реальной Земли. Физическая поверхность Земли имеет достаточно сложную форму: океанические впадины, горные хребты, равнины. В строгом понимании за **фигуру Земли** принимают фигуру, ограниченную фи-

зической поверхностью Земли, т.е. поверхностью суши и невозмущенной поверхностью морей и океанов.



2.2. Системы координат

Координатами называются угловые и линейные величины, определяющие положение точки на земной поверхности.

Система координат – опорная система для определения положения точек в пространстве или на плоскостях и поверхностях относительно выбранных осей, плоскостей или поверхностей.

В геодезии применяется большое количество систем координат.

Основные из них:

- общеземные системы,
- референчные системы,
- системы астрономических и геодезических координат,
- пространственные прямоугольные
- системы прямоугольных координат на плоскости.

Общеземные системы координат – те, где совмещены их начала с центром масс Земли. Например, географические координаты

Референчные системы – в которых их начало находится на удалении десятков и сотен метров от центра масс Земли.

В **астрономической** системе координат положение точки определяется относительно отвесной линии к геоиду и оси вращения Земли.

В **геодезической** системе координат точка сносится по нормали на эллипсоид вращения.

В общеземных и референчных системах положения точек могут задаваться

- пространственными прямоугольными координатами X, Y, Z ;
- геодезическими координатами B, L, H ;
- плоскими прямоугольными координатами X, Y в различных проекциях;
- полярными;
- и другими координатами.

Между координатами одной системы существуют однозначные математические связи. А для установления связей между одноименными координатами разных систем, например, между пространственными прямоугольными координатами двух референчных систем, необходимы параметры перехода.

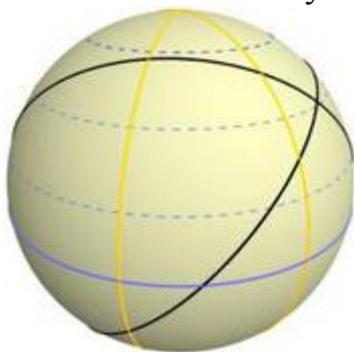
Любые системы координат задаются **каталогами координат геодезических пунктов**. Общеземные системы задаются координатами пунктов сетей, создаваемых в основном методами космической геодезии.

Референчная система с начальным пунктом Пулково создана с помощью астрономо-геодезической сети. Через эту же сеть распространяется на всю территорию страны общеземная система.

В геодезии применяют также Декартову системы координаты – прямоугольную систему координат, применяющуюся в математике и эллипсоидальную систему координат, исходящую из теории гравитационного потенциала.

2.2.1. Астрономическая система координат

Ещё в древнем Вавилоне Землю по экватору разделили на 360° . Во II веке до н.э. древнегреческий учёный Гиппарх впервые провёл меридианы и параллели, которые образовали на земной поверхности сетку координат. Эта сетка используется при определении астрономических координат.



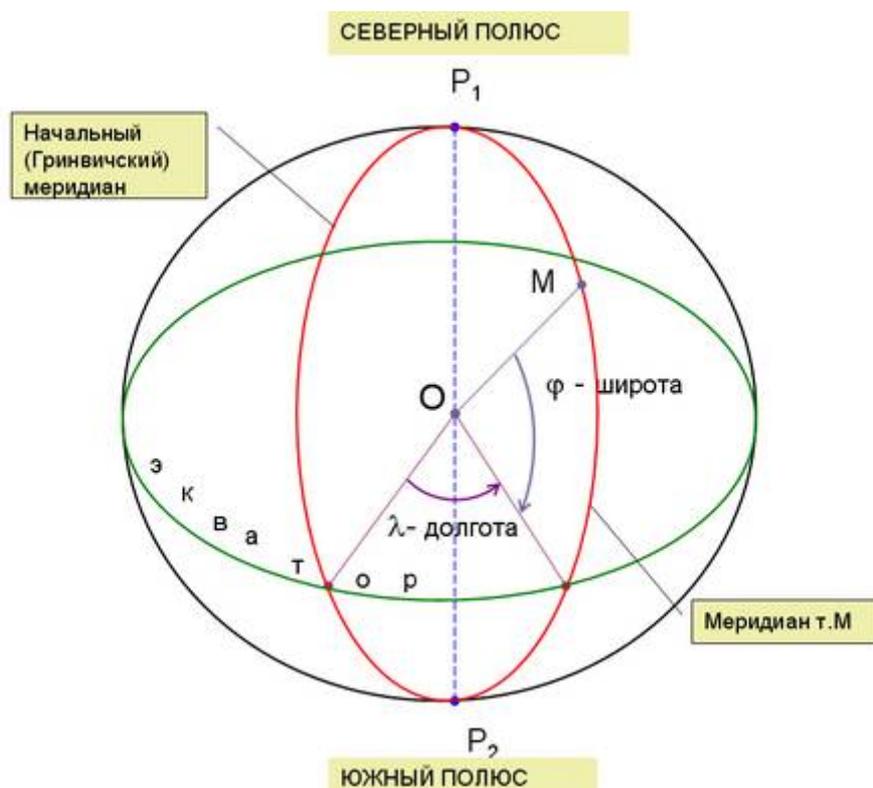
Параллель — линия сечения поверхности земного шара плоскостью, параллельной плоскости экватора. Параллели показаны синими прерванными линиями. На глобусе параллель рисуется в виде окружности, все точки которой равноудалены от экватора. Длины параллелей различны — они увеличиваются при приближении к экватору и уменьшаются к полюсам. Все точки одной параллели имеют одинаковую широту, но различную долготу.

Меридиан — след от линии сечения поверхности земного шара плоскостью, проведённой через какую-либо точку земной поверхности и ось вращения Земли. На рисунке меридианы показаны жёлтым цветом.

Каждый меридиан пересекается со всеми остальными в двух точках на северном и южном полюсе. Длины всех меридианов на глобусе равны. Все точки одного меридиана имеют одинаковую долготу, но разную широту. В международной практике за начальный меридиан принят **Гринвичский**, проходящий через Гринвич – административный округ Лондона, располагающийся на юго-востоке британской столицы, на правом берегу Темзы.

Астрономической широтой φ точки M называется угол между отвесной линией в этой точке и плоскостью экватора квазигеоида. Широта изменяется от экватора к Северному или Южному полюсам от 0 до 90°. Северная широта имеет знак (+), южная – знак (-).

Астрономической долготой λ точки M называется двугранный угол между плоскостью начального (Гринвичского) меридиана и плоскостью астрономического меридиана данной точки. Долгота отсчитывается в России с запада на восток и изменяется от 0 до 360°. В некоторых странах долгота изменяется от 0 до 180° на запад и на восток.

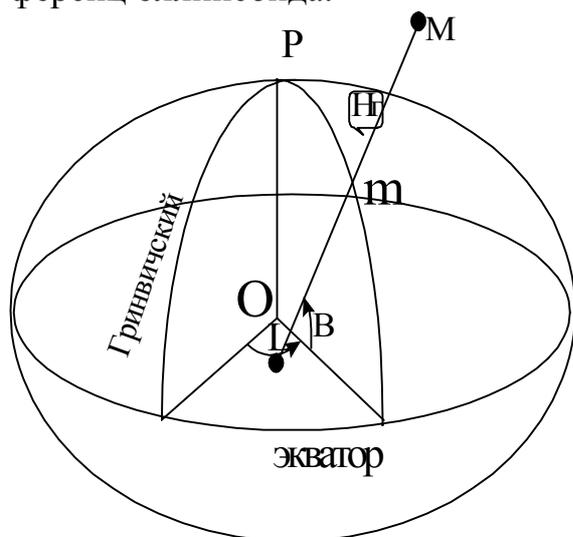


В этой системе высоту точки H_0 отсчитывают по отвесной линии от поверхности квазигеоида (геоида) и называют **ортометрической высотой**. В обычной практике мы чаще имеем дело с ортометрическими высотами,

которые называют **абсолютными**, если счет ведется от основной уровенной поверхности – геоида, совпадающей в России с уровнем Балтийского моря, и **относительными**, если отсчетной поверхностью выбрана любая другая уровенная поверхность.

2.2.2. Геодезические координаты

Система геодезических координат (B, L, H_G) определяет положение точки земной поверхности относительно начала координат принятого референц-эллипсоида.



Геодезической широтой B точки M и ее проекции точки m называется угол B , образованный нормалью к поверхности в точке M и плоскостью экватора.

Геодезической долготой L называется двугранный угол, образованный плоскостью начального (Гринвичского) меридиана и плоскостью меридиана данной точки m .

Геодезической высотой H_G называется расстояние между поверхностью эллипсоида и данной точкой M , отсчитываемое по нормали. Началом координаты H служит нульпункт Кронштадтского футштока. В этой точке принимают $H_G = 0$, а поверхности геоида и эллипсоида совпадают.

Высота морей над Кронштадтским футштоком (в метрах)	
• Балтийское море	0,00 м
• Черное море	-0,35 м
• Азовское море	-0,39 м
• Каспийское море	-25,69 м
• Белое море	-0,52 м
• Тихий океан	-1,87 м

Для связи между геодезической и астрономической системами координат служат формулы $B = \varphi - \xi$, $L = (\lambda \cdot \cos B - \eta) \cdot \sec B$.

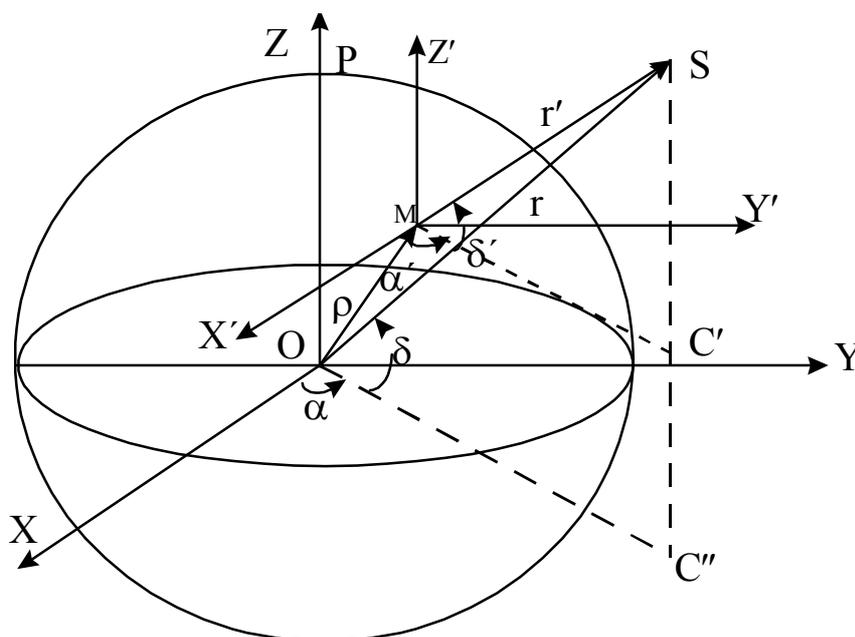
В инженерной практике обычно эти две системы координат объединяют и называют обобщенно – географические координаты. Это связано с тем, что расхождение между геодезической и астрономической системами координат незначительно, может достигать 3-4", а координаты в двух рассматриваемых системах могут различаться до 100 м.

Географические координаты могут быть распространены на всю поверхность земного эллипсоида. В том их большое достоинство. Однако их применение в массовых геодезических работах затруднительно, поскольку оно связано со сложными вычислениями. Поэтому эти координаты применяют при картографировании, навигации, создании и использовании геоинформационных систем (ГИС) и т. д.

2.2.3. Геоцентрическая и топоцентрическая системы координат

В космической геодезии применяется несколько систем координат, определяющих положение спутника в космическом пространстве. Для понимания метода спутникового определения координат пунктов, приведем геоцентрическую и топоцентрическую системы.

Теория движения ИСЗ строится в геоцентрической системе, где центр системы совпадает с центром масс Земли. Ось Z направлена по малой полярной оси, ось X направлена в точку пересечения экватора с Гринвичским меридианом, ось Y дополняет систему до прямоугольной. Система включает координаты: угол α – геоцентрическое прямое восхождение спутника S , δ – геоцентрическое склонение спутника S , r – геоцентрический радиус-вектор спутника



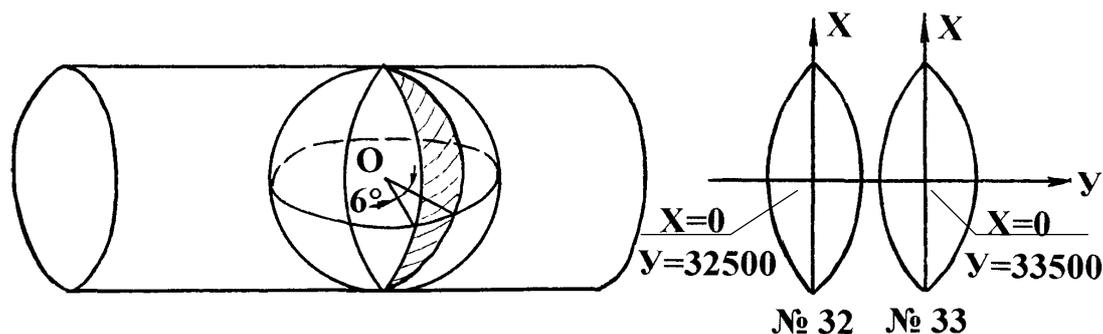
При наблюдениях спутников контроль их движения выполняют не из центра масс Земли, а из точки пункта наблюдения M с поверхности Земли. При этом используют топоцентрическую систему, в которой координаты пункта наблюдения M служат началом топоцентрической системы. Оси X' , Y' , Z' параллельны осям геоцентрической системы, α' , δ' – топоцентрическое прямое восхождение и склонение спутника S , ρ – геоцентрический радиус-вектор пункта наблюдений и r' – топоцентрический радиус-вектор спутника S .

В инерциальной геоцентрической системе ось X направлена в точку весеннего равноденствия и смещена относительно оси X в Гринвичской геоцентрической системе на среднее Гринвичское звездное время, отнесенное к эпохе t_0 . На эту же величину изменяется и топоцентрическая инерциальная система.

Глобальная геодезическая сеть создается с помощью спутников, координаты которых определяют в геоцентрической Гринвичской системе. Переход от одной системы к другой происходит по разработанным программам на ПК.

2.2.4. Зональная система плоских прямоугольных координат Гаусса-Крюгера

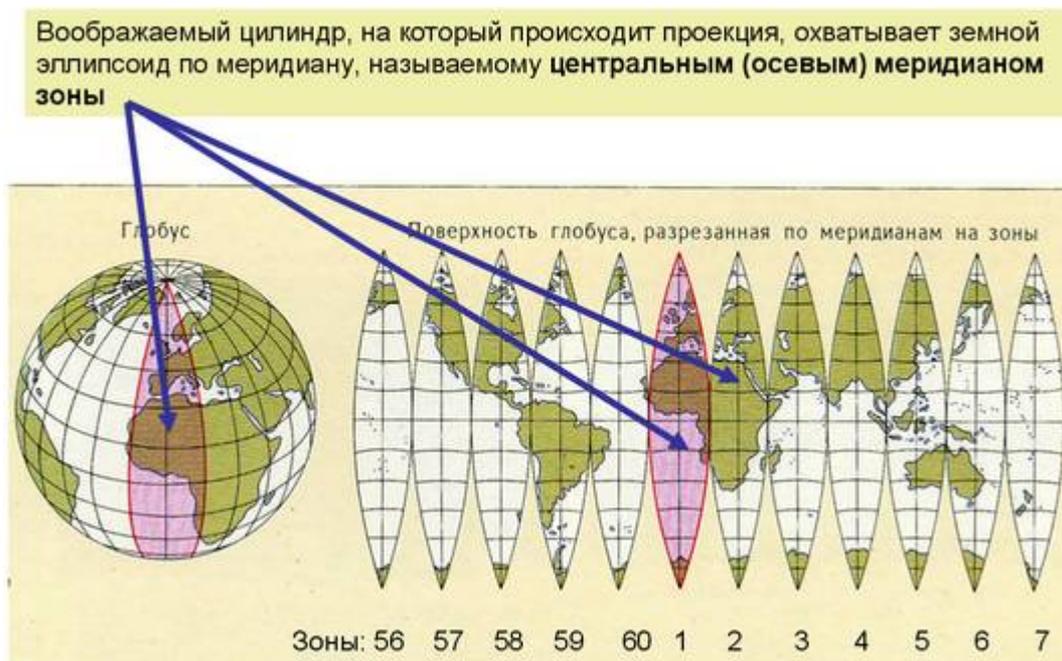
Для проектирования поверхность Земли разбивают меридианами на шестиградусные или трехградусные зоны, каждую из которых центрально проектируют на касательный цилиндр, а затем разворачивают в плоскость. **Зона** – это участок земной поверхности, ограниченный двумя меридианами.



Таким образом, получают 60 шестиградусных зон, счет которых идет с запада на восток. Средний меридиан зоны называется осевым.

Зоны нумеруются с запада на восток, начиная с 0° (Гринвичского меридиана): зона 1 простирается с меридиана 0° до меридиана 6° , ее осевой меридиан 3° . Зона 2 – с 6° до 12° , и т. д.

Координаты г. Кемерово: широта $55^\circ 20' 00''$ с. ш.; долгота $86^\circ 04' 00''$ в. д. Город расположен в зоне 15: от 84° до 90° в. д.



Свойства проекции Гаусса–Крюгера:

1) в этой проекции углы между направлениями передаются без искажений, поэтому проекцию называют **равноугольной, конформной**;

2) осевой меридиан зоны изображается на плоскости прямой линией и принимается за ось абсцисс X . Начало координат в каждой зоне – точка пересечения осевого меридиана с экватором. Осевой меридиан изображается без искажений. Долготу осевого меридиана определяют по формуле

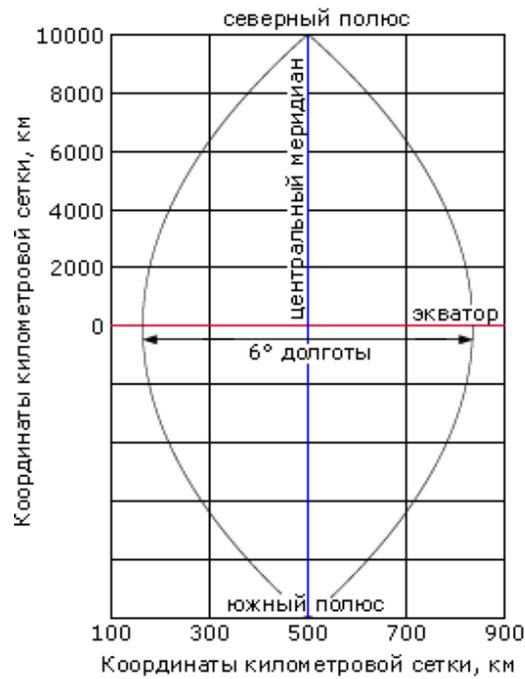
$$L_0 = 6^\circ n - 3^\circ - \text{для шестиградусных зон,}$$

$$L_0 = 3^\circ k - \text{для трехградусных зон;}$$

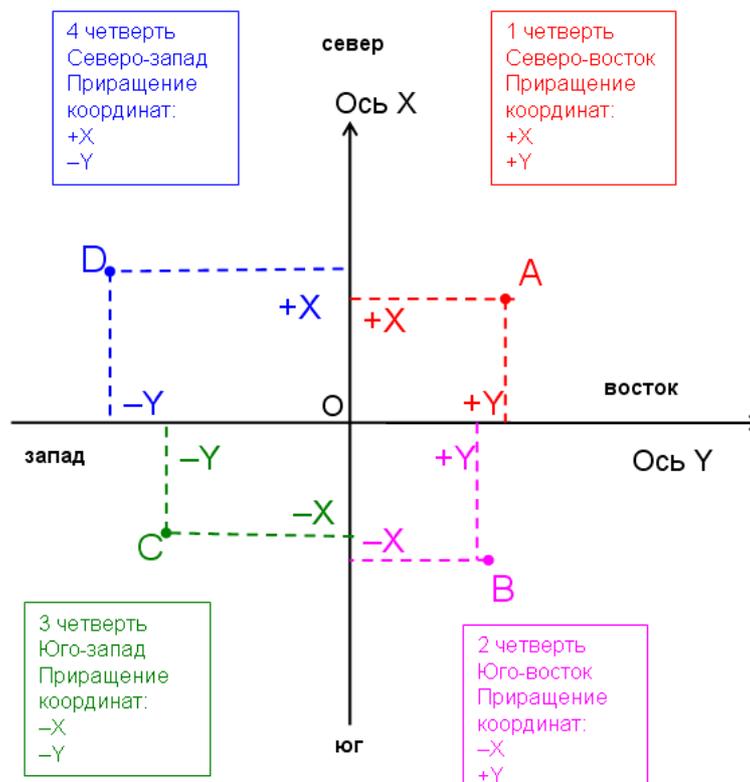
где n – номер шестиградусной зоны; k – номер трехградусной зоны;

3) за ось ординат Y принимается изображение экватора на плоскости, который также изображается прямой линией, однако длины линий по экватору изображаются с искажениями масштаба.

На территории России все абсциссы X имеют знак «плюс». Чтобы избежать отрицательных ординат, к началу координаты Y в каждой зоне прибавляют 500 км. Для исключения неопределенности в координатах Y обязательно впереди указывают номер зоны. Например: $Y_1 = 6\ 311$ км означает, что точка 1 расположена в 6-й зоне, к западу от осевого меридиана на расстоянии 189 км: $Y' = Y - 500 \text{ км} = 311 \text{ км} - 500 \text{ км} = -189 \text{ км}$. Другой пример: точка 2 имеет координату $Y_2 = 4\ 708$ км. Это означает, что она расположена в 4 зоне на расстоянии $708 \text{ км} - 500 \text{ км} = 208 \text{ км}$ к востоку от осевого меридиана.



На плоскости в применяемой системе координат счет четвертей и правило знаков для приращений координат показаны ниже.



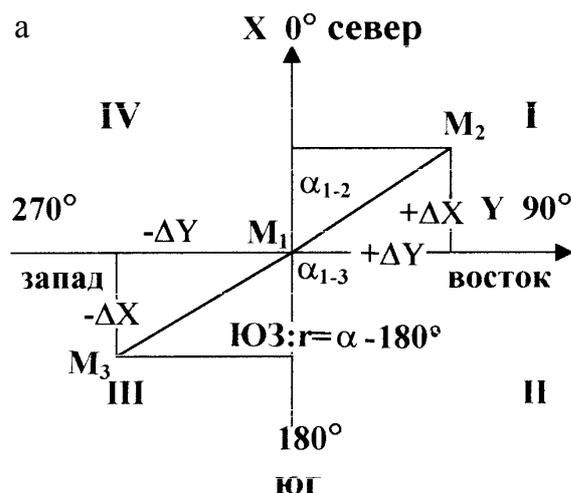
Значения ординат конечных точек измеряемой линии необходимо знать для вычисления поправок за переход от линии на эллипсоиде $S_{эл}$ к линии D на поверхности проекции Гаусса-Крюгера: $\Delta S_{ГК} = \frac{Y_m'^2}{2R^2} S_{эл}$. В этой

формуле $Y'_m = \frac{Y'_1 + Y'_2}{2}$ – средняя ордината концов линии, приведенная к

осевому меридиану. Поправку необходимо вычислять при обработке опорных геодезических сетей и сетей сгущения во всех случаях, кроме вычислений в разрядной полигонометрии длин линий менее 200 м при $Y_m < 20$ км, т.к. в этом случае величина поправки будет менее 1 мм.

2.2.5. Плоская условная система прямоугольных координат

Если геодезические работы производятся на участках, позволяющих пренебречь сферичностью Земли (20 км на 20 км), то используется условная система плоских прямоугольных координат. Эту систему образуют две взаимно перпендикулярные оси X и Y . Ось X совпадает с северным направлением меридиана, ось Y направлена с запада на восток. Четверти нумеруются по ходу часовой стрелки. Пересечение осевых линий, точка O – начало координат. Положение точки определяется координатами X и Y со знаками (+) или (-) в зависимости от четверти.



б

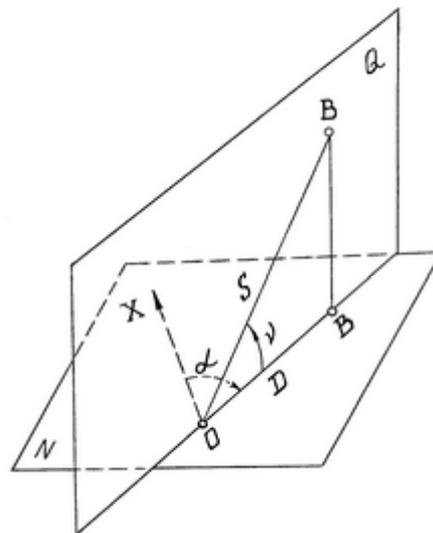
Чет- верти	ΔX	ΔY	Дирекци- онный угол α
I	+	+	0-90°
II	-	+	90-180°
III	-	-	180-270°
IV	+	-	270-360°

2.2.6. Система полярных координат

Полярная система координат находит широкое применение в геодезии (опорные сети и сети сгущения, топографические съемки, межевание, тригонометрическое нивелирование и др.).

Полярная система координат определяет положение точки в горизонтальной или вертикальной плоскостях следующими параметрами: **радиусом – вектором**, проведенным из начала координат до определяемой точки, и **полярным углом**, отсчитываемым по часовой стрелке от начальной координатной оси до направления на определяемую точку.

На рисунке представлены две системы координат: в горизонтальной плоскости N и вертикальной плоскости Q . В **горизонтальной плоскости** положение точки B_0 определяется дирекционным углом α и горизонтальным проложением D . В **вертикальной плоскости** положение точки B определяется углом наклона ν и наклонным расстоянием S . В этих случаях α и ν – полярные углы. При топографических съемках обычно находят пространственное положение точки, одновременно в горизонтальной и вертикальной плоскостях.



ТЕМА 3. ПОНЯТИЕ О ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ И ПЛАНАХ

3.1. Понятие о карте, плане, профиле

Для решения различных практических и инженерных задач пользуются изображениями земной поверхности, которые представляют в виде планов и карт профилей, либо в виде их электронных аналогов – цифровых моделей местности (ЦММ) или электронных карт. На них представлены контуры объектов местности (лесов, угодий, рек и озер, дорог, зданий и сооружений, линий электропередач, линий связи) и рельеф местности.

Работать с изображениями контуров местности на сфере неудобно, поэтому чаще всего в геодезии прибегают к плоским изображениям земной поверхности. **Картой** называется уменьшенное и искаженное вследствие кривизны поверхности изображение Земли на плоскости.

При небольших размерах (до 20 км) проектируемых участков местности последние можно изображать на плоскости P . При этом используют **ортогональный** метод проектирования, при котором точки земной поверхности A, B, C, D проектируют отвесными линиями на уровенную (горизонтальную) поверхность P и получают **горизонтальную проекцию** соответствующих точек физической земной поверхности a, b, c, d .

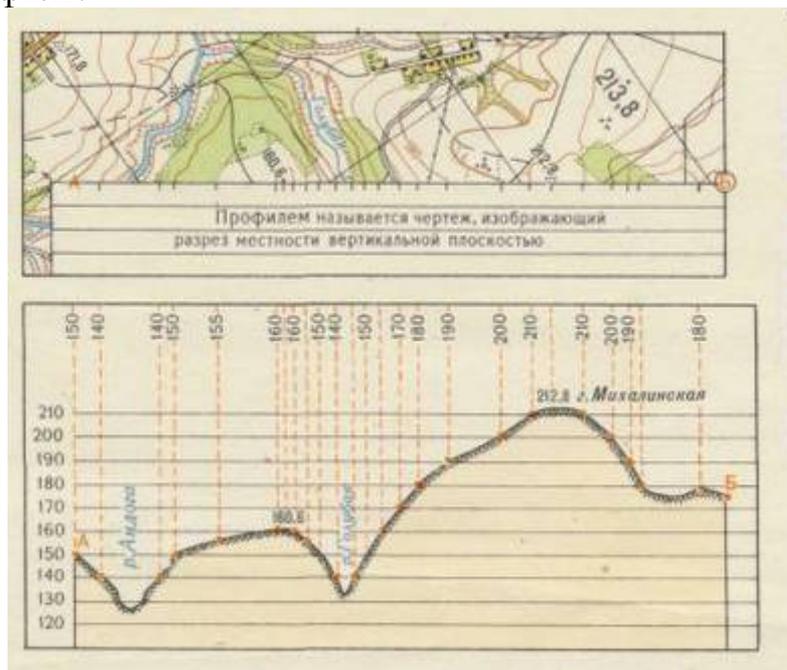
Ортогональные проекции линий и площадей пространственных объектов местности будут в общем случае меньше их физических величин, а проекции углов могут быть больше и меньше физических. Равенство физических величин и их проекций обеспечивается лишь для горизонтальных контуров земной поверхности.

В результате ортогональной проекции получают план местности – изображение относительно небольших участков на плоскости без учета кривизны земной поверхности.

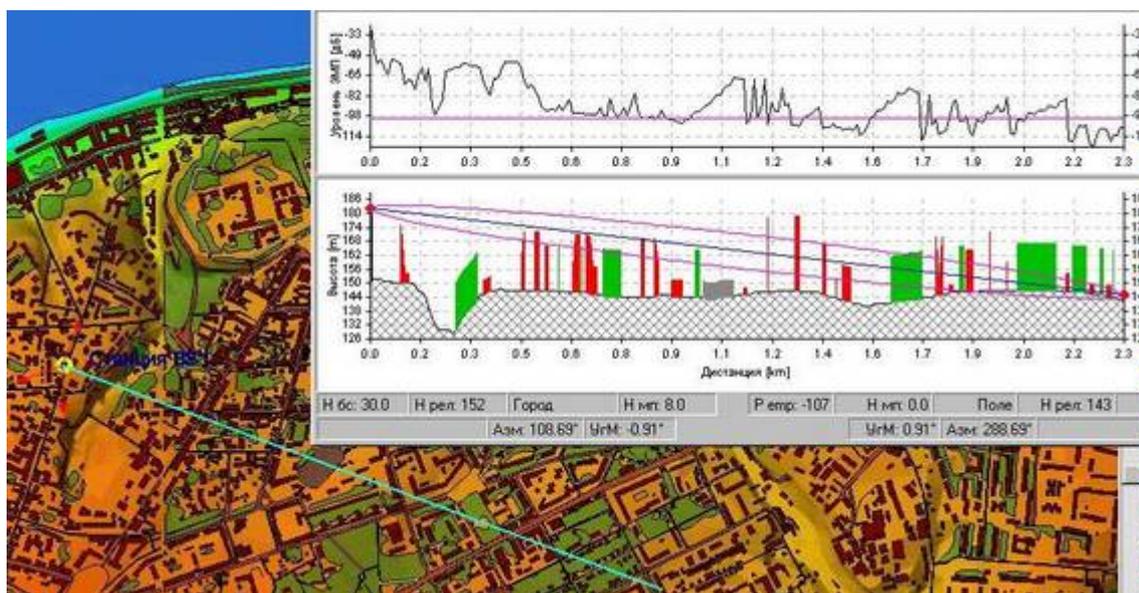


Профилем называется вертикальное сечение; разрез какого-либо участка земной поверхности, земной коры, гидросферы, атмосферы или географической оболочки в целом по заданной линии.

По горизонтальной оси профиля откладываются расстояния, по вертикальной – высоты или глубины. Профиль земной поверхности строится по горизонталям и высотным отметкам топографической или гипсометрической карты. Если под ним нанести слои горных пород, это позволит видеть соотношение рельефа и геологического строения, это называется геологический профиль.



С помощью профиля можно определить «видимость» между двумя точками. «Видимость» – это отсутствие на данном отрезке препятствий, мешающих наблюдению, возможность увидеть удаленный предмет.



3.2. Масштабы. Точность масштабов. Масштабный ряд

При создании планов и карт применяют масштабы: численные, линейные и поперечные. **Масштабом** плана называется отношение длины линии на плане к горизонтальному проложению соответствующей линии местности. **Горизонтальное проложение** – это проекция измеренного расстояния на горизонтальную плоскость.

Численный масштаб записывают в виде дроби, где числитель всегда равен единице, а знаменатель – степень уменьшения изображения предмета по отношению к самому предмету. Например: $1:M = 1:1000$. Аналогичная запись $1/M = 1/1000$ или $\frac{1}{M} = \frac{1}{1000}$. В данном примере $M = 1000$, т.е. степень уменьшения составляет тысячу раз, и потому 1 сантиметру на плане соответствует 1000 сантиметров (10 метрам) на местности.

Для определения численного масштаба берут отношение длины линии на плане (карте) d к горизонтальному проложению этой же линии на местности S : $\frac{1}{M} = \frac{d}{S}$

Численный масштаб – величина безразмерная, поэтому им можно пользоваться при измерениях в любых линейных мерах. Длины на местности принято измерять в метрах, а на планах и картах – в миллиметрах и сантиметрах. Поэтому на картах и планах ниже подписи численного масштаба приводится **пояснительный масштаб**: «В 1 сантиметре 10 метров», что соответствует численному масштабу 1:1000. В табл. 1 показано соответствие масштабов.

Таблица соответствия масштабов

Масштаб	Соответствие горизонтального проложения линии одному сантиметру отрезка на плане
1:50	50 сантиметров на местности
1:100	1 метр на местности
1:200	2 метра на местности
1:500	5 метров на местности
1:1000	10 метров на местности
1:2000	20 метров на местности
1:5000	50 метров на местности
1:10000	100 метров на местности
1:25000	250 метров на местности
1:50000	500 метров на местности
1:100000	1000 метров или 1 километр на местности
1:200000	2 километра на местности
1:300000	3 километра на местности
1:500000	5 километров на местности
1:1000000	10 километров на местности

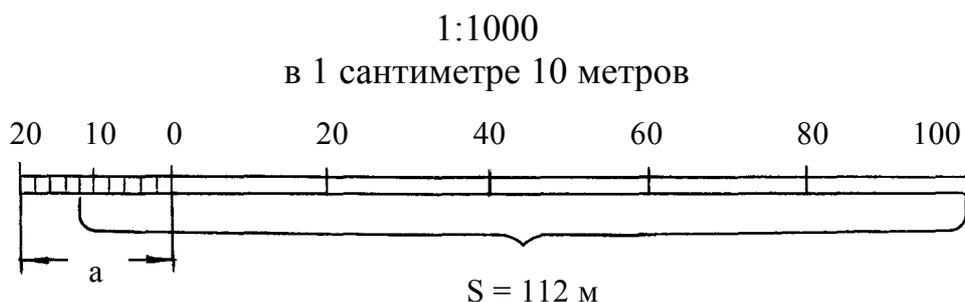
Карты составляются в стандартных масштабах. Чем больше знаменатель, тем мельче масштаб карты (плана) и, наоборот, чем меньше знаменатель, тем крупнее масштаб карты (плана). К **мелкомасштабным картам** относят карты масштабов 1:1 000 000, 1:500 000; 1:200 000; 1:100 000 и 1:50 000. **Среднемасштабные карты** имеют масштабы 1:25 000 и 1:10 000. Топографические карты масштабов 1:5 000; 1:2 000, а также планы 1:1 000 и 1:500 называются **крупномасштабными**.

Графической точностью построения точки на карте или плане принято считать величину $\pm 0,1$ мм, что соответствует уколу иглы на бумаге. **Точностью масштаба** называется величина диаметра круга местности, соответствующая в масштабе данной карты предельной графической точности 0,1 мм.

Для определения расстояний на карте часто применяют графические изображения численного масштаба: **линейный масштаб** или **поперечный**. **Основание графического масштаба**, т.е. длина откладываемых отрезков, принимается обычно 1, 2, 4, 5 сантиметров. Для рассматриваемого ниже примера основание масштаба принимается 2 сантиметра, а величина масштаба 1:1000 составила 20 метров (в 1 см 10 м, а в 2 см 20 м). Разделим левое основание на 10 частей. Одному делению левого отрезка в 2 миллиметра соответствует 2 метрам на местности. Вправо от нуля оцифровываем линейный масштаб в нарастающем порядке. Каждая линия, определяемая на линейном масштабе, складывается из двух частей:

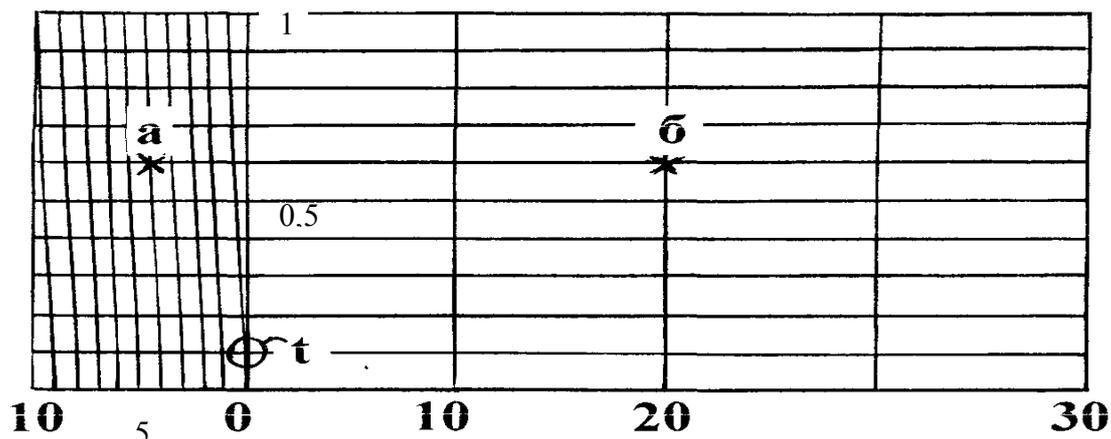
1. числа целых оснований от нуля до правой ножки циркуля;
2. числа десятых долей основания от нуля до левой ножки циркуля.

На рисунке ниже показан отрезок, соответствующий на местности длине $S = 100 \text{ м} + (6 \text{ отрезков} \times 2 \text{ м}) = 112 \text{ м}$.



Основание масштаба $a = 2 \text{ см}$

Для более точных измерений на картах и планах применяют поперечный масштаб. На рисунке показан нормальный сотенный поперечный масштаб. Так его называют потому, что в левой части разделен на 10 отрезков по горизонтали и на 10 отрезков по вертикали.



1:500

В 1 сантиметре 5 метров

В 2 сантиметрах 10 метров

Наклонные линии в левой части масштаба – трансверсали – проводятся параллельно друг другу. Между нулевой вертикальной линией и нулевой трансверсалью образуется вытянутый вверх клин, горизонтальные отрезки которого увеличиваются на величину t , соответствующей точности поперечного масштаба: $t = a \cdot M/nm$, где a – основание, n – число наклонных и m – число горизонтальных линий. Так для масштаба 1:500 с основанием $a = 2$ см, $n = 10$, $m = 10$, $t = 2$ см $500/100 = 10$ см = 0,1 м. Таким образом, **точностью поперечного масштаба t** называют его наименьшее деление, выраженное в масштабе плана. При пользовании поперечным масштабом важно подписать каждый горизонтальный и вертикальный отрезок сетки, только в этом случае можно избежать многочисленных ошибок.

Измерение длин линий выполняют только по горизонтальным линиям, ножки циркуля-измерителя ставят только в узлах сетки. На вышеприведенном рисунке поперечный масштаб соответствует численному масштабу 1:500, длина линии а–б состоит из нескольких отрезков: двух по 10 м, четырех по 1 м, одного короткого в 0,6 м.

$$D_{аб} = 2 \times 10 \text{ м} + 4 \times 1 \text{ м} + 1 \times 0,6 \text{ м} = 24,6 \text{ м}.$$

3.3. Номенклатура карт и планов

Номенклатурой называют буквенно-цифровое обозначение отдельных листов топографических карт и планов.

Исходной картой номенклатуры является карта масштаба 1:1 000 000. Для получения одного листа карты этого масштаба весь земной шар делят меридианами от Гринвичского меридиана через 6° по долготе на 60 колонн, которые нумеруются арабскими цифрами на восток от 180-градусного меридиана, как показано на рисунке ниже. Таким образом, номер колонн отличается от номера 6-градусной зоны на 30. Каждая колонна

делится параллелями через 4° по широте на ряды (пояса), обозначаемые прописными буквами латинского алфавита, к северу и югу от экватора. Таким образом, вся поверхность земного шара изображается на 2640 листах.

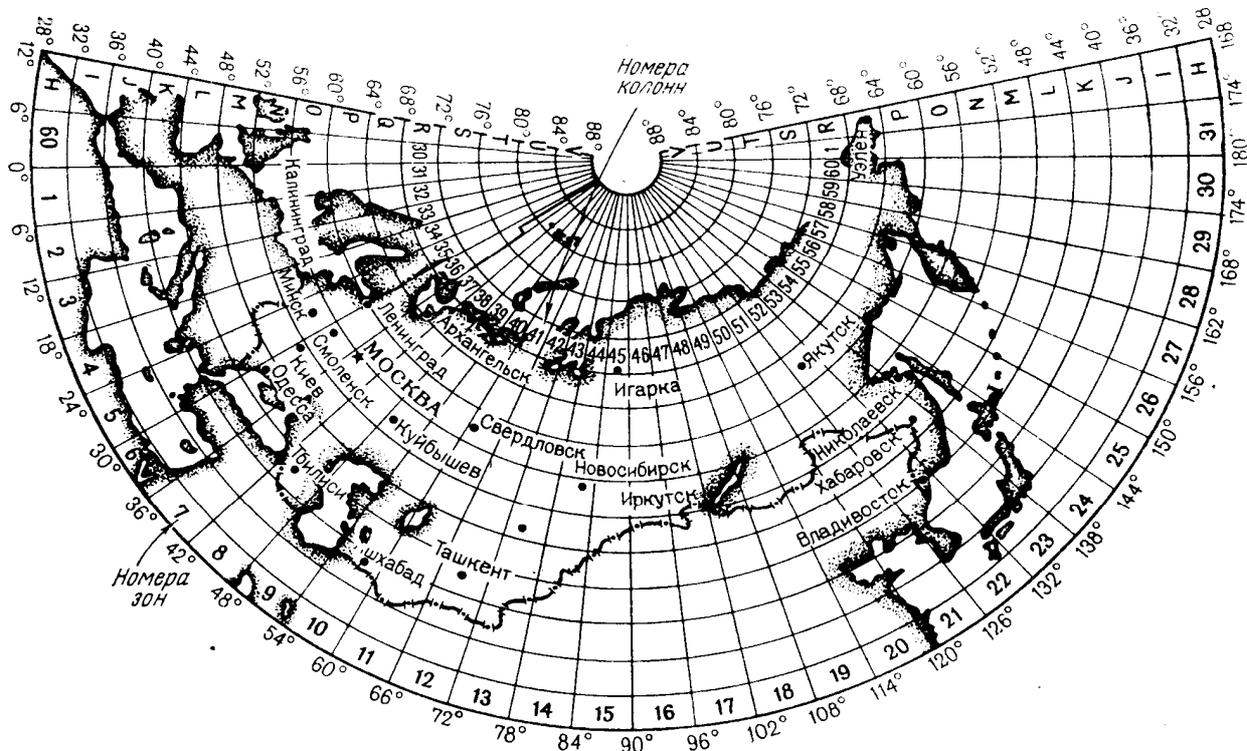


Схема разграфки и номенклатура международной карты 1:1 000 000

На территории России номер зоны на 30 единиц меньше номера колонны. Если нужен лист с изображением на нем Новосибирска и области, указывают номенклатуру $N-44$, если Кемеровской области – $N-45$.

Деление листа карты одного масштаба на листы карты более крупного масштаба называют **разграфкой карты**.

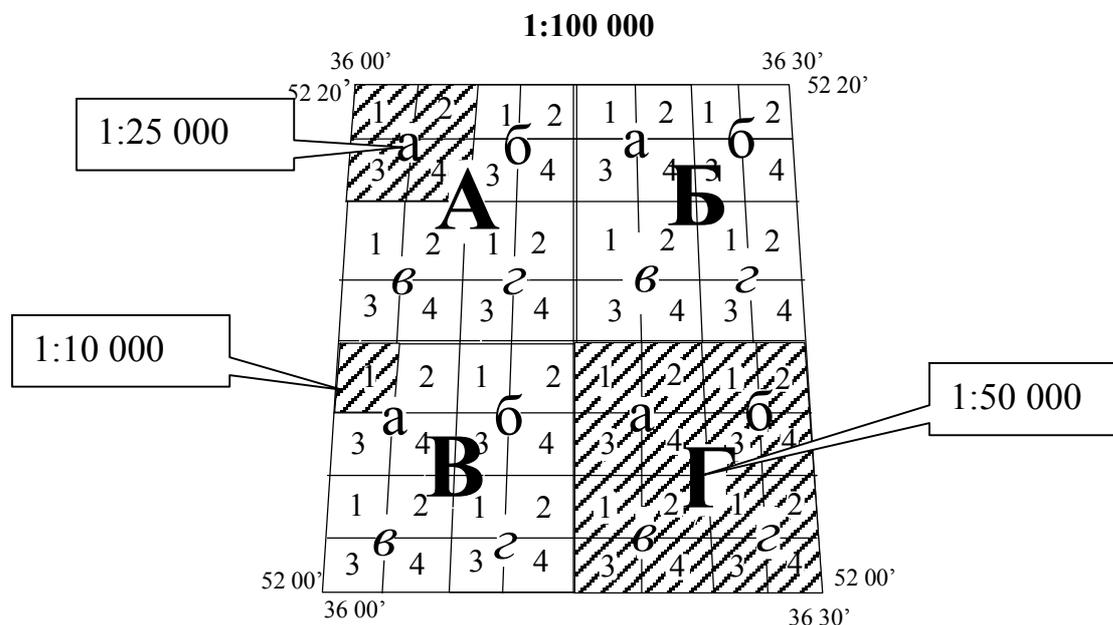
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
13	I	II	III	IV	V	VI					
25											
34		A						B			
49											
61											
73											
85											
97											
109		B						Г			
121										XXXVI	
133											144

Так, листы карты масштаба **1:500 000** образуют делением листа 1:1 000 000 на 4 части с обозначением буквами русского алфавита А, Б, В, Г, например, ($N-37-Г$).

Для получения номенклатуры листа карты масштаба **1:200 000** миллионный лист делят на 36 частей, обозначая каждую часть римскими цифрами от I до XXXVI ($N-37-VII$).

Лист карты масштаба **1:100 000** получается посредством деления миллионного листа на 144 части (12 частей по широте и 12 по долготу). Номенклатура одного из листов со-

стоит из номенклатуры листа 1:1 000 000 с добавленной арабской цифрой от 1 до 144, например $N-37-132$. Размер листа карты 1:100 000 в угловой мере составит по широте $20'$ ($4^\circ:12$) и по долготе $30'$ ($6^\circ:12$).



На этом рисунке представлено правило образования номенклатуры листов карт масштабов **1:50 000**, **1:25 000**, **1:10 000**. Заштрихованные листы будут иметь соответствующие номенклатуры $N-37-133-Г$ (1:50 000); $N-37-133-А-а$ (1:25 000); $N-37-133-В-а-1$ (1:10 000).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Номенклатура листов
17		а				б										1:50 000
33																
49																
65					А								Б			1:25 000
81																
97					в										г	1:10 000
113																
129																1:5 000
145																
161																1:2 000
177																
193																
209																
225																
241																

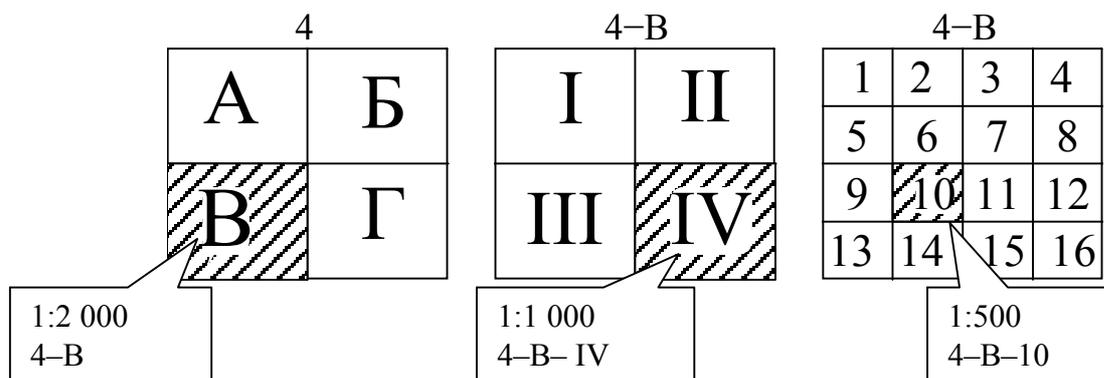
Для получения листов карты масштаба **1:5 000** лист масштаба 1:100 000 делят на 256 частей (16 по широте и 16 по долготе), номера листов подписывают слева направо. Номенклатуру указывают в скобках после номенклатуры листа 1:100 000 от 1 до 254, например: $N-37-133-(254)$. Размеры рамок получают соответственно: по широте $1'15''$ ($20':16$) и по долготе

$1'52''$, 5 ($30':16$). Лист карты масштаба **1:2 000** образуют из листа 1:5 000 делением на 9 частей с обозначением каждой части малыми буквами русского алфавита (а, б, в, г, д, е, ж, з, и) слева направо, дописывая для соответствующего листа одну из букв к номенклатуре листа масштаба 1:5 000. Например: $N-37-133-(254-и)$.

В соответствии с инструкцией по топографической съемке для топографических планов, создаваемых на города, населенные пункты и на

участки площадью менее 20 км² – как правило, а для масштабов 1:1000 и 1:500 – всегда, применяют прямоугольную разграфку с размерами рамок: для масштаба 1:5000 – 40×40 см, для масштабов 1:2000, 1:1000 и 1:500 – 50×50 см.

За основу принимают лист масштаба **1:5 000**, который обозначают арабскими цифрами. Каждый лист 1:5 000 содержит 4 листа масштаба **1:2 000**, обозначаемых буквами А, Б, В, Г, например: 4–В.



Один лист плана 1:2000 состоит из четырех листов масштаба **1:1000**, которые обозначают римскими цифрами (I, II, III, IV) и 16 листов масштаба **1:500**, обозначаемых арабскими цифрами (1, 2, 3, ..., 16). На рисунке изображена номенклатура планов прямоугольной разграфки.

3.4. Изображение ситуации и рельефа на картах и планах

Всю совокупность изображений на картах и планах называют ситуацией и рельефом.

Ситуацией называется любой предмет или группа предметов естественного или искусственного происхождения, а также почвенно-растительный покров, дорожная сеть и гидрография.

Рельеф (от франц. «relief», от лат. «relevo» – поднимаю) представляет собой всю совокупность неровностей поверхности Земли. Различают следующие формы рельефа: гора (холм), котловина, хребет, лощина, перевалы или седловины. Характерными линиями рельефа являются водораздел хребта и водослив лощины.

Для изображения ситуации и некоторых форм и деталей рельефа применяют условные обозначения (знаки). Условные знаки должны напоминать по форме объект, обладать наглядностью и четкостью изображения, содержать максимум информации об изображаемом объекте. По своему назначению знаки можно разделить на следующие виды.

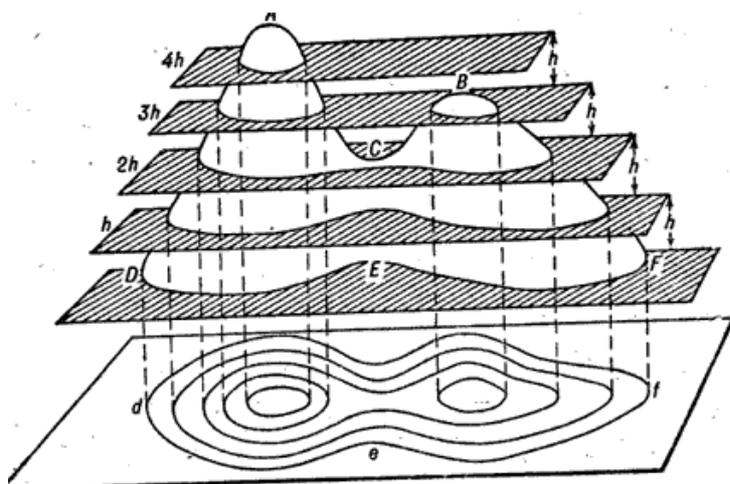
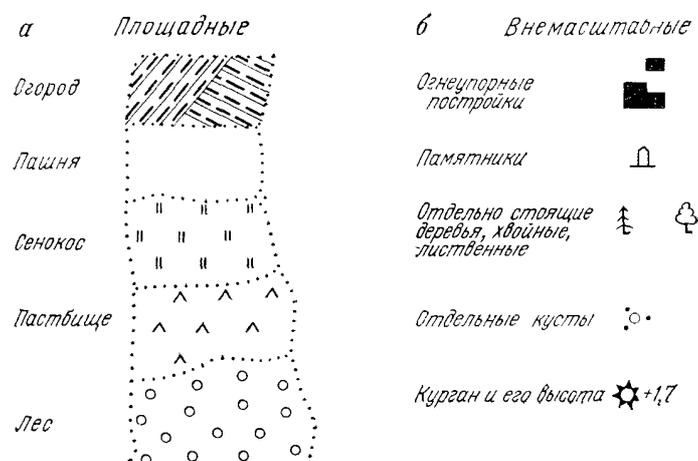
1. **Масштабные условные знаки**, размеры которых сохраняют масштабность. Это контурные линии почвенно-растительного покрова,

размеры некоторых зданий и сооружений, береговые линии рек и озер, овраги, промоины и др.

2. **Внемасштабные условные знаки** применяют для обозначения небольших по размерам (менее графической точности масштаба), но очень важных по информации предметов. Это геодезические пункты, столбы электролиний и линий связи, некоторые постройки и линейные сооружения, шахты, шурфы, скважины, колодцы и др.

3. **Информационные внемасштабные знаки и обозначения** – это значки, распределенные по площади в определенном порядке (лес, луг, кустарник и др.). К ним придается буквенно-цифровая информация, как, например, порода, высота, густота леса, число дворов в населенном пункте, скорость течения реки, характер дна в районе брода и др.

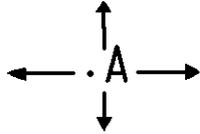
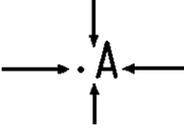
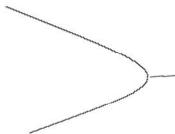
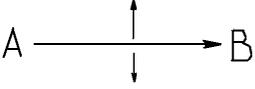
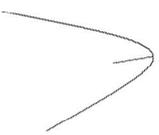
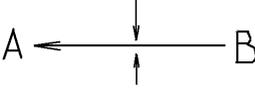
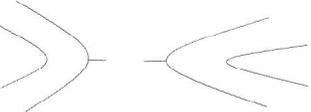
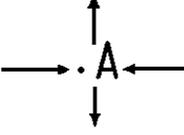
Ниже приводятся образцы некоторых условных знаков.



Рельеф на картах и планах изображается горизонталями. **Горизонталь** – это кривая, все точки которой имеют одинаковую высоту над уровнем поверхности. Каждую из горизонталей можно представить как береговую линию в озере, водохранилище. По мере его заполнения береговая линия образует

все новые горизонтали. Если горизонталь строится с помощью ЭВМ или цифровой модели местности, она может иметь вид ломаной линии. Впервые горизонтали стали применять в 16 веке, на картах они появились в 19 веке.

На топографических материалах по изображению горизонталей можно прочитать основные формы рельефа:

Формы рельефа	Изображение на карте	Направление скатов	Название главных точек и линий
Гора (холм, высота)			А – точка вершины
Котловина			А – точка дна котловины
Хребет			АВ – линия водораздела
Лощина			АВ – линия водосбора (водослива, тальвег)
Седловина			А – точка перевала

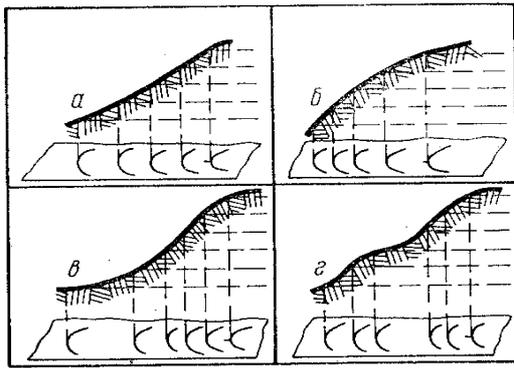
Основные свойства горизонталей необходимо знать для построения горизонталей на плане по отметкам точек, для чтения рельефа, для решения ряда инженерных задач:

1. Все точки местности, лежащие на горизонтали, имеют равные отметки.

2. Горизонтали не могут пересекаться в плане, поскольку они лежат на разных высотах (в разных плоскостях). Исключение – в горных районах, когда горизонталями обозначают нависший утес.

3. Горизонтали являются непрерывными замкнутыми линиями. Горизонтали, замыкающиеся на плане, указывают холм или котловину. Горизонтали, прерванные у рамки плана, замыкаются за пределами плана.

4. Расстояние между горизонталями на плане (заложение) характеризует форму и крутизну ската местности.



По форме различают а) ровный, б) выпуклый, в) вогнутый и г) волнистый скаты. Ровный и вогнутый скаты просматриваются с вершины возвышенности до подошвы. Выпуклый скат характерен наличием перегиба, который закрывает часть местности, создавая тем самым непросматриваемые участки при обзоре ската с вершины возвышенности. Волнистым называют скат, который на своем протяжении переходит от ровного к выпуклому, затем к вогнутому, снова к ровному и т. д. Заложение во всех случаях меняется по разному.

Отметкой H точки земной поверхности называют численное значение ее высоты над уровенной поверхностью (квазигеоидом) или над условной уровенной поверхностью. Например: $H = 121,5$ м.



На топографических картах РФ за точку отсчета принято нулевое деление футштока Кронштадтского моста (фото). **Футшток** – это рейка (брус) с делениями, установленная на водомерном посту для наблюдений уровня воды в море, реке или озере. Служит для изучения изменения уровня в данном месте, определения среднего уровня моря (реки) и

установления начального уровня для исчислений высот и глубин. От нуля Кронштадтского футштока в РФ измеряют абсолютные высоты.

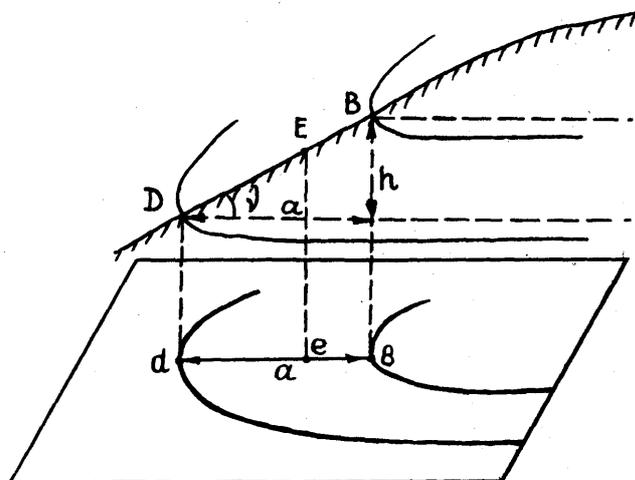
Изучение рельефа, изображенного горизонталями, начинается с определения на карте направления повышения и понижения местности. При этом руководствуются следующими признаками:

- бергштрихи всегда направлены в сторону понижения;
- основания цифр, которыми подписаны горизонтالي, располагаются в направлении понижения ската;
- к водоемам и водостокам местность понижается;
- в одну сторону от горизонталей местность понижается, а в другую – повышается;
- горизонтали перегибаются на водораздельных линиях хребтов и на тальвегах лощин.

Для определения отметок точек по горизонталям необходимо знать:

- высоту сечения рельефа, которая приводится внизу карты под рамкой;
- направление ската;
- подписи отметок высот характерных точек горизонталей.

Для облегчения счета каждая пятая горизонталь вычерчивается утолщенной. Если точка расположена на горизонтали, то её отметка равна отметке горизонтали. Если горизонталь не оцифрована, то ее отметка находится по оцифровке соседних горизонталей с учетом высоты сечения рельефа. В большинстве случаев точка находится между двумя горизонталями, тогда используют, либо аналитическое интерполирование, либо интерполирование на глаз.



Разность отметок называется **превышением h** . Оно может быть положительным и отрицательным, следует всегда помнить, что считают его по принципу: от отметки конечной точки отнимают отметку начальной точки линии:

$$h_{ДВ} = H_{В} - H_{Д} .$$

Заложением a является расстояние между точками, расположенными на соседних горизонталях.

Горизонтальное проложение de – это проекция измеренного расстояния DE на горизонтальную плоскость.

Согласно чертежу, очевидно, что $\frac{h}{a} = \operatorname{tg} v$. Угол v называют **углом**

наклона местности. Величину $\operatorname{tg} v$ называют **уклоном** и обозначают буквой i . Уклон характеризует крутизну склона и выражается в тысячных долях единицы, процентах (%), либо в промилле (‰).

Чем ближе расстояние между горизонталями на плане, тем меньше заложение, больше уклон и угол наклона.

Вертикальное расстояние между горизонтальными плоскостями, образующими горизонтали, называют **высотой сечения рельефа горизонталями**. Эту величину обычно указывают в зарамочном оформлении карты или плана.

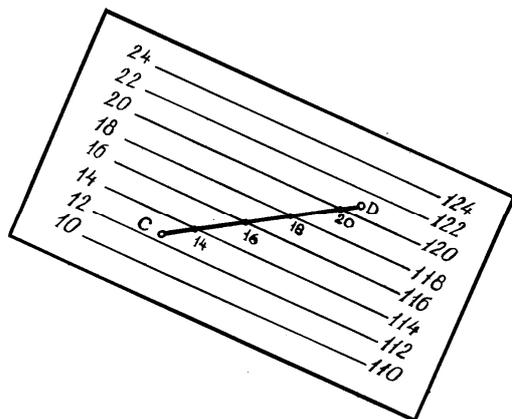
3.5. Решение задач с горизонталями по картам и планам

3.5.1. Построение горизонталей по отметкам точек

Этот процесс часто называют интерполированием горизонталей. Интерполировать можно только между точками, расположенными на одном склоне.

Возможно интерполирование аналитическое (численное) и графическое (с помощью палетки). И в том, и в другом случаях процесс заключается в пропорциональном делении отрезка между точками с заданными отметками.

Рассмотрим графический метод. На листе кальки проводят серию параллельных линий, их количество и расстояние между ними зависят от крутизны склонов – получают палетку. Каждой из линий придают соответствующую отметку горизонталей. Вращением палетки располагают ее так, чтобы отметки точек *С* и *Д* (на рисунке ниже) соответствовали по расположению отметкам горизонталей.



$$H_C = 112.8$$

$$H_D = 121.0$$

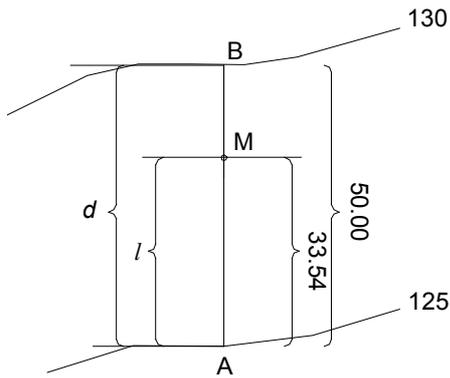
Иголкой циркуля переносят легким наколом точки пересечения параллельных линий палетки с линией на карте *СД*, т.е. точки 14, 16, 18, 20, которые будут лежать на горизонталях с соответствующими отметками.

Выполнив такую операцию по всем склонам, соединяют точки с одинаковыми отметками и проводят горизонтали, которые образуют ту или иную форму рельефа. Если между точками проходит одна или две горизонталей, можно интерполировать без палетки, «на глаз».

В настоящее время процесс построения горизонталей выполняют по специальным программам на компьютере.

3.5.2. Определение отметки точки по горизонталям

Для точки, расположенной на горизонтали, отметка равна отметке горизонтали.



Если точка M лежит между горизонталями, через нее проводят кратчайшее заложение между соседними горизонталями AB . С точностью до 0,1 мм измеряют d и l – расстояние от точки M до младшей горизонтали H_a . Отметка точки M определится по формуле:

$$H_M = H_A + h_{AM} = H_A + \frac{l}{d} \cdot h_0.$$

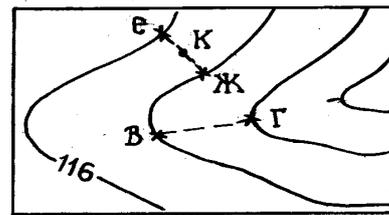
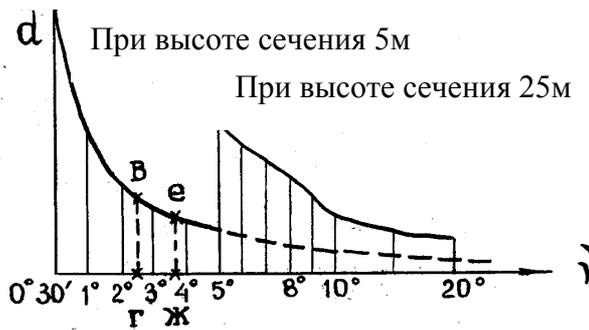
3.5.3. Определение углов наклона по заложению

Для решения на карте задач, связанных с определением крутизны склонов (например, при выборе оптимальной линии водовода или подъездной дороги), используют масштабы уклонов или заложений для углов наклона. Обычно такие графики приводятся в зарамочном оформлении.

Если такой масштаб не указан, его можно построить самостоятельно.

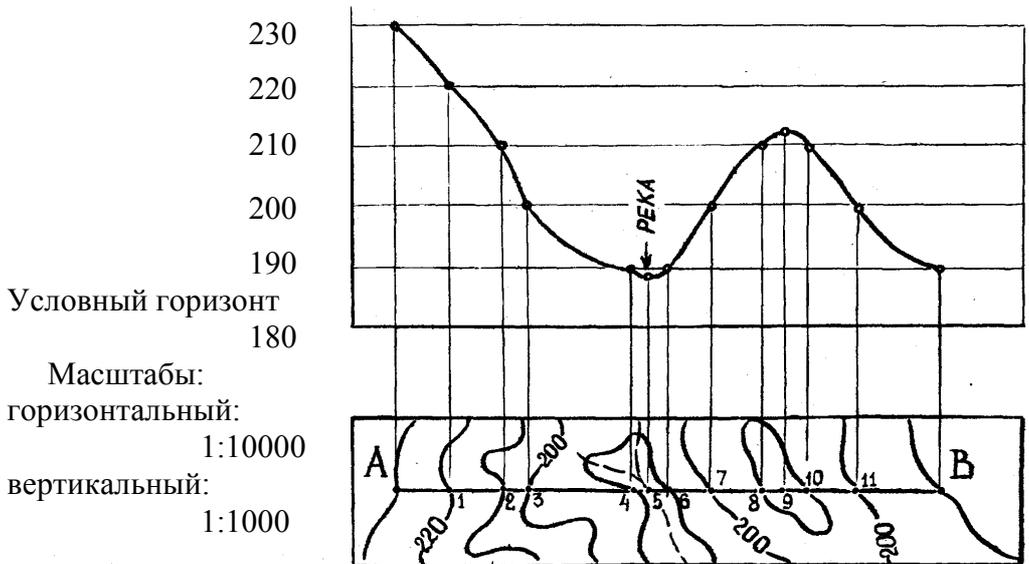
Для этого по формуле $i = \frac{h}{a}$ вычисляют значения i при заданной высоте

сечения рельефа h , меняя значения a , или вычисляют значения a , меняя значение i или v (рисунок ниже). По горизонтальной оси откладывают отрезки одинаковой длины, подписывая значения $v = 1^\circ, 2^\circ, 3^\circ$ и т.д., или значения $i = 10\%, 20\%, 30\%$ и т.д. По вертикали над каждым концом отрезка откладывают значение заложения a в масштабе карты в миллиметрах.



Для определения угла наклона снимают с карты заложение $ВГ$ и, прикладывая по вертикали к масштабу заложений, определяют угол наклона $v = 2^\circ 40'$.

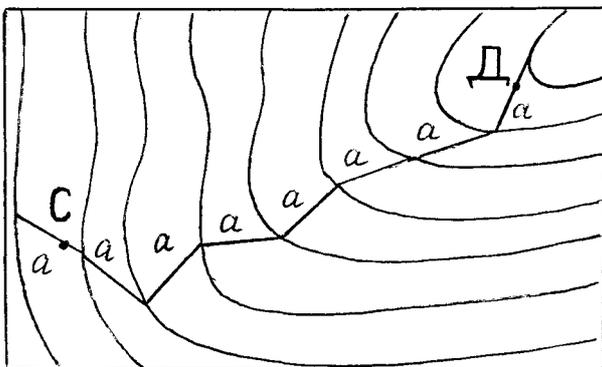
3.5.4. Построение профиля по заданному направлению



Для построения профиля применяют горизонтальный масштаб, совпадающий с масштабом карты или плана. Для большей наглядности вертикальный масштаб принимают в 10 раз крупнее масштаба карты.

При построении профиля на карте определяют отметки всех точек пересечения профильной линии (заданного направления) с горизонталями. Для ответственных точек в лощинах, водоразделах, руслах рек и ручьев при определении отметок выполняют интерполирование вдоль русел рек или лощин. Переносят точки по заложениям на линию условного горизонта. Затем каждую точку пересечения поднимают на соответствующую отметку по вертикальному масштабу. Плавно их соединяют, получая линию земной поверхности.

3.5.5. Проведение линии с заданным уклоном



Для решения этой задачи раствором циркуля по масштабу заложений измеряют величину заложения a , соответствующую заданному уклону (или углу наклона). Ножку циркуля устанавливают на одной горизонтали и, поворачивая циркуль, заданным раствором делают засечку на соседней горизонтали.

Далее процесс повторяется до конечной точки маршрута. При этом возможны варианты:

– раствор циркуля меньше расстояния между горизонталями. В этом случае проводят линию по кратчайшему расстоянию.

– раствор циркуля больше расстояния между соседними горизонталями с разными отметками. При этом линию маршрута проводят вдоль исходной горизонтали до точки, где становится возможным переход на соседнюю горизонталь без превышения заданного уклона.

– точки располагаются на горизонталях с одинаковыми отметками. Их соединяют прямой линией.

3.6. Способы определения площадей и объемов по картам и планам

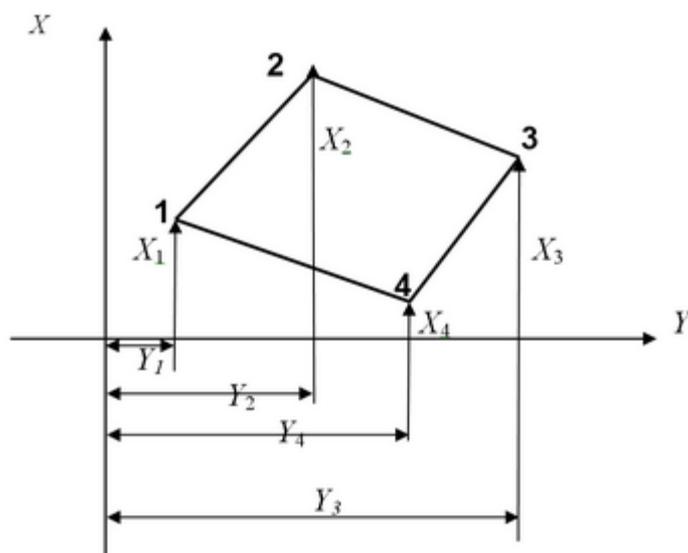
Важным видом информации при инженерных изысканиях и проектировании дорог, мостовых переходов, других сооружений является площадь объекта. Различают следующие способы измерения площади объекта на картах и планах:

- аналитический;
- механический;
- графический;
- геометрический.

3.6.1. Аналитический способ

Этот способ применяют в основном при автоматизированном вычислении площади по известным координатам точек. Точность способа зависит от точности определения координат. На рисунке ниже изображена фигура, ограниченная прямыми линиями с вершинами в точках 1, 2, 3, 4. Площадь участка S_{1234} можно представить как алгебраическую сумму площадей трапеций:

$$S_{1234} = S_{122'1'} + S_{233'2'} - S_{433'4'} - S_{144'1'}$$



Площадь трапеции равна половине произведения суммы оснований на высоту. Следовательно:

$$2 S_{1234} = (X_1 + X_2)(Y_2 - Y_1) + (X_2 + X_3)(Y_3 - Y_2) - (X_3 + X_4)(Y_3 - Y_4) - (X_4 - X_1)(Y_4 - Y_1).$$

Выполнив преобразования, получаем

$$2 S = X_1(Y_2 - Y_4) + X_2(Y_3 - Y_1) + X_3(Y_4 - Y_2) + X_4(Y_1 - Y_3).$$

Для любого n -угольника в общем виде вычислить площадь можно по формуле

$$2 S = \sum_{i=1}^n X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1}).$$

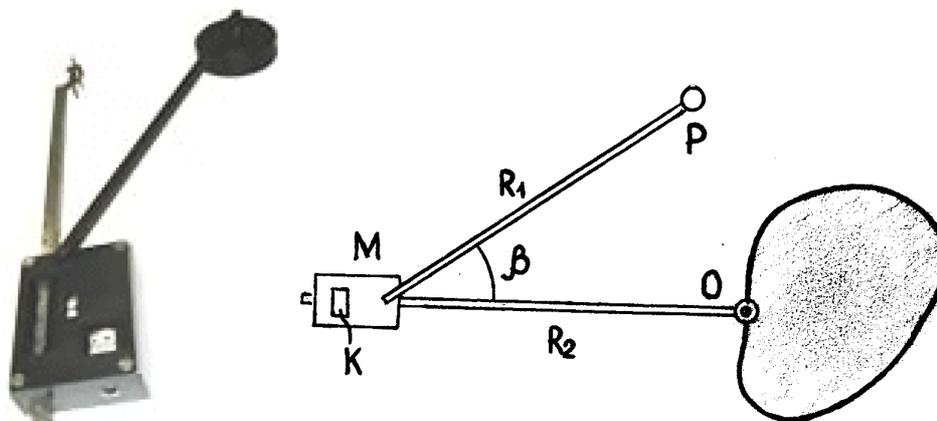
Для контроля применяют формулу

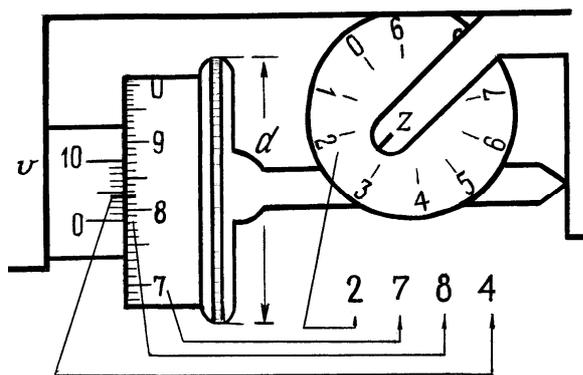
$$2 S = \sum_{i=1}^n Y_i (X_{i-1} - X_{i+1}).$$

Эти формулы служат алгоритмом для программирования на ЭВМ.

3.6.2. Механический способ

При этом способе площадь участка определяется механическим или электронным планиметром. Механические планиметры известны довольно давно, и представляют собой систему шарнирно соединенных рычагов: полюсного и обводного. Площадь определяется путем обвода криволинейной границы участка острием обводного рычага планиметра O . При этом полюсный рычаг P должен быть закреплен неподвижно так, чтобы при обводе фигуры угол между рычагами β не был больше 150° и меньше 30° . Колесико K счетного механизма M при обводке не должно соскальзывать с листа карты или бумаги.





Порядок считывания отчета по механизму планиметра следующий: по стрелке на циферблате выбирается меньшее число – 2; по шкале на счетном колесике выбирается число напротив нуля верньера – 78; по верньеру выбирается номер штриха, сливающийся с любым штрихом колесика – 4. Полный отсчет 2784

Для определения площади берут отсчеты по счетному механизму планиметра до начала обводки n_1 и в конце обводки n_2 . Площадь определяют по формуле $S = \mu(n_2 - n_1)$, где μ – цена деления планиметра.

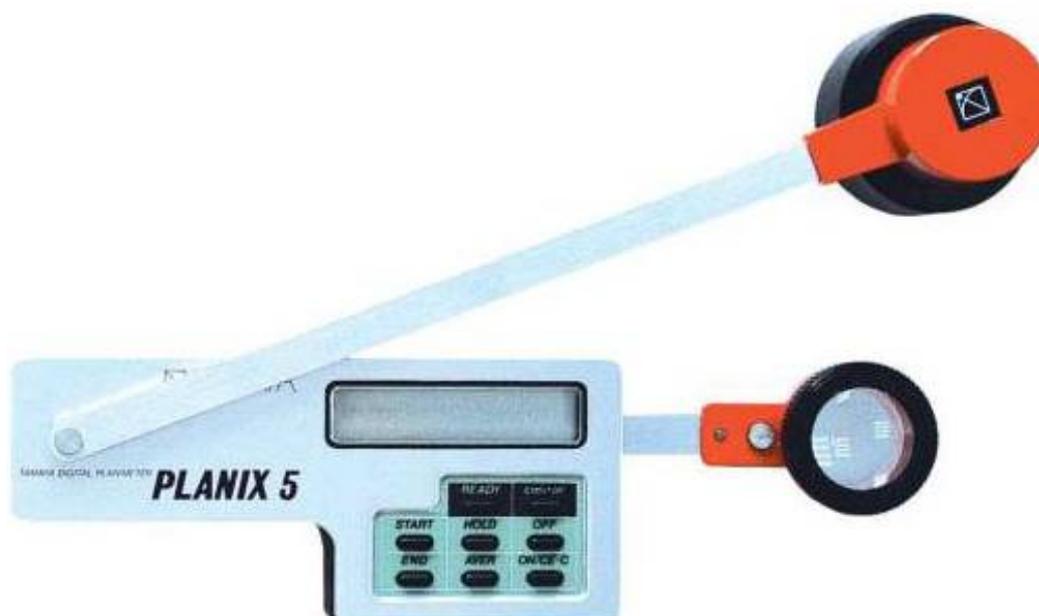
Цену деления планиметра определяют заранее из обводки фигуры с известной площадью (чаще это квадрат координатной сетки на плане со сторонами 10×10 см):

$$\mu = \frac{S_{\text{изв}}}{n_2 - n_1}$$

Площадь определяют, обводя контур фигуры дважды по часовой (или против часовой) стрелке при положении «полюс слева» и дважды при положении «полюс справа». На рисунке изображен планиметр при положении счетного механизма справа от линии, проведенной из неподвижной точки P (полюсный рычаг) на подвижную точку O обводного рычага. Это положение называется «полюс справа».

Расхождение разностей Δn между двумя обводами не должно превышать 3 делений для площадей до 200 м^2 и 4 делений для площадей более 200 м^2 . Относительная ошибка определения площади механическим планиметром составляет от 1:100 до 1:400.

Процесс автоматизации определения площадей привел к созданию электронного планиметра. В этом случае обводка контура выполняется оператором вручную. Электронные планиметры способны вычислять площади в любых единицах измерений – квадратных сантиметрах или дюймах, имеют цифровую клавиатуру, при помощи которой можно вводить пользовательский масштаб. Измеренные значения отображаются на жидкокристаллическом дисплее.

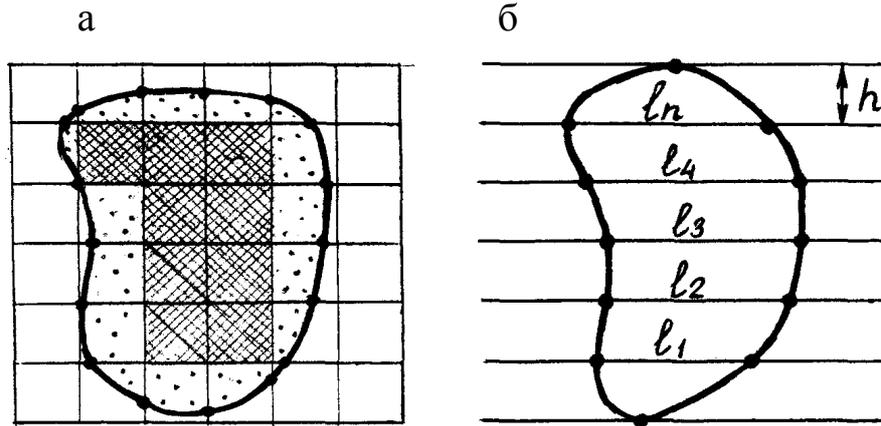


Планиметр PLANIX–5, показанный выше, относится к планиметрам полярного типа, позволяет максимально быстро и точно вычислять площади замкнутых контуров на плоской поверхности. Он имеет полюсное плечо – с его помощью и осуществляется движение в пределах площади, которую необходимо измерить. Жидкокристаллический дисплей однострочный, вмещает 8 символов. В стандартном комплекте вместе с самим планиметром поставляются зарядное устройство к нему и инструкция по применению, а также футляр для прибора.

Точности измерений планиметра PLANIX–5 составляет 0,2 %. Максимальный диаметр, в пределах которого может осуществлять измерения PLANIX–5 – 35,6 см. Длина плеча при габаритах 64×213×39 мм составляет 222 мм. Никель-кадмиевый аккумулятор планиметра позволяет работать без подзарядки до 30 часов.

3.6.3. Графический способ. Палетки

Этот способ применяется для участков, ограниченных криволинейными линиями. При графическом способе используют различного вида палетки: состоящие из квадратов или из параллельных линий, проведенных через равные отрезки, обычно равные 2 или 5 мм. Палетки изготавливают из прозрачного материала – лавсана, пленки, кальки.



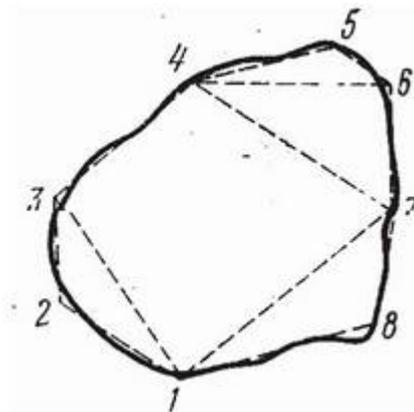
Определение площади с помощью палеток, состоящих из: а) – квадратов;
б) – параллельных линий

Площадь участка, определяемая квадратной палеткой, складывается из суммы площадей квадратов, закрывающих фигуру. Подсчитывают число целых квадратов n , площади неполных фигур учитывают на глаз. В соответствии с масштабом карты или плана вычисляют площадь отдельного квадрата, и затем площадь всей фигуры.

Палетку из параллельных линий располагают так, чтобы верхняя и нижняя границы участка касались линий палетки. Измеряют все отрезки $l_1, l_2 \dots l_n$ и суммируют их. Площадь фигуры определяют: $S = h(l_1 + l_2 + l_3 + \dots + l_{n-1} + l_n)$.

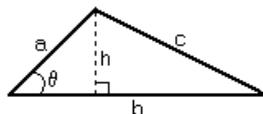
3.6.4. Геометрический способ

Способ заключается в разбивке определяемой фигуры на элементарные геометрические фигуры, площадь которых определяется по известным формулам. Суммируя площади отдельных фигур, получают площадь всей фигуры. Формулы для вычисления площадей геометрических фигур приведены ниже.



Формулы для вычисления площадей геометрических фигур

Треугольник



Площадь: $\frac{1}{2} \cdot h \cdot b$ или: $\frac{1}{2} \cdot a \cdot b \cdot \sin(\theta)$

Прямоугольник



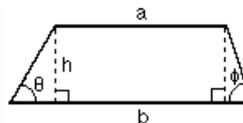
Площадь: $a \cdot b$
Периметр: $2 \cdot a + 2 \cdot b$

Параллелограмм



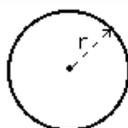
Площадь: $b \cdot h$ или: $a \cdot b \cdot \sin(\theta)$
Периметр: $2 \cdot a + 2 \cdot b$

Трапеция



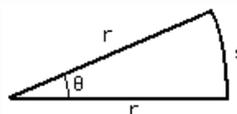
Площадь: $\frac{1}{2} \cdot h \cdot (a + b)$
Периметр: $a + b + h \cdot \left(\frac{1}{\sin(\theta)} + \frac{1}{\sin(\phi)} \right)$

Круг



Площадь: $\pi \cdot r^2$
Периметр: $2 \cdot \pi \cdot r$

Сектор



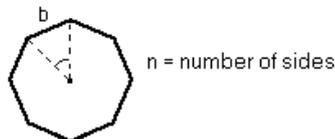
Площадь: $\frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot \theta$
Периметр: $r \cdot \theta$

Сегмент



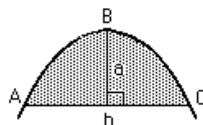
Площадь: $\frac{1}{2} \cdot r^2 \cdot (\theta - \sin(\theta))$

n - угольник



Площадь: $\frac{1}{4} \cdot n \cdot b^2 \cdot \cot\left(\frac{\pi}{n}\right)$
Периметр: $n \cdot b$

Параболический сегмент

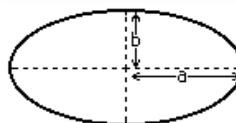


Площадь: $\frac{2}{3} \cdot a \cdot b$

Длина дуги ABC:

$$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{b^2 + 16 \cdot a^2} + \frac{b^2}{8 \cdot a} \cdot \ln\left(\frac{4 \cdot a + \sqrt{b^2 + 16 \cdot a^2}}{b}\right)$$

Эллипс



Площадь: $\pi \cdot a \cdot b$

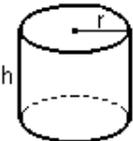
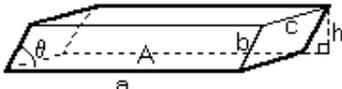
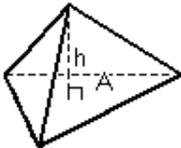
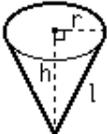
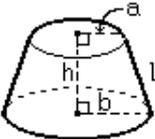
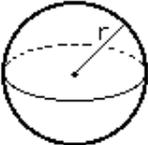
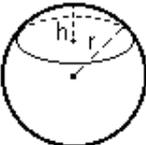
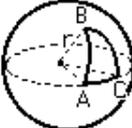
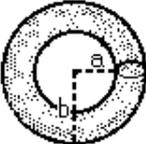
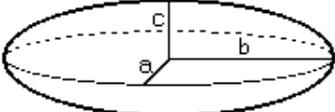
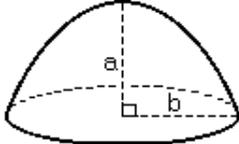
Периметр: $2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (a^2 + b^2)}$

3.6.5. Определение объемов тел

Определение площади часто необходимо для определения объема фигур, например, объем сыпучего материала на складской площадке, пород на отвале и др.

В этом случае применяют способы горизонтального или вертикального сечения тела.

Формулы для вычисления объемов геометрических тел

<p><u>Цилиндр</u></p>  <p>Объем: $\pi \cdot r^2 \cdot h$ Площадь боковой поверхности: $2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$</p>	<p><u>Параллелепипед</u></p>  <p>Объем: $A \cdot h$ или $a \cdot b \cdot c \cdot \sin(\theta)$</p>
<p><u>Прямоугольный параллелепипед</u></p>  <p>Объем: $a \cdot b \cdot c$ Площадь поверхности: $2 \cdot (a \cdot b + a \cdot c + b \cdot c)$</p>	<p><u>Пирамида</u></p>  <p>Объем: $\frac{1}{3} \cdot A \cdot h$</p>
<p><u>Конус</u></p>  <p>Объем: $\frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h$ Площадь боковой поверхности: $\pi \cdot r \cdot l$</p>	<p><u>Усеченный конус</u></p>  <p>Объем: $\frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h \cdot (a^2 + a \cdot b + b^2)$ Площадь боковой поверхности: $\pi \cdot (a + b) \cdot l$ или: $\pi \cdot (a + b) \cdot \sqrt{h^2 + (b - a)^2}$</p>
<p><u>Сфера</u></p>  <p>Объем: $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ Площадь поверхности: $4 \cdot \pi \cdot r^2$</p>	<p><u>Сферический сегмент</u></p>  <p>Объем: $\frac{1}{3} \cdot \pi \cdot h^2 \cdot (3r - h)$ Площадь шаровой поверхности: $2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$</p>
<p><u>Сферический треугольник</u></p>  <p>Площадь: $(A + B + C - \pi) \cdot r^2$</p>	<p><u>Тор</u></p>  <p>Объем: $\frac{1}{4} \cdot \pi^2 \cdot (a + b) \cdot (b - a)^2$ Площадь поверхности: $\pi^2 \cdot (b^2 - a^2)$</p>
<p><u>Эллипсоид</u></p>  <p>Объем: $\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot a \cdot b \cdot c$</p>	<p><u>Параболоид</u></p>  <p>Объем: $\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot b^2 \cdot a$</p>

При определении площадей по картам и планам для измерения расстояний можно использовать линейки, циркули-измерители, курвиметры, транспортиры, масштабные линейки.

Механический курвиметр КМ, представленный на рисунке, имеет метрическую и дюймовую шкалу. Цена деления метрической шкалы соответствует 0,1 см. Погрешность измерения длин линий не превышает 0,5 %. Электронный курвиметр имеет жидкокристаллический дисплей для вывода результатов измерений. Имеет масштабы измерений в милях, морских милях и в километрах. Погрешность измерения длин линий не превышает 0,2 %.

На масштабных линейках на двух сторонах награвированы разные виды поперечного масштаба: для масштабов, знаменатели которых кратны 1, 2, 5, 25. на геодезическом транспортире, на широком основании также награвирован нормальный сотенный поперечный масштаб. При пользовании поперечными масштабами используют циркуль-измеритель.



Курвиметр
механический



Курвиметр
электронный



Масштабная линейка



Транспортир

3.6.6. Нормативная точность определения координат характерных точек границ земельных участков

При определении площади объекта землеустройства рекомендуется принимать во внимание, что площадь объекта землеустройства вычисляется по координатам поворотных точек границ земельного участка.

Абсолютное расхождение ΔP между вычисленной площадью земельного участка ($P_{\text{выч}}$) и площадью, указанной в документе, удостоверяющем права на землю, или правоустанавливающим документе ($P_{\text{док}}$) $\Delta P = |P_{\text{выч}} - P_{\text{док}}|$, не должно превышать величину допустимого расхождения:

1) $\Delta P_{\text{доп}} = 0,035M_t \sqrt{P_{\text{док}}}$, га, где: M_t – средняя квадратическая ошибка положения межевого знака (таблица ниже); $P_{\text{док}}$ – площадь земельного участка, га;

2) или $\Delta R_{\text{доп}} = 3,5 M_t \sqrt{R_{\text{док}}}$, кв. м, где M_t и $R_{\text{док}}$ выражены, соответственно, в метрах и квадратных метрах.

№№ п.п.	Виды правового режима земельных участков	СКП ¹ , м	
		Более пяти лет ²	От года до пяти лет ³
1	Земли поселений (города):		
	– земельные участки граждан, предназначенные для ведения личного подсобного, дачного хозяйства, огородничества, садоводства, индивидуального гаражного или индивидуального жилищного строительства	0,50	1,00
	– земельные участки, предназначенные для сельскохозяйственного использования и рекреации	1,00	1,00
	– земельные участки (земли), находящиеся в государственной или муниципальной собственности, и никому не предоставленные	1,00	1,00
	– для иных целей	0,10	1,00
2	Земли поселений (поселки, сельские населенные пункты):		
	– земельные участки граждан, предназначенные для ведения личного подсобного, дачного хозяйства, огородничества, садоводства, индивидуального гаражного или индивидуального жилищного строительства	0,50	1,00
	– земельные участки, предназначенные для сельскохозяйственного использования и рекреации	1,00	1,00
	– земельные участки (земли), находящиеся в государственной или муниципальной собственности, и никому не предоставленные	1,00	1,00
	– для иных целей	0,20	1,00
3	Земли, предоставленные за чертой поселений для ведения личного подсобного, дачного хозяйства, огородничества, садоводства, индивидуального гаражного или индивидуального жилищного строительства	0,50	2,50

4	Земли промышленности и иного специального назначения	0,50	2,50
5	Земли сельскохозяйственного назначения (за исключением земель, указанных в пункте 3)	2,50	12,50
6	Земли особо охраняемых природных территорий, земли лесного фонда, земли водного фонда и земли запаса	5,00	12,50

1 Средняя квадратическая погрешность M_i положения характерных точек границ земельных участков относительно ближайшего пункта исходной геодезической основы не более, (м).

2 Земельные участки, находящиеся или предоставляемые на праве собственности, постоянного (бессрочного) пользования, пожизненного наследуемого владения, аренды на срок более чем пять лет.

3 Земельные участки, находящиеся или предоставляемые на праве безвозмездного срочного пользования или аренды на срок от года до пяти лет.

3.7. Понятие о геоинформационных системах (ГИС)

В условиях применения компьютерных технологий, наряду с изображениями местности на бумажных носителях – картами и планами, используются их цифровые аналоги. Появление современных высокопроизводительных компьютеров с их возможностью переработки, хранения и выдачи огромного количества информации предопределило возникновение нового направления в хозяйственной и управленческой деятельности человека и новой науки – геоинформатики. Первоначально понятие ГИС расшифровывалось как «географические информационные системы», поскольку оно появилось в недрах географической науки. Сейчас приставка «гео» указывает лишь на то, что информация связана с Землей и деятельностью человека на ней.

Геоинформационная система рассматривается как информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных (пространственных данных). ГИС содержит данные о пространственных объектах в форме их цифровых представлений (векторных, растровых, иных).

Программное средство ГИС – программный продукт, в котором реализованы функциональные возможности ГИС. Поддерживается программным, аппаратным, информационным, нормативно-правовым, кадровым и организационным обеспечением.

По территориальному охвату различают ГИС: глобальные, или планетарные, субконтинентальные, национальные, зачастую имеющие статус государственных, региональные, субрегиональные и локальные, или местные. ГИС различаются предметной областью информационного моделирования, например, городские, или муниципальные, МГИС, природоохранные и т.п.; среди них особое наименование, как наиболее широко

распространенные, получили земельные информационные системы (ЗИС). Проблемная ориентация ГИС определяется решаемыми в ней задачами (научными и прикладными), среди них инвентаризация ресурсов (в том числе кадастр), анализ, оценка, мониторинг, управление и планирование, поддержка принятия решений. ГИС разделяются по тематике: водных ресурсов, использования земель, лесопользования, туризму и др. Интегрированные ГИС совмещают функциональные возможности ГИС и систем цифровой обработки изображений (данных дистанционного зондирования) в единой интегрированной среде.

С точки зрения функционального назначения ГИС можно рассматривать как:

- систему управления, предназначенную для обеспечения принятия решений по оптимальному управлению разнообразными пространственными объектами (земельные угодья, природные ресурсы, городское хозяйство, транспорт, экология и т. д.);

- автоматизированную информационную систему, объединяющую технологии и технологические процессы известных информационных систем типа САПР;

- геосистему, включающую технологии (прежде всего технологии сбора информации) таких систем, как географические информационные системы (ГИС), системы картографической информации (СКИ), автоматизированные системы картографирования (АСК), автоматизированные фотограмметрические системы (АФС), земельные информационные системы (ЗИС), автоматизированные кадастровые системы (АКС) и т.;

- систему, использующую базы данных, характеризуемую широким набором данных, собираемых с помощью различных методов и технологий и объединяющие в себе как базы данных обычной (цифровой) информации, так и графические базы данных. При этом особую роль здесь приобретают экспертные системы;

- систему моделирования, использующую в максимальном объеме методы и процессы математического моделирования, разработанные и применяемые в рамках других автоматизированных систем;

- систему получения проектных решений, использующие методы автоматизированного проектирования в САПР, но и решающую ряд других специфических задач, например согласования принципиальных проектных решений с землепользователями, заинтересованными ведомствами организациями;

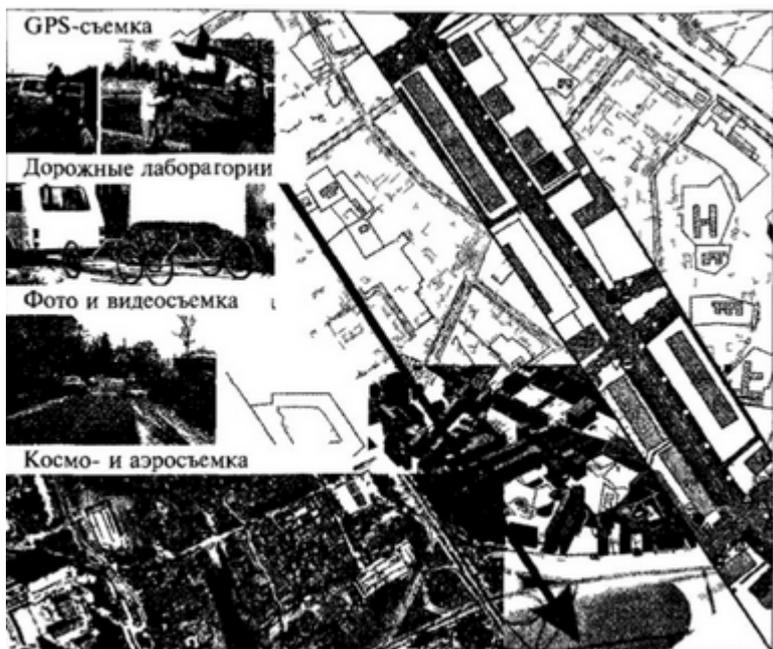
- систему представления информации, являющуюся развитием автоматизированных систем документационного обеспечения и предназначенную, прежде всего, для получения картографической информации с различными нагрузками и в различных масштабах;

- интегрированную систему, объединяющую в единый комплекс многообразный набор методов и технологий на базе единой географической

информации;

– прикладную систему, не имеющую себе равных по широте применения (в частности, на транспорте, навигации, военном деле, топографии, географии, геологии, экономике, экологии, демографии и т. д.);

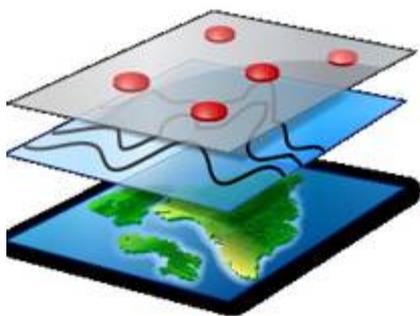
– систему массового пользования, позволяющую применять картографическую информацию на уровне деловой графики для широкого круга пользователей, когда используют картографические данные, далеко не всегда создавая для этой цели топографические карты.



Источниками информации для ГИС в основном являются географические и топографические карты и планы, аэрокосмические материалы, нормативные и правовые документы. Современные ГИС, как правило, являются цифровыми и создаются с использованием специального программного обеспечения и объема данных, называемого **базой данных**. База данных цифровой карты включает в себя два

варианта информации: пространственную, определяющую местоположение объекта, и семантическую (атрибутивную), описывающую свойства объекта.

Многообразная пространственная информация в ГИС организуется в виде отдельных тематических слоев, отвечающих решению различных задач. Каждый слой может содержать информацию, относящуюся только к одной или нескольким темам. Например, для задач развития городской территории набор из отдельных слоев может

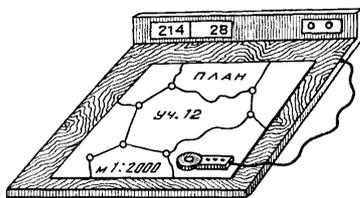


включать в себя данные: о землевладениях и недвижимости; об объектах транспорта, образования, здравоохранения, культуры; инженерных сетях; рельефе; геодезических сетях и других объектах городского хозяйства.

Для представления карт и планов в компьютере используется прямоугольная система координат. Каждая точка описывается одной парой координат X, Y . Пользуясь координатной системой, можно представить точки, линии и полигоны в виде списка координат. При этом для представления земной

поверхности на плоскости используются различные картографические проекции, например проекции Гаусса–Крюгера.

Данные с карты, плана вводятся в компьютер путем цифрования (цифрового картографирования). Цифрование может быть выполнено либо путем оцифровки каждой характерной точки объекта, либо путем сканирования всего листа карты электронным сканером.

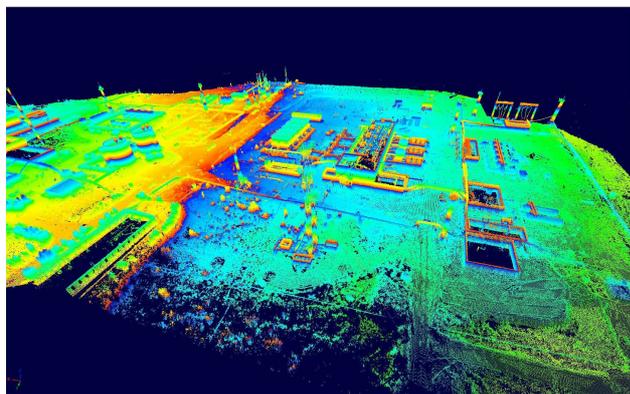


Процесс координирования по графическим или фотографическим материалам называется цифрованием по подложке и выполняется с помощью дигитайзера.

Ввод в базу данных компьютера может также осуществляться с электронных геодезических приборов. Описательные характеристики объектов могут вводиться с клавиатуры компьютера. Данные дистанционного зондирования (аэро- и космических съемок), записанные в цифровом виде, также могут быть введены в компьютер, минуя бумажную стадию.

3.8. Цифровые и электронные топографические карты

В результате цифрования получают цифровую карту. ГОСТ 28441-90 «Картография цифровая. Термины и определения» дает следующее определение: **цифровая карта** – это цифровая модель земной поверхности, сформированная с учетом законов картографической генерализации в принятых для карт проекции, разграфке, системе координат и высот.



Цифровая карта служит основой для изготовления обычных бумажных, компьютерных, электронных карт, она входит в состав картографических баз данных, составляет один из важнейших элементов информационного обеспечения ГИС и может быть результатом функционирования ГИС.

Электронной картой называется изображение местности на экране дисплея, полученное на основе цифровой карты, может быть в векторном или растровом представлении.

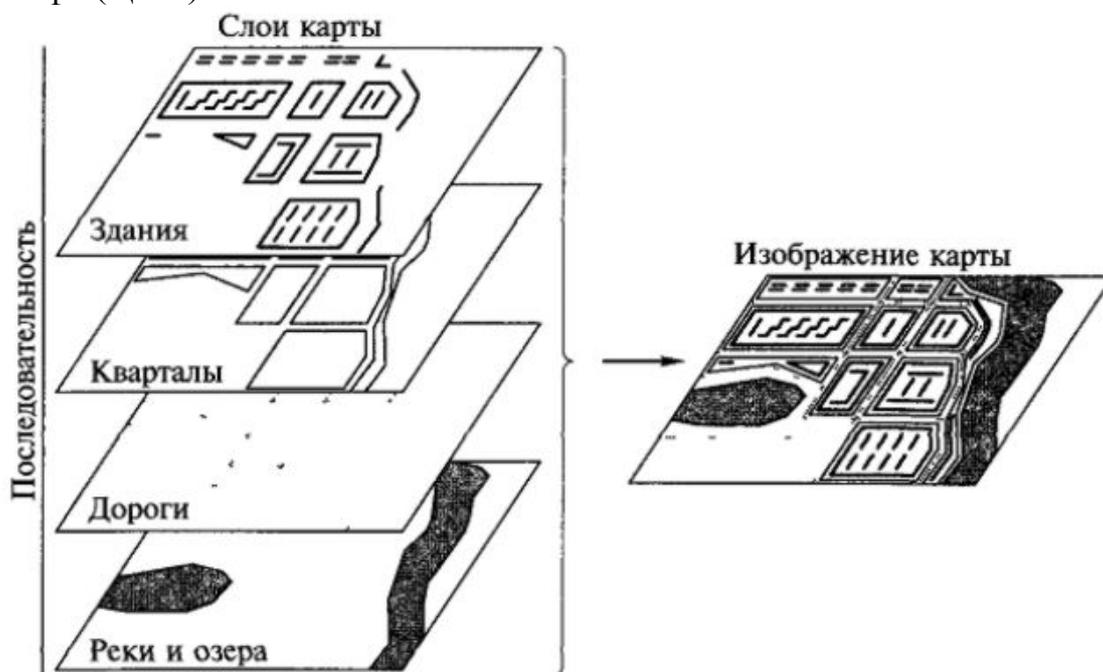
Векторное представление графической информации (векторная модель данных) – цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар с описанием только геометрии объекта.

Растровое представление графической информации (растровая модель данных) – это цифровое представление пространственных объектов в виде совокупности ячеек раstra (пикселей). Пиксель – это неделимый

двухмерный элемент изображения, наименьшая из его составляющих, получаемая в результате сканирования изображения или электронного фотографирования и характеризуемая прямоугольной формой и размерами, определяющими пространственное разрешение изображения. При растровом представлении графической информации разрешение получаемого графического изображения характеризуется минимальным линейным размером наименьшего участка пространства (поверхности), отображаемым одним пикселем или числом пикселей на единицу длины изображения (например, *dpi* – число пикселей на дюйм).

Электронная карта предназначена для отображения, анализа и моделирования, а также для решения расчетных и информационных задач по данным о местности и обстановке.

Возможность автоматизированного проектирования по топографической карте дают цифровая модель местности (ЦММ) и цифровая модель рельефа (ЦМР).



Пример представления слоев электронной карты геоинформационной системы

Цифровой моделью местности (ЦММ) называется представленное в виде цифровых кодов и хранимое на магнитных носителях логико-математическое описание местности, адекватное по содержанию плану местности. Основным содержанием ЦММ является топографическая информация: координаты и высоты точек, очертания объектов, их свойства. ЦММ содержит и общую информацию – название участка, систему координат и высот и др. ГОСТ 22268-76 «Геодезия. Термины и определения» дает следующее определение: «Цифровая модель местности – множество,

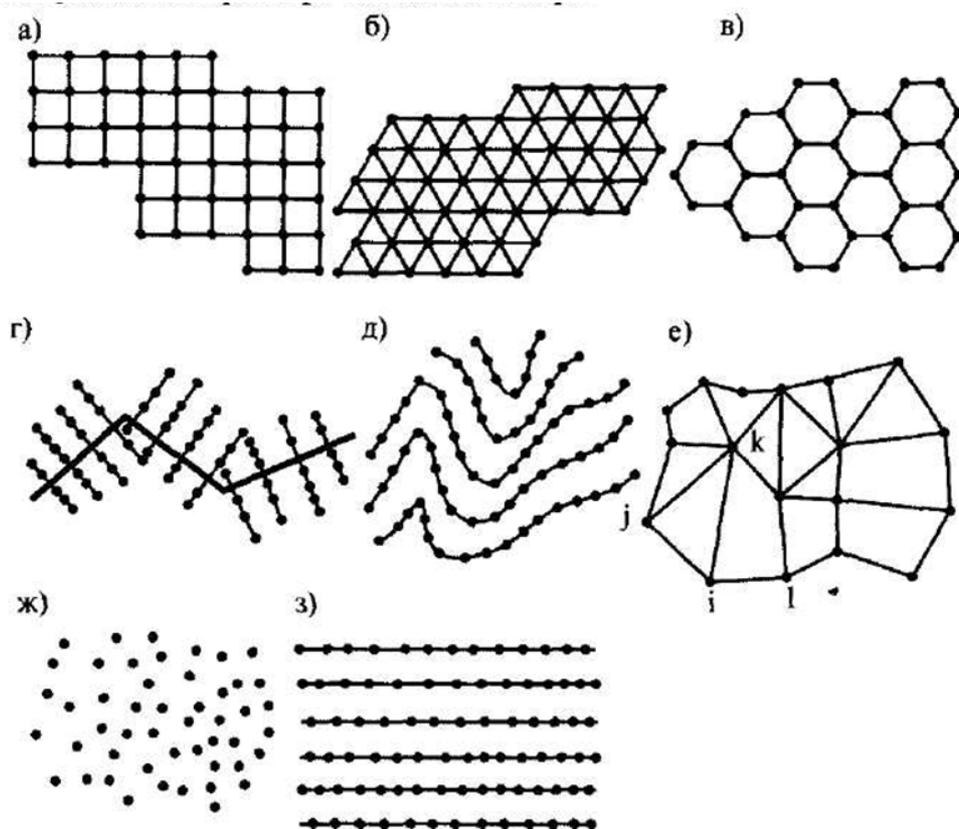
элементами которого являются топографо-геодезическая информация о местности и правила обращения с ней».

Цифровая модель рельефа (ЦМР) – средство цифрового представления 3-мерных пространственных объектов в виде трехмерных данных как совокупности высот или отметок глубин и иных значений координаты Z в узлах регулярной сети с образованием матрицы высот, нерегулярной треугольной сети или как совокупность записей горизонталей. Наиболее распространенными способами цифрового представления рельефа является растровое представление и особая модель пространственных данных, основанная на сети TIN и аппроксимирующая рельеф многогранной поверхностью с высотными отметками (отметками глубин) в узлах треугольной сети. Процесс цифрового моделирования рельефа включает создание ЦМР, их обработку и использование.

Источниками исходных данных для создания ЦМР суши служат топографические карты, аэрофотоснимки, космические снимки и другие ДДЗ, данные альтиметрической съемки, спутниковых систем позиционирования, нивелирования и других методов геодезии. Для создания ЦМР подводного рельефа акваторий служат морские навигационные карты, данные промерных работ, эхолотирования, в том числе с использованием гидролокатора бокового обзора.

Известные ЦММ, широко используемые на практике, подразделяются на три группы: регулярные, нерегулярные и статистические.

Регулярные ЦММ (пункта а–в на рисунке ниже) создают путем размещения точек в узлах геометрических сеток различной формы (треугольных, прямоугольных, шестиугольных), накладываемых на аппроксимируемую поверхность с заданным шагом. Наиболее часто применяют ЦММ с размещением исходных точек в узлах сеток квадратов или равносторонних треугольников. Регулярные ЦММ в узлах правильных шестиугольных сеток нашли применение при проектировании нефтепромысловых дорог в условиях равнинного рельефа Западной Сибири.



Виды цифровых моделей местности:

регулярные: а – в узлах правильных прямоугольных сеток; б – в узлах треугольных сеток; в – в узлах шестиугольных сеток; *нерегулярные*: г – на поперечниках к магистральному ходу; д – на горизонталях; е – на структурных линиях; з – на линиях, параллельных оси фотограмметрических координат; ж – *статистическая*;

По регулярным моделям высотное положение в любой точке местности, как правило, определяется линейной интерполяцией высот внутри заданного квадрата, прямоугольника или треугольника. Регулярные модели весьма эффективно использовать при проектировании вертикальной планировки городских улиц, площадей, аэродромов и других инженерных объектов на участках местности с равнинным рельефом. Основными недостатками таких моделей являются неэффективное расположение точек, так как не на всех участках требуется одинаковая плотность сетки, и повышенные трудозатраты при разбивке узловых точек на местности. Опыт использования ЦММ с регулярным массивом исходных данных показал, что требуемая точность аппроксимации рельефа достигается лишь при очень высокой плотности точек местности, которая в зависимости от категории рельефа должна быть в 5–20 раз выше по сравнению с нерегулярными ЦММ. Появление высокопроизводительных дигитайзеров и координаторов с автоматической регистрацией информации по заданному интервалу

длины или времени, тем не менее, делает использование регулярных моделей весьма перспективным.

Нерегулярные ЦММ, представленные большим числом типов, нашли широкое применение в практике автоматизированного проектирования объектов строительства. Весьма часто используют ЦММ, построенные по поперечникам к магистральному ходу. Массив исходных данных представляют как:

У – расстояния между началом трасы и точками пересечения ее оси с поперечниками;

Х – расстояния между исходными точками ЦММ на поперечниках и осью трасс, принимаемые положительными влево от трассы и отрицательными вправо;

Н – высоты исходных точек.

Поскольку магистральный ход в общем случае может иметь углы ворота, для представления нерегулярного массива необходимо еще задавать и координаты вершин углов поворота. Информацию для криволинейной трассы представляют уже в трехкоординатном виде.

ЦММ, построенные по поперечникам к оси магистрального хода или к оси трассы, находили широкое применение в начальный период перехода на системное, автоматизированное проектирование линейных инженерных объектов, когда исходная изыскательская информация собирается еще во многом в соответствии со старой технологией изысканий, а также при разработке проектов реконструкции автомобильных дорог, каналов и т. д.

Статистические ЦММ предполагают в своей основе нелинейную интерполяцию высот поверхностями второго, третьего и т. д. порядков. При создании массива исходных данных статистической ЦММ точки для ее формирования выбирают в зависимости от случайного распределения, близкого к равномерному. Статистические модели являются во многом универсальными. Сфера их применения весьма широка и не ограничивается какими-либо категориями рельефа местности, наличием того или иного исходного материала создания ЦММ и наличием тех или иных приборов.

Задачи, решаемые с использованием цифровых моделей:

– оптимальное пространственное трассирование автомобильных, лесовозных дорог и каналов. Решение этой актуальной задачи с привлечением математического аппарата оптимизации проектных решений стало возможным благодаря развитию методов цифрового и математического моделирования местности;

– получение продольных профилей Земли по оси вариантов трассы, запроектированных с использованием крупномасштабных топографических планов. В рамках изысканий при традиционном проектировании продольный профиль по оси трассы получали в результате выполнения трудоемкого комплекса полевых геодезических работ, как правило, средствами традиционной наземной геодезии (трассирование, закрепление

трассы, разбивка пикетажа, двойное геометрическое нивелирование и т. д.); получение поперечных профилей Земли. Эта работа при традиционных изысканиях выполнялась, как правило, методом тригонометрического нивелирования;

– получение продольных по оси трассы и поперечных инженерно-геологических разрезов. При традиционных изысканиях эту совершенно необходимую для проектирования информацию получали в результате выполнения комплекса чрезвычайно трудоемких и дорогих инженерно-геологических работ путем механического бурения, шурфования, устройства расчисток и т. д.;

– получение исходной инженерно-гидрологической информации для проектирования водопропускных сооружений и системы поверхностного водоотвода (площади водосборов, живые сечения, морфостворы и гидростворы, уклоны логов и их склонов, математическое моделирование стока ливневых и талых вод и т. д.);

– проектирование системы дорожного поверхностного водоотвода (кюветы, быстротоки, нагорные и водоотводные канавы и т. д.); решения задачи распределения земляных масс и подсчеты объемов земляных работ;

– решение задач вертикальной планировки при проектировании площадей, городских улиц и дорог и аэродромов;

– пространственное моделирование полотна автомобильных дорог и прилегающего ландшафта. Решение этой задачи широко используют при ландшафтном проектировании автомобильных дорог для обеспечения зрительной плавности и ясности трассы и обеспечения гармоничного вписывания полотна автомобильных дорог в прилегающий ландшафт с обеспечением высоких уровней удобства и безопасности движения; проектирование транспортных развязок автомобильных дорог в одном и разных уровнях.

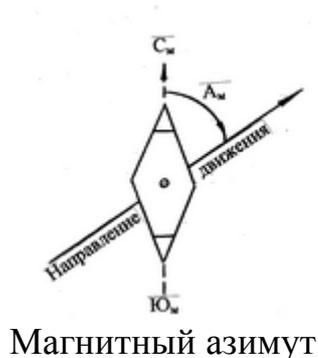
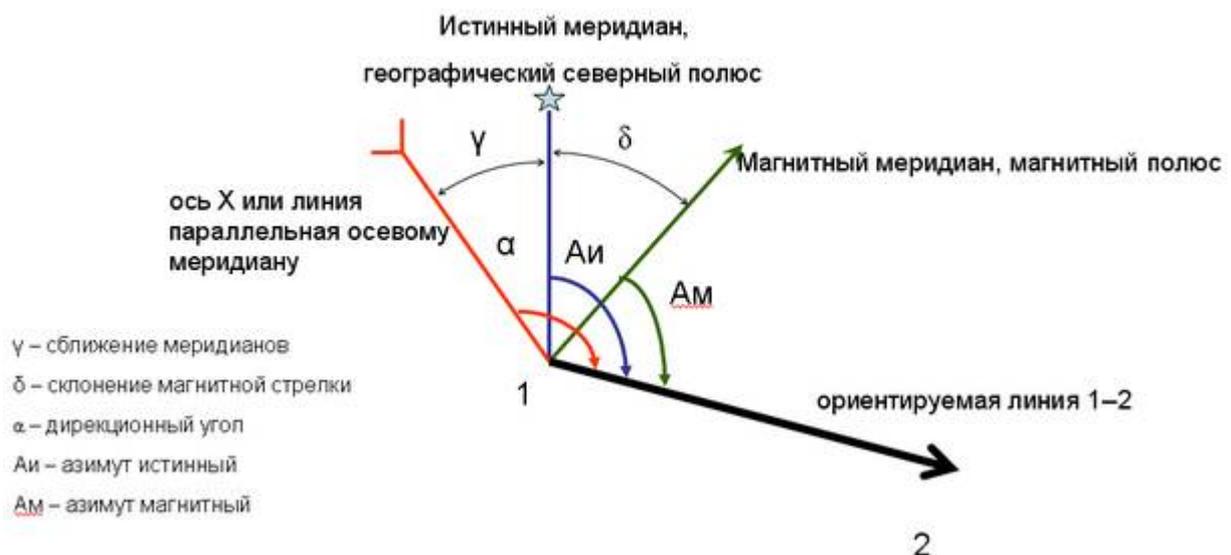
Тема 4. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ НА ЭЛЛИПСОИДЕ И НА ПЛОСКОСТИ

4.1. Ориентирные углы

Ориентирование – это определение своего положения или направления движения относительно исходных ориентиров.

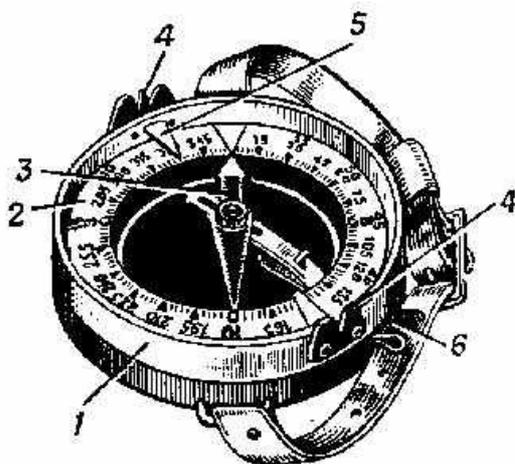
Через любую точку на земной поверхности проходят: магнитный меридиан, истинный меридиан и линия, параллельная осевому меридиану зоны, или осевой меридиан (ось X). Эти линии являются исходными направлениями, от которых отсчитывают соответствующие азимуты. Азимут (от араб. *Ас-самт* – путь, направление) – угол между плоскостью меридиана точки наблюдения и вертикальной плоскостью, проходящей через эту точку и наблюдаемый объект. Азимут отсчитывается от севера по часовой стрелке от 0° до 360° , это всегда положительная величина.

На рисунке показаны эти линии и соответствующие им азимуты. Подобная схема исходных направлений приводится на карте в зарамочном оформлении в нижнем левом углу.



На местности для определения направления дальнейшего движения необходимо измерить непосредственно с помощью компаса или буссоли угол между исходным направлением и направлением предполагаемого движения. Исходное направление носит название магнитного меридиана. В дальнейшем при движении выдерживают измеренный угол – магнитный азимут направления a_m .

Таким образом, **магнитным азимутом A_M** называется горизонтальный угол, отсчитываемый по часовой стрелке от направления на север магнитного меридиана до заданного направления.

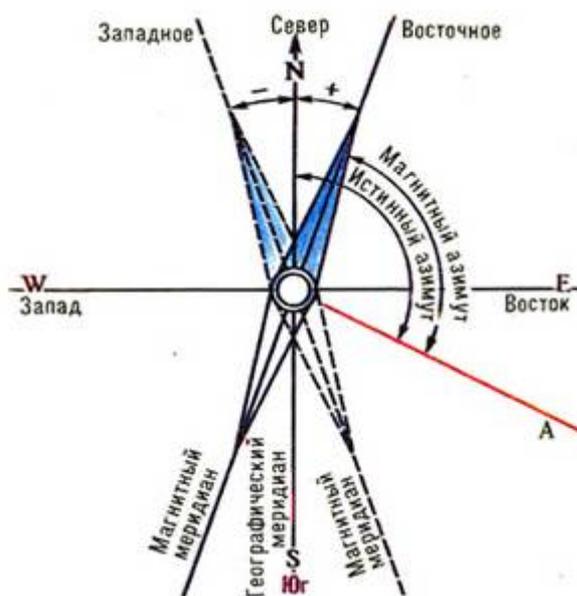


Компас Адрианова:

1 — корпус; 2 — шкала (лимб); 3 — магнитная стрелка; 4 — визирное приспособление (мушка и целик); 5 — указатель отсчетов; 6 — тормоз



Буссоль



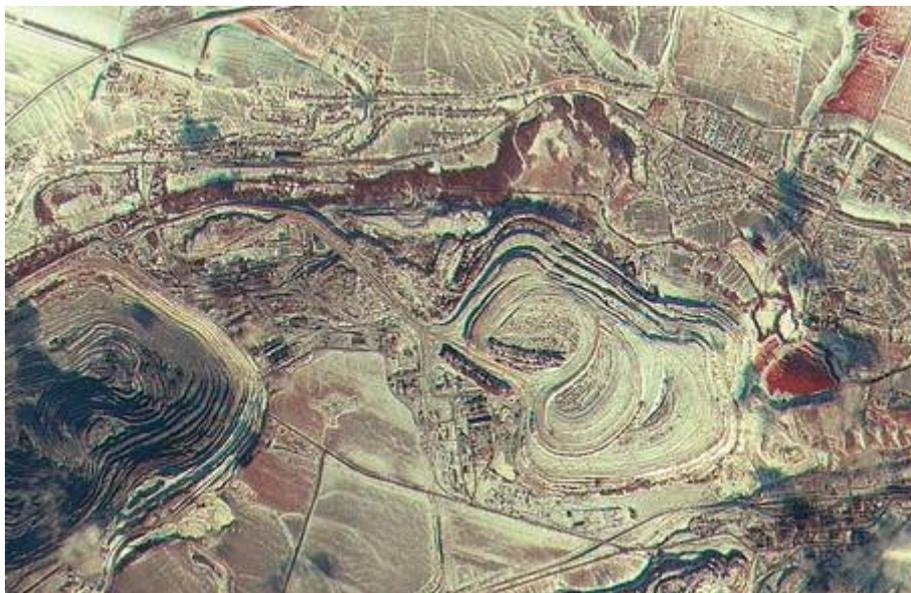
Однако точность этих измерений невысока (несколько минут), так как склонение магнитной стрелки непостоянно. Несовпадение истинного и магнитного меридиана в данной точке называется склонением магнитной стрелки и обозначается δ . Если магнитный меридиан отклоняется к востоку от истинного, склонение считается восточным и знак склонения будет (+), если склонение западное, оно будет отрицательным, со знаком (-).

На территории России склонение меняется от места к месту в пределах от -15° до $+25^\circ$. В

аномальных районах эти изменения так велики, что магнитной стрелкой пользоваться нельзя. Кроме того, склонение изменяется во времени, испытывая суточные, годовые и вековые изменения. Склонение в течение

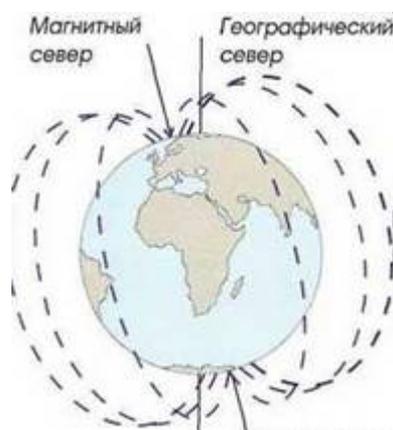
суток может измениться до 1° . Вековые изменения могут достигать десятков градусов.

Отклонение стрелки компаса по вертикали называется наклоном. Наклонение помогает находить магнитные аномалии и проводить разведку полезных ископаемых.



Район Курской магнитной аномалии

Таким образом, пользоваться компасом для ориентирования не всегда надежно и точно.



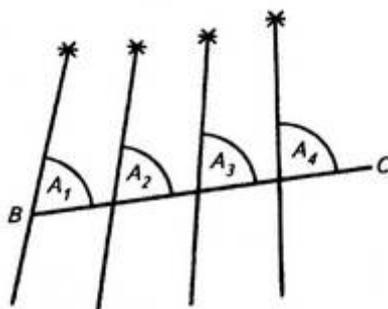
Если за исходное направление принимают северное направление географического меридиана (истинного), то измеряемый угол будет называться «истинный азимут» и обозначаться ai .

Истинным азимутом A_i называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана до заданного направления.

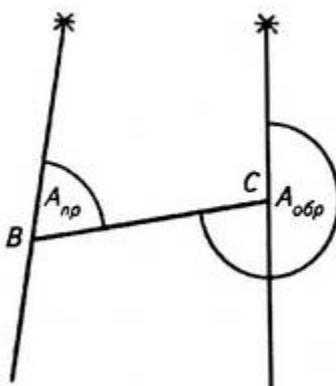
$$0^\circ \leq A_i \leq 360^\circ$$

На местности азимут заданного направления можно определить астрономическим методом – измерив горизонтальный угол между направлением на небесное светило (солнце, звезду) и заданным направлением. Зная азимут светила, вычисляемый с использованием астрономического ежегодника, и измеренный угол, вычисляют азимут заданного направления.

Истинный азимут прямой линии в разных ее частях имеет разное значение: A_1, A_2, A_3, A_4 .



Прямой и обратный азимуты заданной линии AB отличаются не на 180° . Все это создает трудности при работе с азимутом.



На картах вертикальные линии сетки параллельны осевому меридиану. В этом случае полярным ориентирным углом будет дирекционный угол α .

Дирекционным углом α (от фр. *Direction* – направление) – называется горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана (от оси X или линии ей параллельной) до заданного направления.

Дирекционный угол используется в геодезии, артиллерии и навигации.

Азимуты и дирекционные углы – это горизонтальные углы, меняются в пределах от 0° до 360° , они всегда имеют знак «+».

Угол γ между северным направлением меридиана и направлением оси абсцисс X прямоугольных координат (то есть линии, параллельной осевому меридиану) называется **сближением меридианов**.

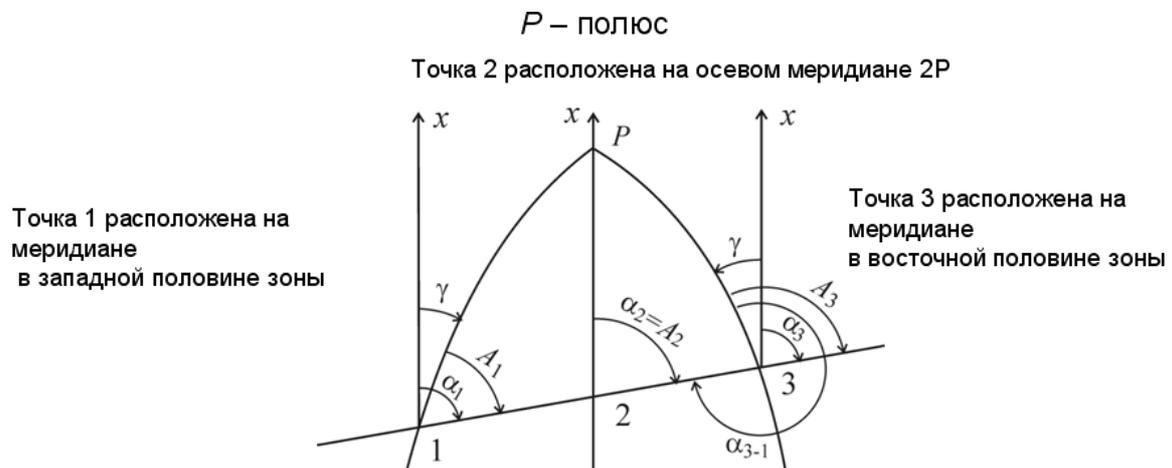
При отклонении оси абсцисс от меридиана к востоку, сближение меридианов считают положительным, а при отклонении к западу – отрицательным. При этом справедлива формула $A = \alpha + \gamma$, где α – дирекционный угол, γ – сближение меридианов.

Приблизительно сближение меридианов равно $\gamma = \Delta\lambda \sin\varphi$, где $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, причем λ – долгота географического данной точки; λ_0 – долгота осевого меридиана; φ – широта точки.

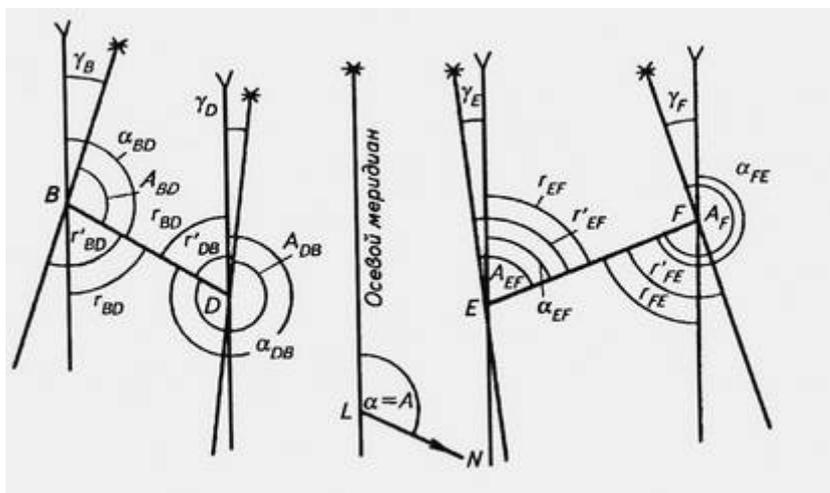
Для точек, расположенных к востоку от осевого меридиана зоны, сближение меридианов положительное, а к западу – отрицательное.

При этом дирекционные углы в разных точках прямой линии равны: $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3$. Поэтому обратный дирекционный угол в точке 3 отличается от прямого в точке 1 ровно на 180° , то есть $\alpha_{1-3} = \alpha_{3-1} \pm 180^\circ$.

Азимуты же в разных точках прямой различаются: $a_1 \neq a_2 \neq a_3$, что обусловлено различием сближения меридианов.



На карте приводятся исходные направления, значения углов склонения магнитной стрелки, сближения меридианов. Используя эти величины, можно найти любой ориентирный угол.



При использовании местной системы прямоугольных координат направление оси абсцисс x не связано с направлением осевого меридиана координатной зоны, и тогда дирекционные углы отсчитывают от положительного направления оси абсцисс X

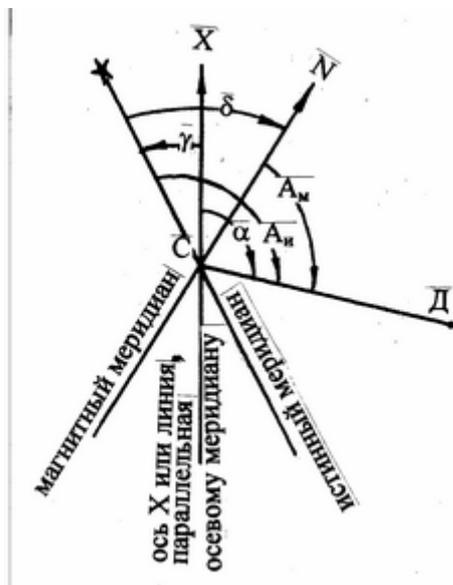
В практике вычислений находят применение также вспомогательные углы ориентирования – **румбы** (от греч. Rhombos - юла, волчок, круговое движение).

Румбы находят применение в разных отраслях: в морской навигации – это мера угла окружности горизонта, разделенного на 32 румба. В метеорологии – это мера угла окружности горизонта, разделенного на 16 румбов. В геодезии румб – угол между меридианом и данным направлением, отсчитываемый от меридиана в обе стороны от 0 до 90 градусов.

Четыре главных румба – четыре стороны света: север, восток, юг, запад. Для промежуточных направлений используются комбинации главных направлений: северо-восток (СВ), юго-восток (ЮВ), юго-запад (ЮЗ) и северо-запад (СЗ). В навигации между севером и северо-востоком вводится дополнительное направление северо-северо-восток (ССВ), между северо-востоком и востоком - восточно-северо-восток (ВСВ) и т.д.

Т.о. для практических целей часто вместо азимутов и дирекционных углов применяют румбы. **Румбом r** будем называть острый угол, отсчитываемый от ближайшего (северного или южного) направления меридиана

(оси X). Румбу приписывают название координатной четверти (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ), в которой расположено заданное направление. Например, для $\alpha = 240^\circ 36'$ румб равен $r = \text{ЮЗ}: 60^\circ 36'$.



Согласно рисунку между азимутами и дирекционным углом можно установить зависимость:

$$\alpha = A_{И} - \gamma$$

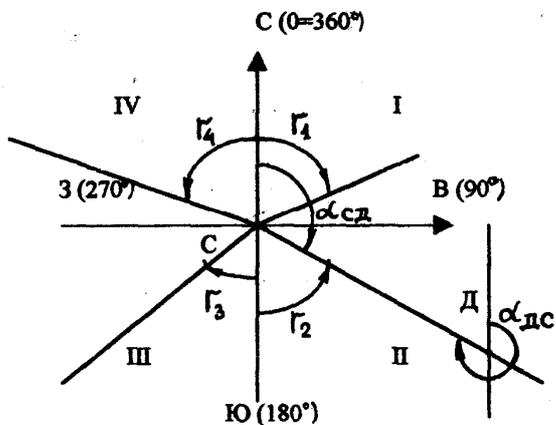
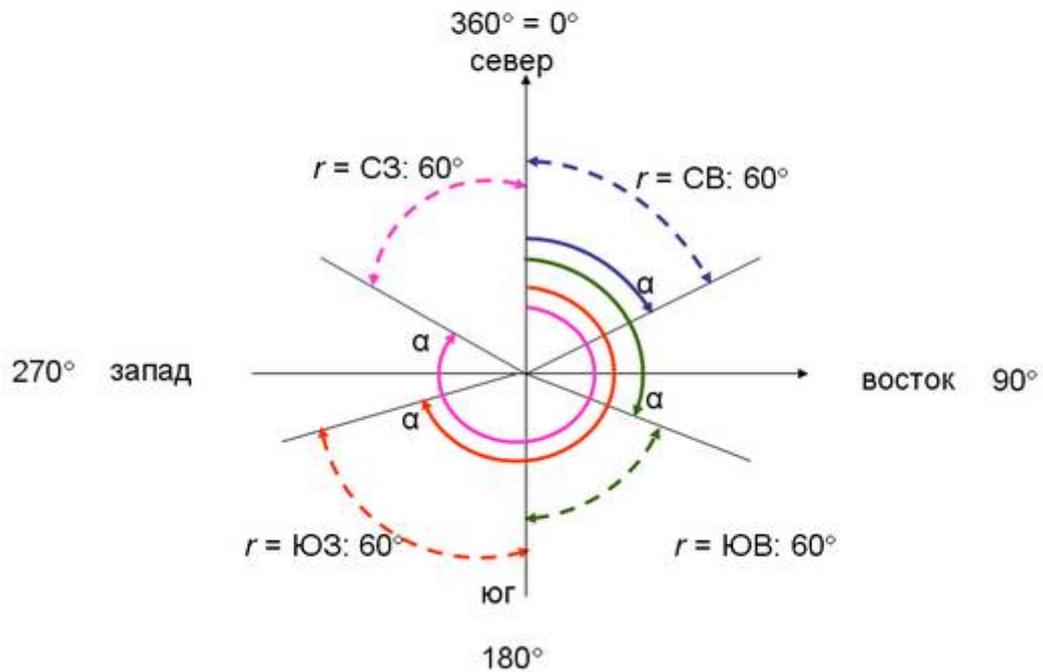
$$\alpha = A_M + \delta - \gamma$$

Здесь γ – сближение меридианов. Оно может быть восточным (отрицательным) или западным (положительным).

В общем случае: $\alpha = A_{И} \mp \gamma$ и $\alpha = A_M \pm \delta \mp \gamma$.

Связь между дирекционными углами и румбами представлена на рисунке:

Связь румба и дирекционного угла



Чет- верти	Румбы	Табличный угол
I	$r = СВ: r_1$	$r = \alpha$
II	$r = ЮВ: r_2$	$r = 180^\circ - \alpha$
III	$r = ЮЗ: r_3$	$r = \alpha - 180^\circ$
IV	$r = СЗ: r_4$	$r = 360^\circ - \alpha$

Между прямым и обратным дирекционным углом зависимость выражается формулой: $A_{dc} = \alpha_{cd} + 180^\circ$.

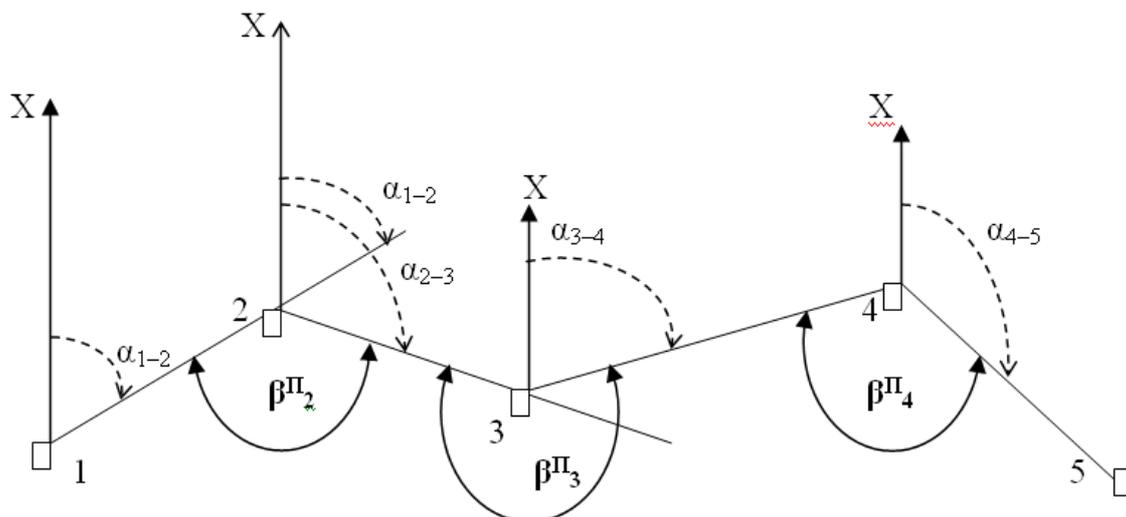
Для прямого и обратного истинного и магнитного азимутов связь представлена формулами:

$$A_{и(сд)} = a_{и(дс)} + 180^\circ + (\gamma_{сд} - \gamma_{дс});$$

$$A_{м(сд)} = a_{м(дс)} + 180^\circ + (\delta_{сд} - \delta_{дс}).$$

На практике вычисление γ и определение δ представляют определенную сложность и не отличаются высокой точностью. Поэтому предпочитают отдавать дирекционным углам.

От одного направления к другому дирекционный угол можно передавать с помощью измеренных теодолитом углов, правых или левых по ходу. На рисунке приведены измеренные правые углы $\beta_{2.}^{\Pi}$, $\beta_{3.}^{\Pi}$, $\beta_{4.}^{\Pi}$.



Соответственно измеренным горизонтальным углам возможны два варианта расчета дирекционного угла определяемой стороны: для левых и для правых по ходу измеренных углов:

В соответствии с рисунком при измеренных правых углах:

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2;$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_3.$$

Общее правило для левых углов: дирекционный угол последующего направления равен дирекционному углу предыдущего направления плюс измеренный по ходу левый угол минус 180° .

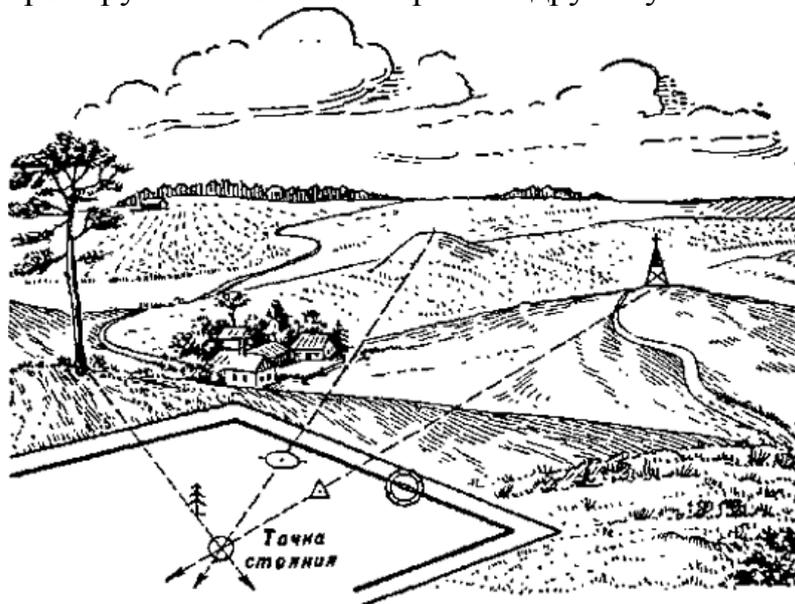
Общее правило для правых углов: дирекционный угол последующего направления равен дирекционному углу предыдущего направления плюс 180° минус измеренный по ходу правый угол.

$$A_{3-4} = \alpha_{2-3} - \beta_3 \pm 180^\circ.$$

4.2. Ориентирование по местным предметам

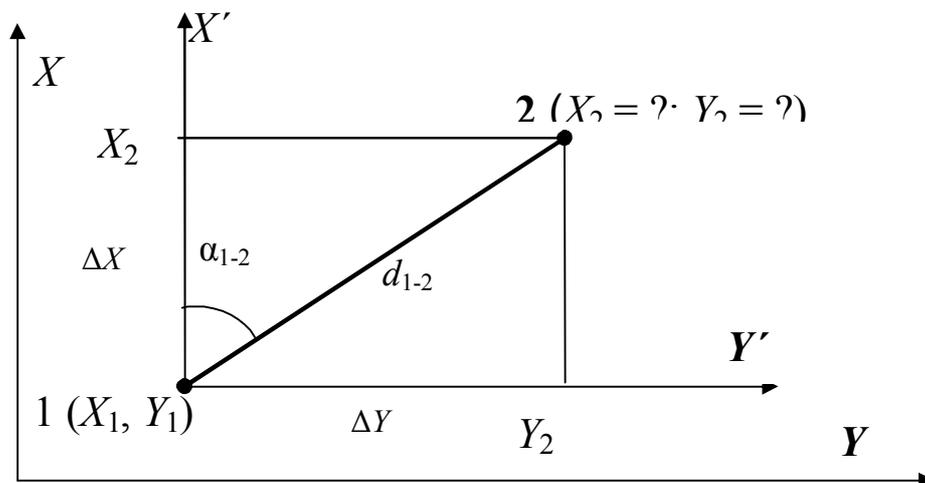
Это ориентирование выполняют, имея на руках карту. Сначала на ней по местным предметам определяют свое положение. Для этого используют четкие изображения местных предметов на карте, таких как перекресток дорог, отдельные деревья, постройки и т.д.

Располагаясь на местности вблизи опознанного на карте предмета, прикладывают линейку к точке стояния и расположенному вблизи и изображенному на карте местному предмету. Закрепляют карту на планшете из картона или фанеры и вращают планшет, пока линия визирования вдоль ребра линейки не совпадет с направлением на выбранный предмет на местности. Контролируют положение карты по другому местному предмету.



4.3. Прямая и обратная геодезические задачи

Различают прямую и обратную геодезические задачи на плоскости и на эллипсоиде. Для плоскости прямая геодезическая задача заключается в вычислении координат определяемой точки 2 по известным прямоугольным координатам точки 1, расстоянию между этими точками d_{1-2} (горизонтальному проложению) и дирекционному углу линии α_{1-2} , соединяющей эти точки.



Перенесем условно начало координат в точку 1. Соединим точки 1 и 2 линией d_{1-2} . На плане, карте или местности эта линия лежит в горизонтальной плоскости и по определению является горизонтальным проложением. Покажем также дирекционный угол линии α_{1-2} .

Согласно рисунку:

$$\Delta X = d_{1-2} \cos \alpha_{1-2}$$

$$\Delta Y = d_{1-2} \sin \alpha_{1-2};$$

$$X_2 = X_1 + \Delta X \quad \text{и} \quad Y_2 = Y_1 + \Delta Y.$$

Таким образом, прямую задачу решают, используя полярную систему координат.

При обратной задаче даны координаты двух точек X_1, Y_1 и X_2, Y_2 и требуется найти горизонтальное проложение d_{1-2} и дирекционный угол α_{1-2} .

Вычисляют приращение координат и горизонтальное проложение:

$$\Delta X = X_2 - X_1; \quad \Delta Y = Y_2 - Y_1 \quad \text{и} \quad d_{1-2} = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}.$$

Дирекционный угол находят по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_{1-2} = \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}.$$

Строго говоря, по этой формуле вычисляют румб линии, а затем уже по формулам связи от румба переходят к дирекционному углу.

Контроль вычислений выполняют по формулам:

$$\Delta X = d_{1-2} \cos \alpha_{1-2}; \quad \Delta Y = d_{1-2} \sin \alpha_{1-2}.$$

ТЕМА 5. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ И ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

5.1. Общие сведения о геодезических сетях

Одним из значений геодезии является определение координат и высот на земной поверхности. Определение координат происходит главным образом посредством образования на земной поверхности множества точек (геодезических пунктов), связанных между собой различного вида измерениями: угловыми, линейными, измерением превышений.

Государственной геодезической сетью называется совокупность пунктов с известными координатами в выбранной общей системе, расположенных равномерно по территории и соответствующим образом закрепленных на земной местности специальными центрами, обеспечивающими их сохранность и устойчивость в плане и по высоте в течение длительного времени.

Понятие «геодезический пункт» содержит в себе два понятия: «центр» и «знак». Под **геодезическим центром** понимают сооружения из бетона, железобетона, трубы, рельса или дерева, назначение которых сохранить на долгое время (долговременные центры) или на короткое время в 1 – 2 года (временные центры) координаты пунктов или их высоты. Центры высотных сетей называют **реперами**. Точки геодезических сетей закрепляются на местности знаками.

По местоположению знаки бывают

- грунтовые и
- стенные, заложенные в стены зданий и сооружений.

По материалу изготовления:

- металлические,
- железобетонные,
- деревянные,
- в виде откраски и т. д..

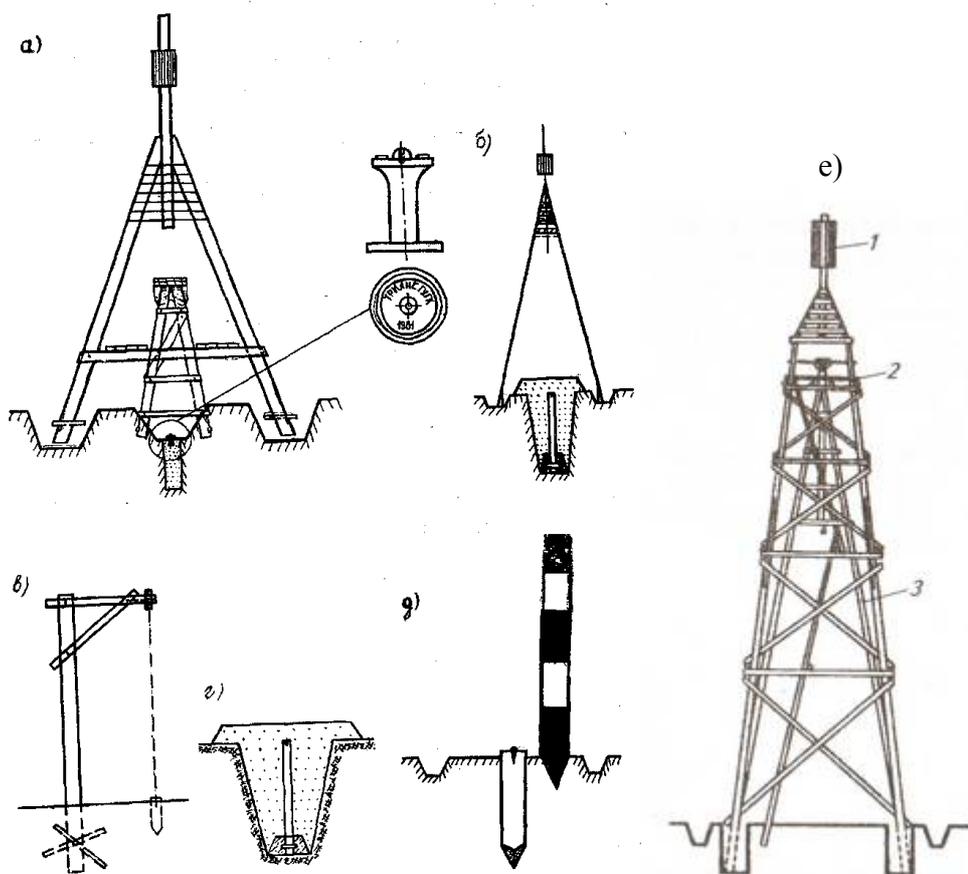
По назначению знаки различают как:

- постоянные, к которым относятся все знаки государственных геодезических сетей,
- временные, устанавливаемые на период изысканий, строительства, реконструкции, наблюдений и т. д.

Знаком называют инженерное сооружение, располагающее центром и служащее для установки геодезических приборов, а также играющее роль цели визирования. Знаки могут быть деревянные, металлические, кирпичные и каменные. Знаки имеют наружное оформление в виде окопки или кургана. Наружное оформление предназначено для опознавания на мест-

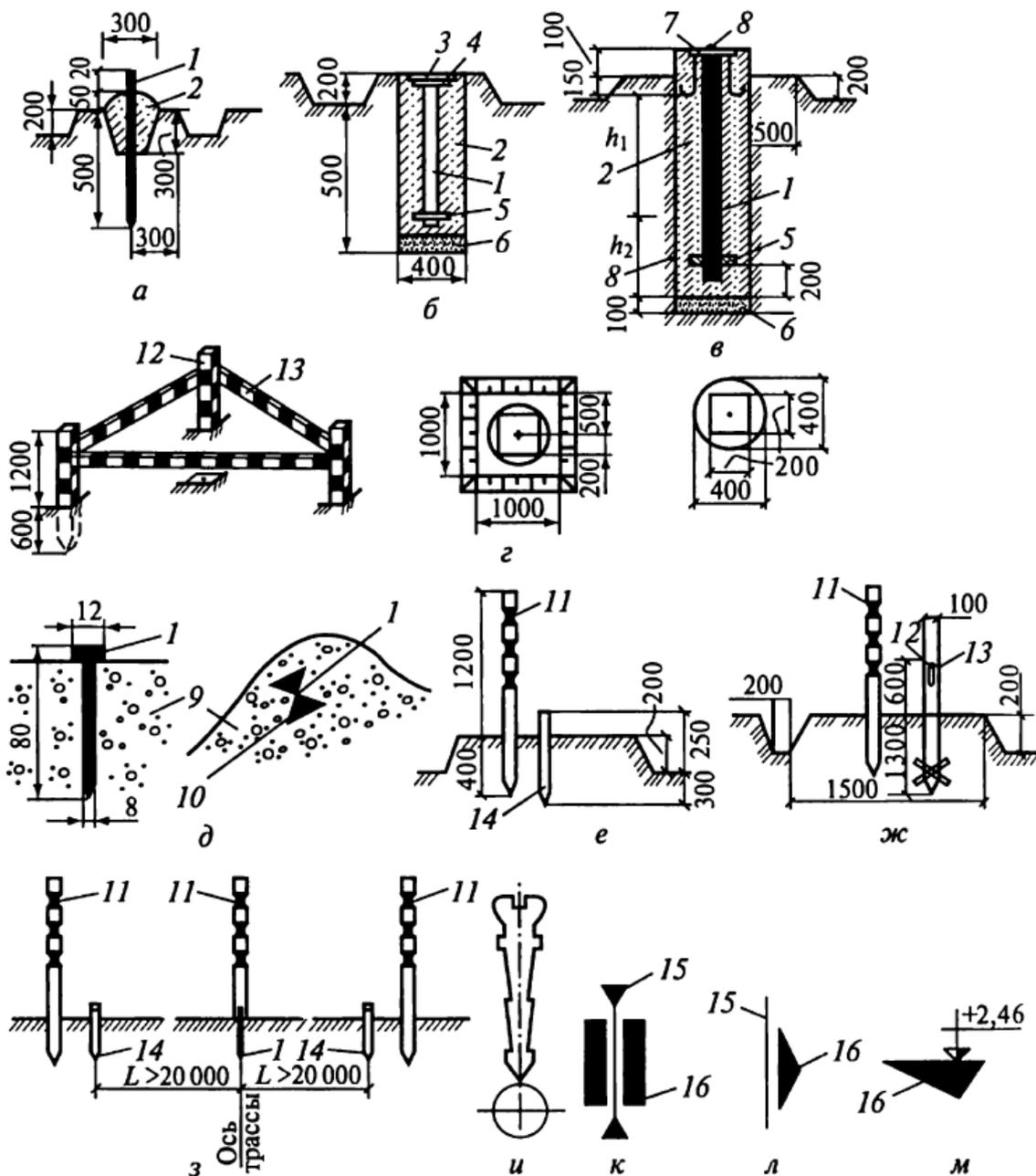
ности места закладки центра утрате наружного знака. На рисунке показаны некоторые типы знаков, центров и реперов:

- а) простой сигнал и железобетонный монолит;
- б) металлическая или деревянная трехгранная или четырехгранная пирамида и трубчатый центр с железобетонным якорем;
- в) деревянная пирамида-веха и деревянный центр временного типа;
- г) грунтовый репер;
- д) деревянные вешка и колышек;
- е) сложный сигнал.



В верхней части каждого центра закрепляется чугунная марка с отверстием или металлическая пластинка с крестообразной насечкой (в деревянных центрах марку заменяют гвоздем), координаты X, Y относятся непосредственно к центру марки, крестообразной насечке или гвоздю. У реперов марка имеет в центре выпуклость в виде полусферы, на которую устанавливают нивелирную рейку.

В строительстве часто применяют следующие виды закрепления геодезических пунктов:



Знаки закрепления:

а – основных или главных разбивочных осей зданий высотой до пяти этажей, сооружений высотой до 15 м с продолжительностью строительства до полугода; б – то же, более полугода; в – то же, с глубиной промерзания согласно таблице; г – ограждения знаков; д – знак закрепления разбивочных осей на скалах и бетоне ограждения в виде тура из камней; е, ж, з – осей и отметок линейных сооружений; и – осей и отметок дюбелями на зданиях, твердых покрытиях дорог; к – откраска закрепления створа оси; л – то же, ориентирной риски; м – то же, отметки; 1 – металлический стержень; 2 – бетон; 3 – деревянная крышка; 4 – металлическая пластина; 5 – якорь; 6 – песок; 7 – анкер; 8 – деревянные металлические столб и перекладина; 9 – скальный грунт, бетон; 10 – откраска пересечения осей; 11 – ориентирная вежа; 12 – полочка-зарубка на деревянном столбе для установки рейки; 13 – деревянный столб-репер; 14 – постоянный знак – деревянный кол; 15 – карандашная черта створа оси и ориентирной риски; 16 – откраска

Геодезические сети охватывают обширные территории и распространены на все материки и острова. Они предназначены:

- для распространения единой системы координат в пределах одного государства или нескольких государств;
- для картографирования территорий этих государств;
- для определения формы и размеров геоида и эллипсоида, наиболее удобных для данных государств;
- для наблюдения за движением материков и отдельных точек земной поверхности;
- для решения практических задач в геологии, маркшейдерии в горном деле, строительстве гражданских и промышленных объектов.

Геодезические сети можно различать по:

- территориальному охвату;
- назначению;
- по точности построения;
- по густоте построения.

По территориальному признаку различают сети:

- 1) глобальные;
- 2) национальные (ГГС);

Глобальные сети создаются на всю поверхность Земли спутниковыми методами, являясь пространственными с началом координат в центре масс Земли и определяемые в системе координат ПЗ-90, WGA-84.

Национальные сети делятся на:

- государственную геодезическую сеть (ГГС) с определением координат в СК-95 в проекции Гаусса-Крюгера на плоскости;
- государственную нивелирную сеть (ГНС) с определением нормальных высот в Балтийской системе, т.е. от нуля Кронштадтского футштока;
- государственную гравиметрическую сеть 1 класса и фундаментальные гравиметрические пункты

В России геодезические сети подразделяют на:

- плановые сети, в которых пункты имеют прямоугольные координаты X , Y . За начало плановых координат приняты координаты центра круглого зала Пулковской астрономической обсерватории в Санкт-Петербурге (на фото);



– высотные сети, в которых пункты имеют высоты H , абсолютные высоты измеряются от нуля Кронштадтского футштока;



– пространственные – плано-высотные сети, в которых для всех пунктов определены X , Y , H .

По назначению сети классифицируют на опорные геодезические сети, сети сгущения, сети съёмочного обоснования и сети специального назначения.

Государственные (опорные) сети являются исходными для построения всех других видов сетей.

Сети сгущения строят для дальнейшего увеличения плотности (числа пунктов, приходящихся на единицу площади) государственных сетей.

Съёмочные сети – тоже сети сгущения, но с еще большей плотностью, являются обоснованием для выполнения топографических съемок и создаются обычно плано-высотными.

Геодезические сети специального назначения (ГССН) создаются в тех случаях, когда дальнейшее сгущение пунктов ГГС экономически не-

целесообразно или когда требуется особо высокая точность геодезической сети. В зависимости от назначения эти сети могут быть плановыми, высотными, планово-высотными и даже пространственными и создаваться в любой системе координат. Плотность пунктов, схема построения и точность этих сетей зависят от специфических особенностей и устанавливаются проектом работ. В строительстве это может быть строительная сетка.

Геодезические сети		
Плановые	Планово-высотные	Высотные
Государственные или Опорные	Государственные или Опорные	Государственные или Опорные
Сети сгущения	Сети сгущения	Сети сгущения
Съемочные сети	Съемочные сети	Съемочные сети
Сети специального назначения	Сети специального назначения	Сети специального назначения

По точности измерений опорные сети подразделяются на классы точности:

- плановая опорная геодезическая на 1, 2, 3 и 4 классы. Более высокий класс линейных и угловых измерений соответствует 1 классу;
- высотные опорные сети имеют 1, 2 и 3 классы точности.

Сети сгущения классифицируют:

- плановые на I и 2 разряды;
- к высотным сетям сгущения относят нивелирование 4 класса и техническое нивелирование.

Сети съемочного обоснования:

- плановые сети имеют низкий класс точности измерений. Расстояния измеряют с относительной ошибкой от 1:1 000 до 1:3 000, а углы с ошибкой 30";
- высотные сети съемочного обоснования строят техническим и тригонометрическим нивелированием.

История развития геодезии показывает, что с течением времени требования к точности построения ГГС непрерывно возрастают. Вместе с тем,

сама по себе ГГС, если ее не обновлять и не совершенствовать, постоянно стареет, утрачивает часть пунктов, теряет точность в отдельных ее частях, особенно из-за движений земной коры.

Для того чтобы ГГС страны всегда находилась на уровне современных требований, необходимо:

- систематически проводить полевое обследование всех пунктов сети, восстанавливать или заново определять утраченные пункты сети;
- периодически выполнять повторные или дополнительные измерения в значительной части сети, особенно в тех ее частях, которые наиболее подвержены движениям земной коры;
- повторять или дополнять измерения, проводимые для дальнейшего совершенствования и повышения точности ГГС;
- по мере накопления измерительной информации, совершенствования средств и методов измерения, пересматривать принципы построения ГГС.

При построении ГГС неизбежно возникают три основных вопроса, имеющих принципиальное значение:

- выбор схемы построения ГГС на всей территории страны;
- установление разумной плотности пунктов ГГС;
- установление необходимой и достаточной точности взаимного положения пунктов ГГС.

Основной принцип построения государственной геодезической сети: она создается поэтапно, соблюдая принцип от общего к частному.

Работы по созданию ГГС были начаты в 1925 году. За последующие 15 лет на местности было закреплено 4733 пункта пунктов, над каждым из которых для обеспечения взаимной видимости строился наружный знак в виде геодезического сигнала. Высота таких сигналов могла достигать 40 метров. Угловые измерения выполнялись по достаточно сложной программе, обеспечивающей СКП измерения углов порядка $0,7'' - 0,9''$. Было построено 87 полигонов первого класса. Линейные измерения проводились по программе, обеспечивающей точность порядка $1/300000$ от длины линии, т.е. при длине линии в 20 км погрешность измерения составляла примерно 7 см.

Система координат, которая получена на базе эллипсоида Красовского, была разработана к 1942 году, а внедрена в действие Постановлением Правительства 07.04.1946 году под названием СК–42 (Система Координат 1942 года). К 1968 году СК–42 была распространена на Север; к 1971 – на Крайний Север, и к 1972 – на Дальний Восток. В начале шестидесятых годов для широкого пользования была внедрена наравне с СК–42 система координат СК–63. СК–42 прослужила около 50 лет. Она полностью обеспечивала создание топографических карт масштаба 1:100 000. В 70–80 годах прошлого века началась модернизация ГГС.

С начала 90х годов широкое применение в практике геодезических измерений получают спутниковые системы GPS. В это же время производится переуравнивание всей государственной геодезической сети с учетом построенных к тому времени спутниковых и космических сетей. Постановлением Правительства от 28.06.2000г. «Об установлении единой государственной системы координат» введена с 1 июля 2002 года система координат СК–95. Значительные успехи, достигнутые в повышении точности определения координат точек по результатам наблюдений искусственных спутников Земли (ИСЗ), позволяют в настоящее время пересматривать принципы построения ГГС. Государственная геодезическая сеть, создаваемая по новым правилам, строится по принципу перехода от общего к частному и включает в себя геодезические построения различных классов точности:

- фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС);
- высокоточная геодезическая сеть (ВГС);
- спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС–1);
- астрономо-геодезическая сеть и геодезические сети сгущения.

Высший уровень в структуре ГГС – **фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС)**. Она является исходной основой для распространения на территории страны общеземной геоцентрической системы координат. Для определения положения пунктов ФАГС в такой системе координат используют методы космической геодезии. Они обеспечивают высокую точность их общеземной системе координат, характеризуется средней квадратической погрешностью не более 10...15 см, а средняя квадратическая погрешность взаимного положения пунктов ФАГС, удаленных один от другого на расстояние 800 – 1000 км, не должна превышать 2 см в плане и 3 см по высоте.

Пункты ФАГС должны иметь нормальные высоты, для определения которых используют геометрическое нивелирование не ниже II класса точности.

Число таких пунктов по старне планируется около 50 – 70, из них 10–15 пунктов должны стать постоянно действующими, остальные могут переопределяться через определенные промежутки времени в зависимости от динамической активности.

Высокоточная геодезическая сеть (ВГС) опирается на пункты ФАГС. Она представляет собой однородную по точности систему, пункты которой удалены один от другого на расстояние 150..300 км. С помощью пунктов ВГС распространяют на всю территорию страны общеземную систему координат, а также уточняют параметры взаимного ориентирования общеземной и референцной систем координат и решают некоторые другие задачи. Координаты пунктов ВГС относительно пунктов ФАГС определяют со средними квадратическими погрешностями не более 10–18 мм в плановое и 15–25 мм по высоте.

Спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС–1) – третий уровень в структуре современной ГГС. Она представляет собой геодезическое построение, создаваемое в целях эффективного использования спутниковых технологий при переводе геодезического обеспечения территории страны на спутниковые методы. Исходной основой для создания СГС–1 служат ближайшие пункты ФАГС и ВГС. СГС–1 в первую очередь создают в экономически развитых районах страны. Расстояние между пунктами СГС–1 в среднем составляет 25 – 35 км. С учетом требований отраслей народного хозяйства плотность пунктов на отдельных территориях может быть увеличена, что обеспечит широкому кругу производителей работ оптимальные условия по применению ГЛОНАСС и GPS аппаратуры в производственной деятельности. Средние квадратические погрешности по каждой из плановых координат пунктов СГС–1 относительно ближайших пунктов ВГС не должны превышать 10–12 мм в плане и 15–18 мм по высоте.

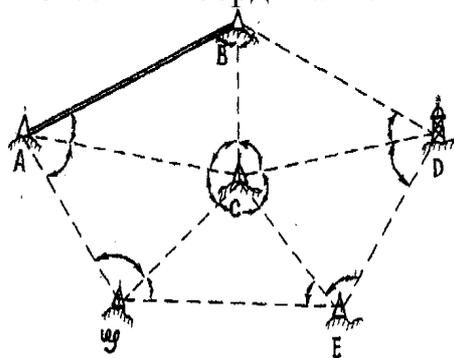
Астрономо-геодезическая сеть 1 и 2 классов (АГС) и геодезические сети сгущения 3 и 4 классов (ГСС) можно создавать как традиционными астрономо-геодезическими и геодезическими методами, так и с использованием спутниковых технологий. Средняя длина стороны в АГС обычно составляет 12 км. Астрономо-геодезическая сеть задает на всей территории страны геодезическую референционную систему координат и распространяет с необходимой для практики плотностью пунктов общеземную систему координат. Геодезические сети сгущения 3 и 4 классов – главная плановая основа топографических съемок всего масштабного ряда. Исходной основой для их создания служат пункты АГС и СГС-1. Средняя длина сторон в ГСС 3 класса составляет 6 км, а 4 класса – 3 км. Точность взаимного положения смежных пунктов АГС и ГСС характеризуется средней квадратической погрешностью, не превышающей 5 см. Положение пунктов ГГС определяют в двух системах геодезических координат: общеземной и референционной. Между ними установлена однозначная связь, обусловленная параметрами взаимного перехода – элементами ориентирования. Референционная система геодезических координат и элементы ее ориентирования относительно общеземной системы координат обязательны для использования на территории страны всеми ведомствами Российской Федерации.

5.2. Методы построения геодезических сетей

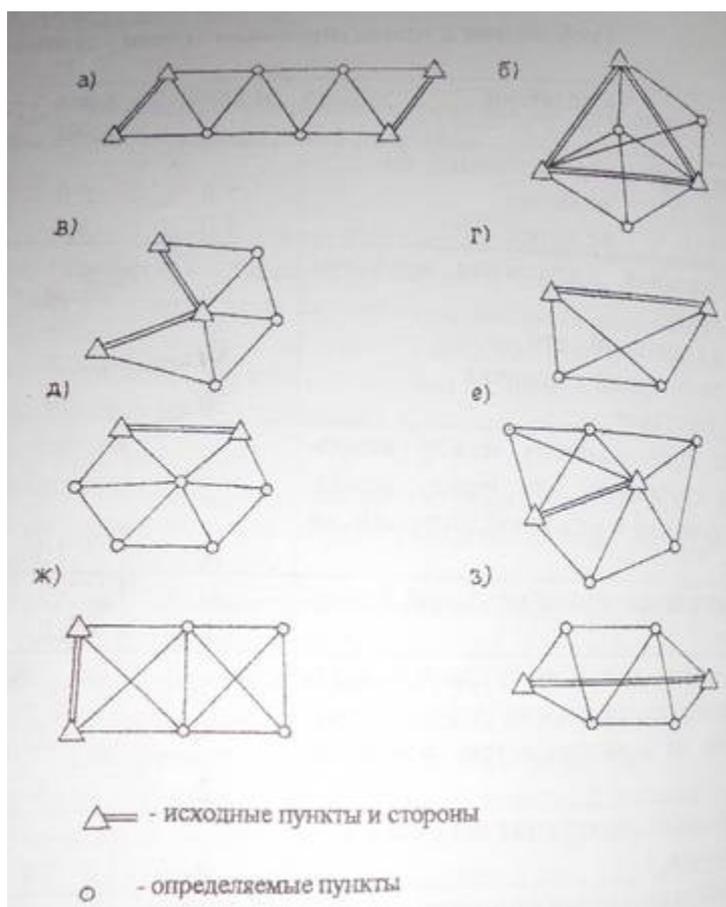
5.2.1. Методы построения плановых сетей

Для построения плановых сетей применяют методы триангуляции, полигонометрии, трилатерации и различных линейно-угловых построений. **Триангуляцией** называют метод, при котором сеть пунктов образуется построением пространственных треугольников, в которых измеряют все

углы и несколько сторон, называемых базисными сторонами. Обычно бывает задано несколько пунктов с известными координатами: АВ – базисная сторона, у этих пунктов известны координаты.



Достаточно долгое время основным методом построения государственной геодезической сети является метод триангуляции (три угла). Метод предложен голландским математиком Снеллиусом еще в 1614 году. Особенности этого метода хорошо можно представить на примере цепочки треугольников. В каждом треугольнике измеряют все углы, а в крайних треугольника – еще и по одной стороне.



Зная выходную сторону АВ и все углы в треугольниках, по теореме синусов вычисляют последовательно все остальные длины сторон. С помощью углов передают исходный дирекционный угол, вычисленный по координатам пунктов А и В, на все стороны и решают последовательно прямые геодезические задачи, вычисляют координаты искомых точек.

Сети триангуляции могут быть в виде цепочки треугольников, сплошной сети, геодезических четырехугольников, вставки в жесткий угол и другие:

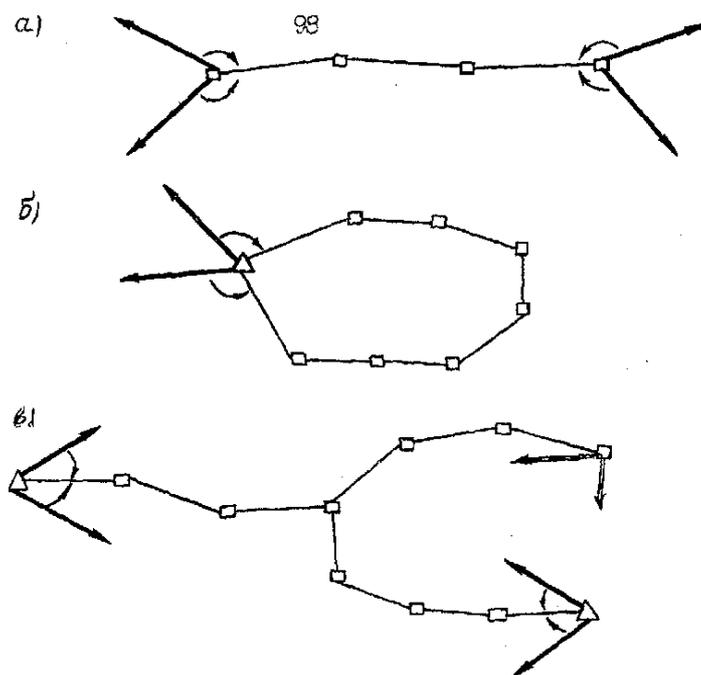
Метод триангуляции находит применение в том случае, если необходимо обеспечить определяемыми пунктами большие площади, сохраняя высокую точность определения взаимного положения пунктов.

Если в пространственных треугольниках измерить длины всех сторон, а затем по теореме синусов вычислить углы, можно решить прямые геодезические задачи и вычислить координаты точек. Такой метод называют **трилатерацией**. В чистом виде (без измерения отдельных углов) редко находит применение из-за слабого полевого контроля. Метод более применим в специальных сетях и сетях сгущения, когда измерение линий (сторон) приводит к более точным результатам, чем измерение углов.

При применении современных тахеометров и светодальномеров время на получение значения измеряемых двух линий в вершине угла в несколько раз меньше, чем измерение этого же угла с необходимой точностью. Время на расстановку отражателей и марок примерно одинаково. В этом случае производительность трилатерации выше, и по экономическим показателям трилатерация приближается к триангуляции.

Метод полигонометрии заключается в измерении линий и горизонтальных углов в цепочке пунктов, образующих ломаную линию, которая называется полигонометрическим ходом.

Полигонометрические ходы могут быть: а) – разомкнутыми; б) – замкнутыми; в) – с узловой точкой.



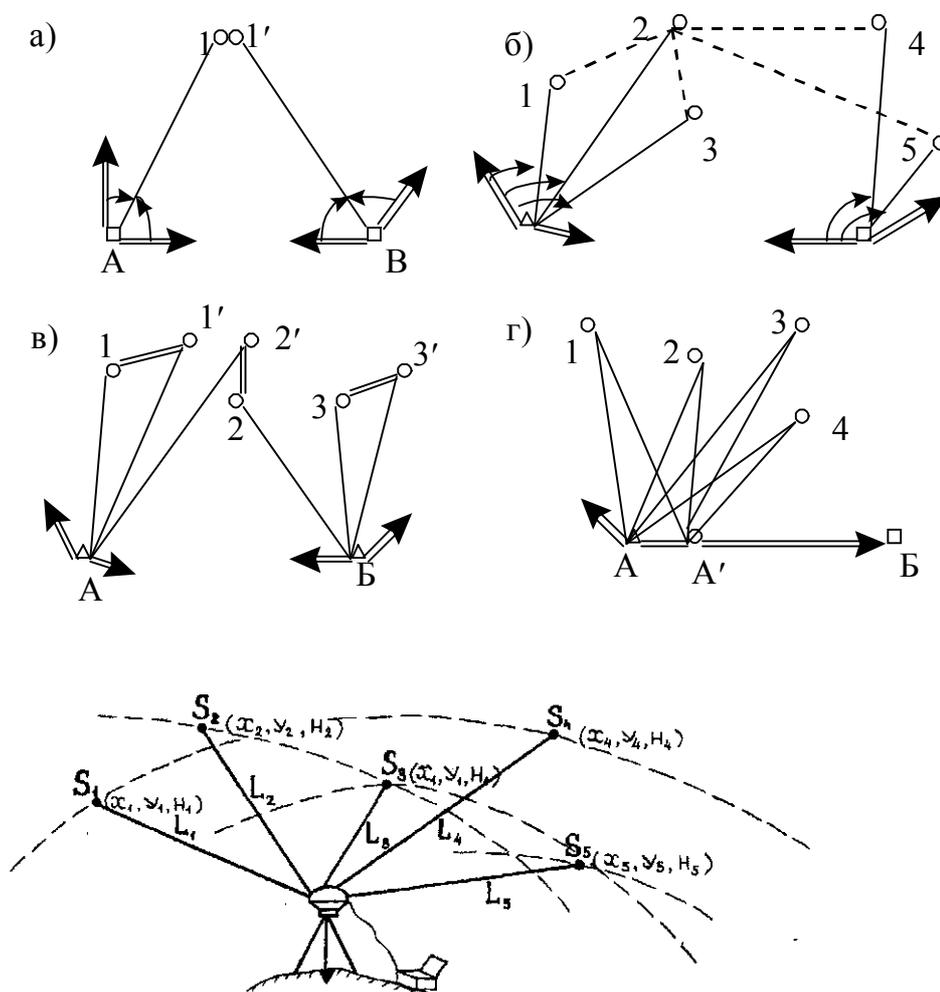
С помощью примычных углов дирекционные углы исходных направлений передают с контролем на все стороны хода. Чтобы найти координаты, остается решить последовательно прямую задачу. В сравнении с триангуляцией, полигонометрия представляет более гибкий метод, лучше приспособляемый к условиям рельефа и ситуации местности.

Метод более экономичен и производительнее триангуляции.

Недостатком метода является меньшая жесткость (меньшее число связей), чем в триангуляции, т.е. при равных условиях полигонометрия менее точна, чем триангуляция.

В основе метода линейно-угловых построений лежит полярный метод определения координат. Так в практике геодезических измерений часто применяют прямые, обратные комбинированные засечки.

На рисунке представлены различные варианты линейно-угловых построений: а) линейная засечка; б) полярный способ с контролем на т. 2 по углам; в) полярный способ с контролем по измеренным расстояниям; г) лучевые сети.



5.2.2. Методы построения высотных сетей

Высотные сети строят в основном методами геометрического нивелирования разных классов точности. В сетях сгущения и съемочных сетях возможно применение тригонометрического нивелирования.

Высотные опорные геодезические сети **I класса** строят в виде сомкнутых полигонов периметром 2000 км, прокладываемых двойными ходами

геометрического нивелирования по костылям в прямом и обратных направлениях.

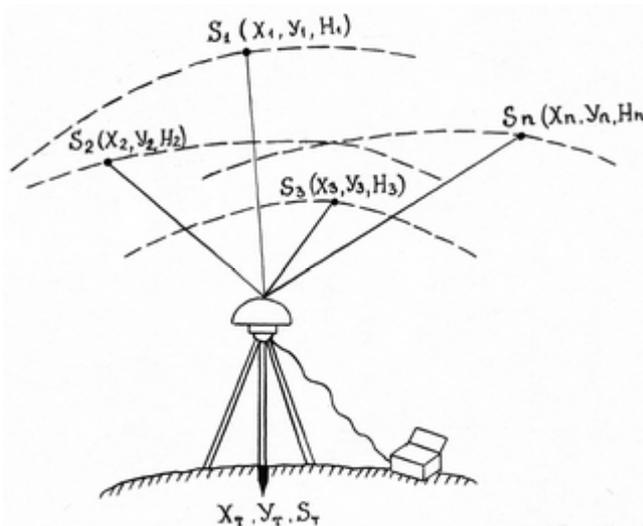
Нивелирование II класса образует полигоны периметром 500–600 км или разомкнутые ходы, опирающиеся на реперы I класса. Ходы прокладываются по костылям в прямом и обратном направлениях.

Нивелирование III класса прокладывают внутри полигонов II класса в виде разомкнутых ходов, опирающихся на реперы I и II классов, в прямом и обратном направлениях. Разрешается создание самостоятельных полигонов периметром 60 км. Нивелирование выполняют по костылям в прямом и обратном направлениях.

Нивелирование IV класса строят в виде разомкнутых и замкнутых ходов, опирающихся на реперы старших классов. Нивелирование выполняют в одном направлении по башмакам. Ходы могут образовывать системы с узловыми точками. Периметр полигона должен быть не более 50 км.

5.2.3. Спутниковый метод построения планово-высотных сетей

В настоящее время все более широкое распространение в нашей стране получает метод глобального определения координат (позиционирования). При этом методе используют специальные геодезические спутники системы ГЛОНАСС (Россия) или GPS (НАВСТАР) (США). В ближайшем будущем Galileo станет третьей спутниковой навигационной системой.



Сущность метода представлена на рисунке. Здесь S_i – геодезические спутники с известными координатами; X_T, Y_T, S_T – координаты определяемой точки стояния спутникового приемника (антенны). В секторе приема наземной станции должно находиться не менее четырех спутников, расположенных под определенными углами к горизонту. С наземной станции (приемника) измеряют радиодальномером расстояния до спутников.

Спутники имеют координаты на момент измерений (X_i, Y_i, H_i) и играют роль исходных геодезических пунктов при обратной линейной записке. Таким же образом определяют и высоту точки стояния наземной станции. Точность определения координат в плане и по высоте составляет 1–5 см.

Этот метод не требует строительства дорогостоящих сигналов, наличия видимостей между пунктами. С помощью спутников и наземных

приемников можно создавать плано-высотные опорные геодезические сети и плано-высотные сети сгущения и производить съемочные работы.

Мобильность, малый вес (1,5 – 2 кг), большая гибкость при выборе точки стояния приемника, относительно небольшое время определения координат (от нескольких минут до нескольких часов) делают этот метод перспективным в применении. В городских условиях, когда секторы видимости небосклона ограничены высокими постройками, наибольший эффект достигается при сочетании метода СОК (спутникового определения координат) с электронным тахеометром.

Спутниковый приемник или его антенну для увеличения сектора обзора небосклона часто располагают на крыше здания или сооружения. В этом случае возникает задача снесения координат X , Y , H на землю (на заложенный временный или постоянный центр съемочного обоснования).

Спутниковые технологии не всегда можно использовать при решении традиционных геодезических задач. Например, недостаточна относительная точность определений на коротких расстояниях, ограничено использование GPS-методов в точной инженерной геодезии. Процесс привязки ориентирных пунктов, легко решаемый в традиционной технологии, в спутниковой технологии становится довольно сложным и дорогим, особенно в закрытой местности, так как объем спутниковых определений в этом случае возрастает более чем в два раза.

Сложно, а иногда и невозможно использовать GPS в закрытой и полужакрытой местности из-за экранирования спутниковых сигналов, что приводит к необходимости дополнительной привязки объектов обычными методами. Кроме отмеченных имеются и другие недостатки GPS-методов, которые приводят к необходимости наряду со спутниковыми использовать и традиционные технологии выполнения геодезических работ.

5.2.4 Каталоги координат и высот точек

Координаты и высоты пунктов государственных геодезических сетей приводятся отдельно в каталогах координат или каталогах высот геодезических пунктов. Каталоги составляют в соответствии со специальной инструкцией. Они содержат описание физико-географических условий района работ, год производства работ, схему обоснования, сведения об использованных геодезических приборах, анализ и оценку точности произведенных работ. В каталоги помещают данные о сохранившихся пунктах старых геодезических сетей и надежно закрепленных на местности временных геодезических знаков.

Каталоги координат и высот пунктов государственных геодезических сетей хранятся в государственном картографо-геодезическом фонде, в Госгеонадзоре, а также районных администрациях. Данные о соответствующих пунктах государственных сетей могут быть получены по офици-

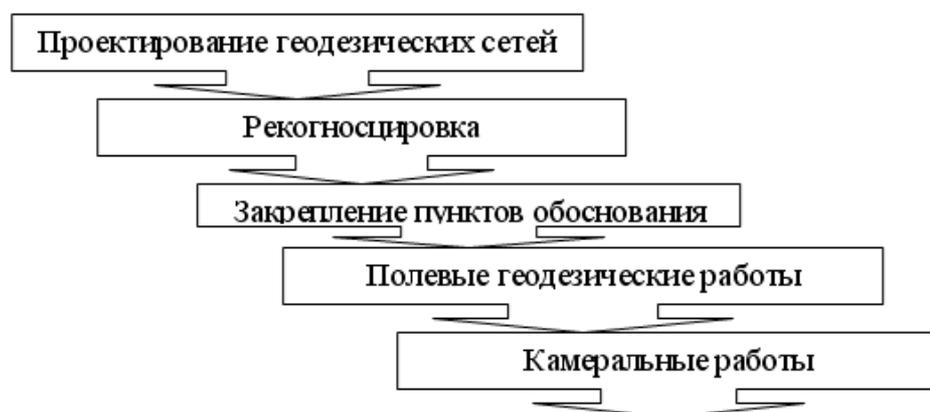
альному запросу организации, производящей геодезические работы в данном районе.

5.3. Топографические съемки

5.3.1. Основа для топографических съемок

Для составления топографических планов и цифровых моделей местности (ЦММ) необходимо выполнение целого комплекса мероприятий: проектирование, производство геодезических измерений и их камеральная обработка. Этот комплекс мероприятий, в результате выполнения которого получают план местности и ЦММ, называют **топографической съемкой**.

Основой для съемок являются плановые и высотные геодезические сети. Но, как рассматривалось выше, сеть этих пунктов достаточно редкая. Так, в соответствии с инструкцией по топографическим съемкам, пункты плановой сети имеют плотность в среднем 1 пункт на 5 – 15 км², высотные – 1 пункт на 5 – 7 км². Такая плотность в большинстве случаев оказывается недостаточной для производства топографических съемок и геодезического сопровождения инженерных работ. Поэтому осуществляют дальнейшее сгущение геодезических сетей путем создания сетей местного значения – сетей сгущения и съемочных сетей. Все работы по созданию геодезического обоснования выполняют последовательно в следующем порядке.



Проектирование геодезических сетей. Производят по имеющимся топографическим картам на район производства работ с учетом назначения и масштаба предстоящих съемок. При выборе того или иного метода создания обоснования учитывают: сроки выполнения работ, имеющееся геодезическое оборудование, физико-географические условия района, требуемую точность и плотность пунктов обоснования, возможности привязки к государственным сетям, возможности дальнейшего сгущения обоснования, долговременности сохранности пунктов вновь создаваемой сети, удобства линейных измерений

(по дорогам, просекам, вдоль рек и т. д.) и, самое главное, наибольшего охвата местности в ходе съемки с одного пункта. В итоге проектирования создают план производства работ и смету затрат.

Рекогносцировка. В результате рекогносцировки на местности уточняют проект обоснования и, если необходимо, корректируют его.

Закрепление пунктов обоснования. Все пункты геодезического обоснования, в зависимости от назначения, закрепляют на местности капитальными или временными знаками.

Полевые геодезические работы. В результате выполнения полевых работ измеряют величины, необходимые для определения планового или планово-высотного положения всех пунктов обоснования.

Камеральные работы. Заключительным этапом создания съемочного обоснования является камеральное вычисление координат пунктов X , Y и H , определяющих положение пунктов съемочного обоснования в принятой системе координат.

Для создания планового съемочного обоснования применяют следующие методы:

- теодолитные ходы;
- микротриангуляция;
- полярный способ;
- линейные, угловые и комбинированные засечки;
- спутниковые определения.

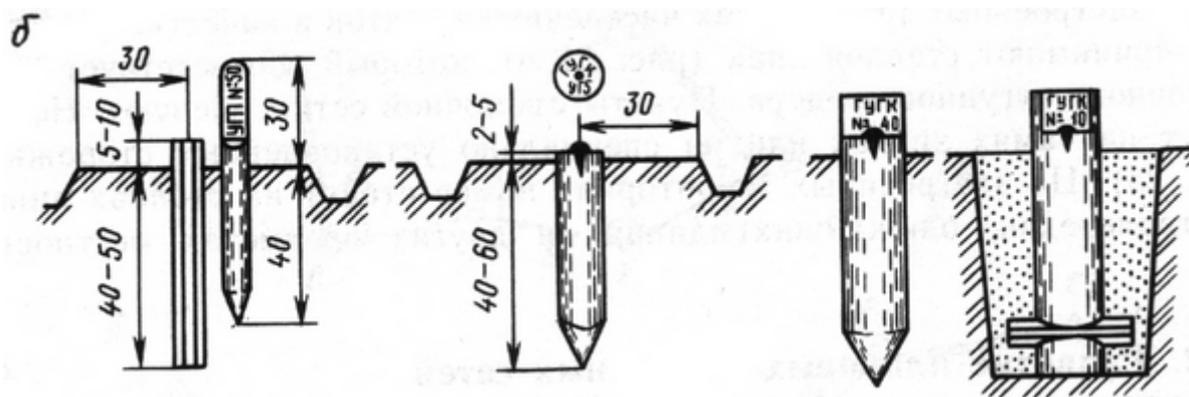
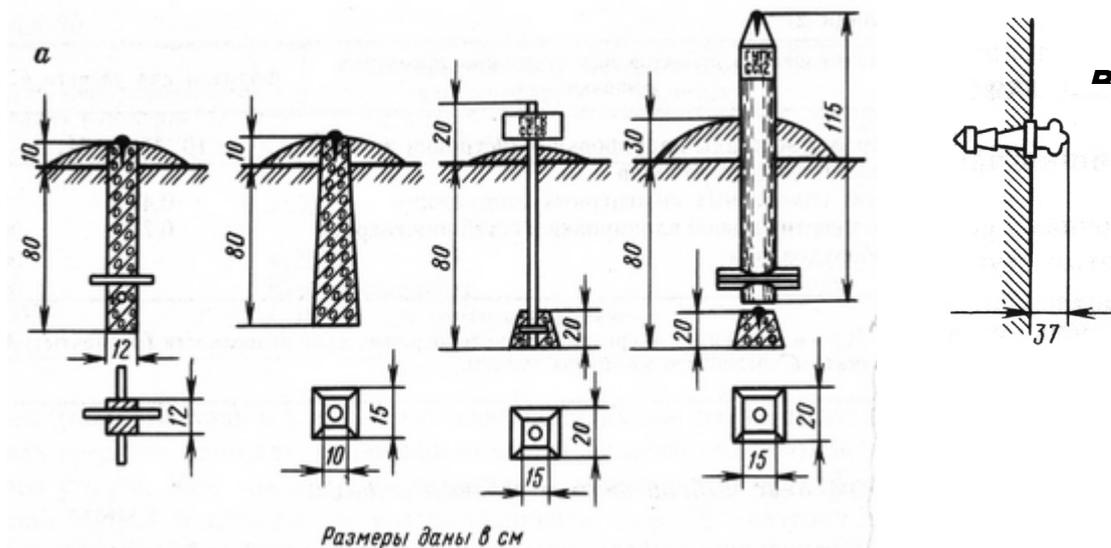
Для городских условий и застроенных территорий наибольшее распространение получили теодолитные ходы и полярный способ. В последнее время все большее применение находит спутниковый метод определения координат.

Минимальное число пунктов съемочного обоснования при съемке застроенных территорий на 1 км^2 приводится в таблице:

Масштаб съемки	Плотность пунктов на 1 км^2
1:2000	8
1:1000	16
1:500	32

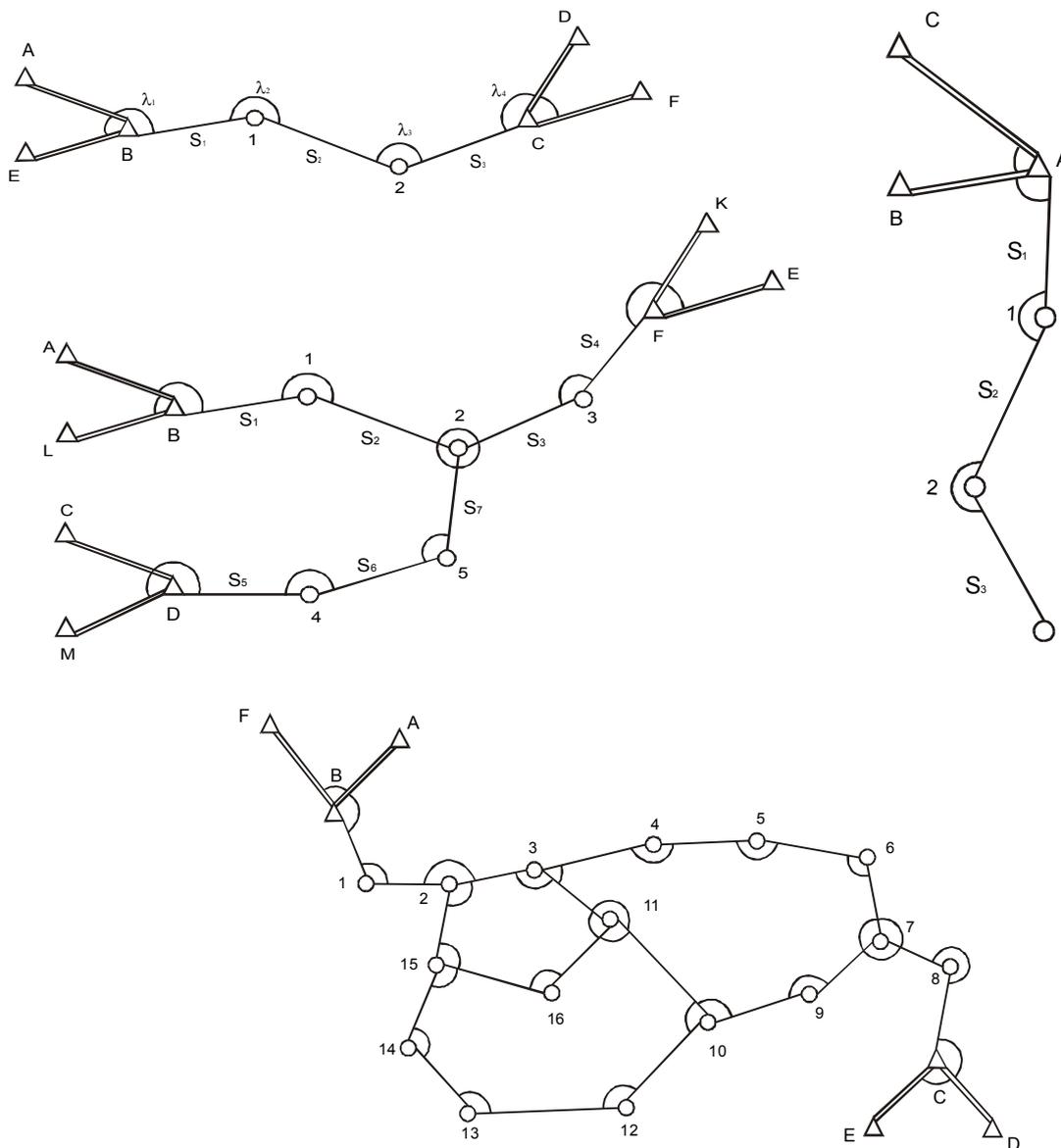
Если применяют спутниковые станции и электронные тахеометры, плотность пунктов съемочного обоснования может быть уменьшена на основании расчета точности при проектировании сетей. При построении съемочных сетей электронной тахеометрией или спутниковым методом определяют одновременно положение пунктов в плане и по высоте.

Пункты съемочной сети частично закрепляют временными (а), долговременными знаками (б) и на застроенных территориях – стенными реперами (в):



На одном плане масштаба 1:5000 должно быть закреплено не менее трех пунктов, масштаба 1:2000 – двух пунктов, включая пункты государственной сети и сети сгущения. Пункты сети нумеруют, указывая номера на ближайших столбах электропередачи, стенах домов и других предметах.

Часто в качестве съемочного обоснования принимают теодолитные ходы – частный случай полигонометрии. Теодолитные ходы отличаются от полигонометрии длинами сторон хода и точностью измерений линий и углов, а также применяемыми менее точными приборами. Возможные схемы построения и виды теодолитных ходов представлены на рисунке:



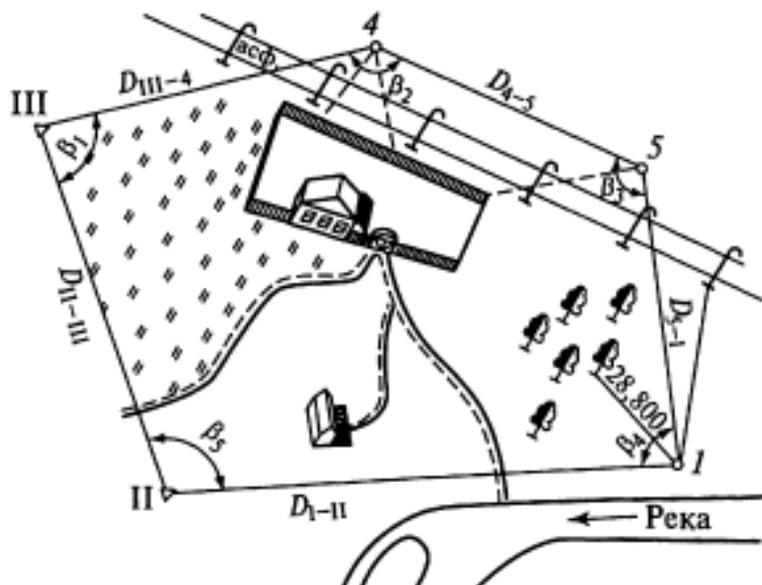
Схемы теодолитных ходов:

а) – разомкнутый; б) – висячий; в), г) – схемы ходов полигонов с узловыми точками

Длина теодолитного хода зависит от типа местности и масштаба предстоящей топографической съемки:

Длины теодолитных ходов

Масштаб топосъемки	Длина теодолитного хода, км				
	Открытая местность,			Закрытая местность	
	1:5000	1:2000	1:1000	1:2000	1:1000
1:5000	6,0	4,0	2,0	6,0	3,0
1:2000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1:1000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1:500	0,9	0,6	0,3	–	–



В теодолитном ходе измеряют горизонтальные углы β на заложенных пунктах, расстояния между ними S . Чтобы пересчитать эти расстояния а горизонтальные проложения D , по каждой линии измеряют вертикальный угол (угол наклона линии к горизонту). На рисунке два пункта

II и III являются исходными, они включены в теодолитный ход. Из решения обратной геодезической задачи вычисляют дирекционный угол стороны II – III, через горизонтальные углы β передают дирекционные углы на все остальные стороны хода. Теперь можно решением прямых геодезических задач вычислить координаты X, Y пунктов 1, 4, 5 и нанести их на план. В дальнейшем, применяя разные способы съемки, определяют местоположение всех объектов в пределах заданной территории.

5.3.2. Обзор методов топографических съемок

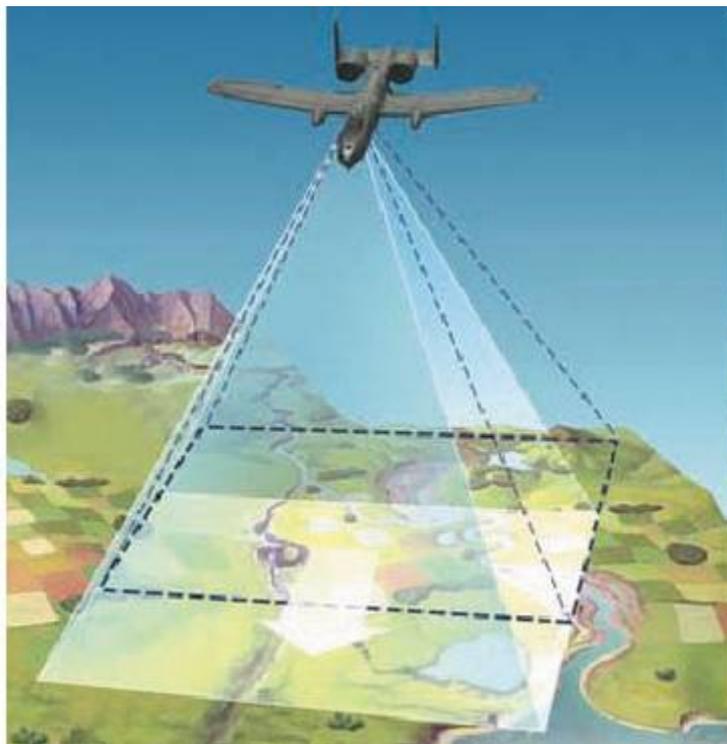
Существуют следующие методы съемок:

- аэрофотосъемка;
- наземная фототеодолитная съемка;
- космическая съемка;
- тахеометрическая съемка;
- мензуральная съемка;
- теодолитная съемка;
- вертикальная съемка;
- съемка с применением приемников GPS;
- съемка с применением лазерных сканеров.

Метод аэрофотосъемки (стереотопографический метод)

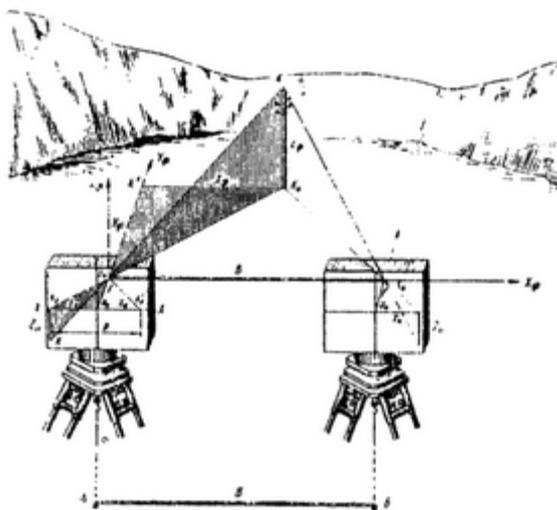
При этом методе планы и карты получают по аэрофотоснимкам на специальных стереофотограмметрических приборах. Предварительно на местности производят сгущение планово-высотной геодезической основы и привязку опознаков. Опознаками называют хорошо опознаваемые на снимках точки местности, имеющие плановые и высотные координаты. Существуют различные технологические варианты создания карт и планов.

Метод применяется при картографировании больших участков поверхности в масштабах 1:2000, 1:5000, 1:10000.



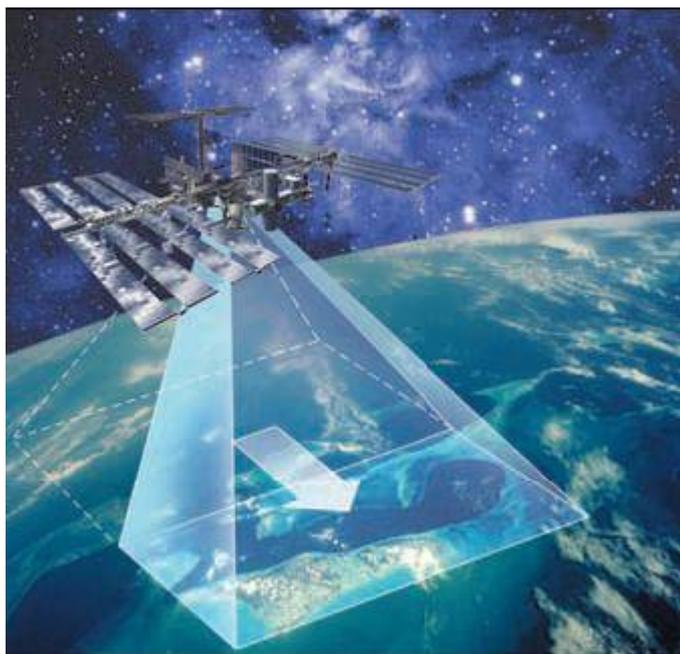
Наземная фототеодолитная съемка

Топографические планы крупных масштабов создают по фотоснимкам на специальных приборах: стереокомпараторах или стереоавтографах. Съёмку применяют в горно-таежных и высокогорных районах, а также при городских кадастровых съемках высоких зданий. Для съемки также создается планово-высотное обоснование и привязка контрольных точек. Съёмка производится, как правило, с двух точек базиса, координаты которых определяют геодезическими методами. Этим методом создаются планы масштабов 1:500 – 1:2000.

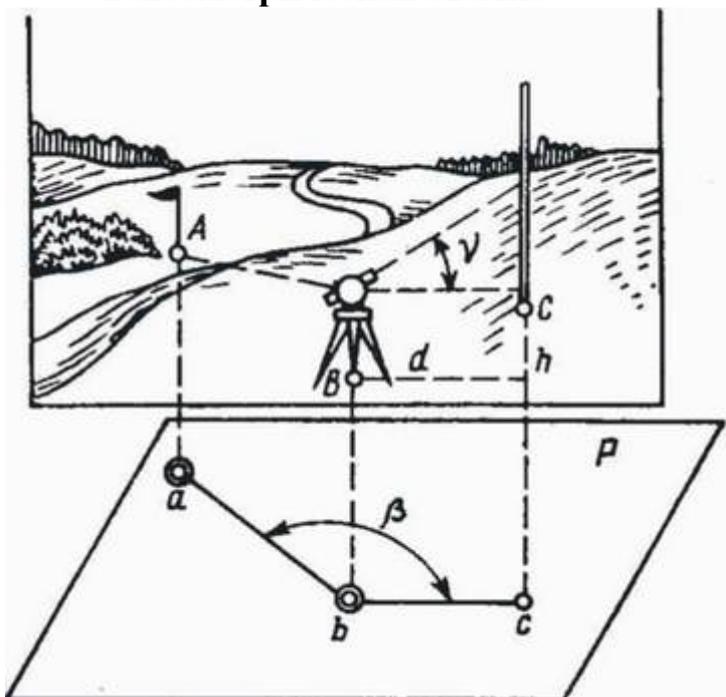


Космическая съемка

Эту съемку выполняют с космических аппаратов и специальных спутников. Аппаратура для съемки имеет большое фокусное расстояние, а оптика позволяет получать снимки с высокой разрешающей способностью. Метод находит применение для сбора информации и составления специальных фотопланов и карт средних и мелких масштабов. Применяется в экономических, геологических и военных целях, а также для решения специальных и научных задач геомониторинга окружающей среды.



Тахеометрическая съемка



Название произошло от латинских слов *tacheo* – быстрое и *metrij* – измерение. Для выполнения съемки необходим теодолит, имеющий дальномерные нити и трех- или четырехметровые рейки с делениями. Применяют электронные тахеометры ТА3, ТА5 и др. В основу съемки положен полярный способ определения координат. Метод находит широкое применение при съемках крупных масштабов.

Мензуральная съемка

Этот метод получил свое название от применяющихся приборов: мензулы и кипрегеля. По принципу нанесения точек местности на планшет, закрепленный на столике, съемку называют углоначертательной, т.к. углы не измеряют, а строят графически вдоль ребра линейки кипрегеля. Расстояния (горизонтальные проложения) и превышения определяют так же, как и при тахеометрической съемке, с помощью номограммы по вертикальной рейке. Применяется для съемок планов крупных масштабов от 1:25000 до 1:1000 на открытых и полузакрытых территориях. Имеет преимущество перед тахеометрической съемкой благодаря своей наглядности, что позволяет строить фрагменты плана непосредственно на местности, исключая или исправляя возможные ошибки. К недостаткам мензульной съемки относят громоздкость оборудования, большую зависимость от погодных условий, большую продолжительность работы на станции и невозможность полной автоматизации. Поэтому в настоящее время практически не применяется.



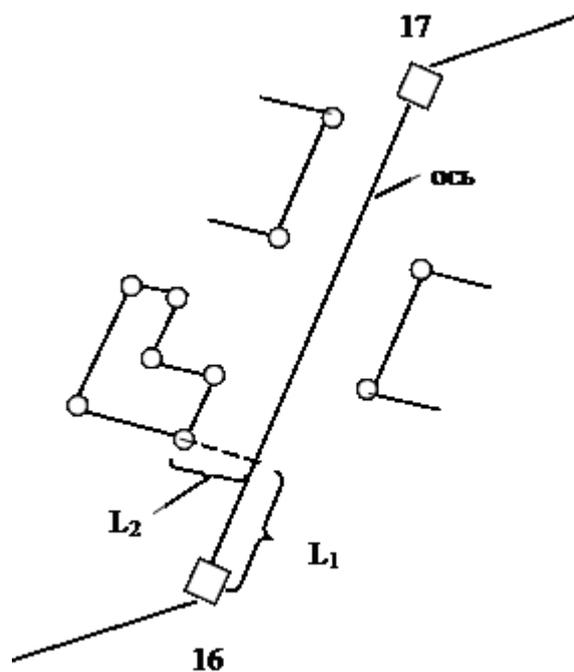
Мензульный комплект

Теодолитная съемка

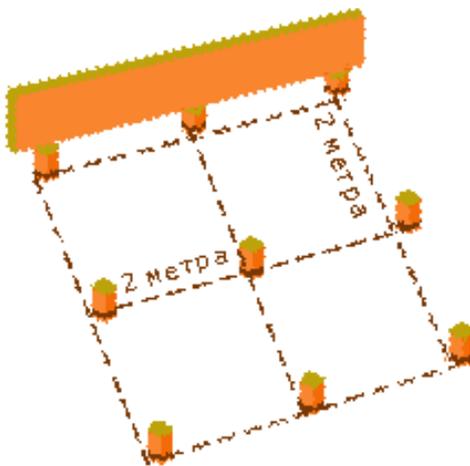
Теодолитную съемку применяют, как правило, на застроенных территориях при съемке в масштабах 1:2000, 1:1000, 1:500. Съемка получила такое название, т.к. применяют те же приборы, что и при построении съемочного обоснования теодолитным ходом: линии измеряют теодолитом или рулеткой, углы – теодолитом.

Применяют различные способы съемки (перпендикуляров, линейных засечек, угловых засечек, полярный способ, способ створов и обход по контуру) в тех случаях, когда другие методы (тахеометрическая или мензульная съемки) не позволяют определить положение объекта с необходимой точностью. Поэтому теодолитную съемку применяют для съемки фасадов зданий, проездов и внутри кварталов.

Съемку применяют на относительно горизонтальных участках застроенной территории, поэтому её часто называют плановой или горизонтальной. Для проведения горизонталей на планах теодолитной съемки используют отметки точек, полученные в результате вертикальной или высотной съемки методом технического нивелирования.



Вертикальная съемка



Вертикальная съемка как отдельный вид применяется преимущественно на застроенных территориях, а также в тех случаях, когда необходимо получить более точную характеристику рельефа на участке работ, например для вертикальной планировки. Горизонталы, как правило, в этом случае проводят с сечением рельефа через 0,25 м. Съемку могут производить с помощью нивелирования поверхности по квадратам, способом створов, магистралей, параллельных линий и полигонов.

Съемка с применением спутниковых приемников GPS–ГЛОНАСС

Для ведения топографической съемки и кадастра на открытых территориях и в сельских населенных пунктах все большее применение находят спутниковые приемники, которые обеспечивают сантиметровую точность, оперативность использования и передачи информации. Так, например, приёмник Geotrager-2102 обеспечивает точность 5–10 мм в плане и 10–20 мм по высоте при длине базовой линии до 10 км.

Применение спутниковых приемников не всегда возможно из-за ограничения сектора приема радиосигналов и высокой стоимости. На рисунке представлен приемник фирмы LEICA марки GPS1200.



Съемка с применением лазерных сканеров

По типу получаемой информации прибор во многом схож с тахеометром. Схема работы с прибором заключается в следующем. Лазерный сканер устанавливается напротив снимаемого объекта на штатив. Пользователь задает требуемую плотность облака точек (разрешение) и область съемки, затем запускает процесс сканирования. Сканер при помощи лазерного дальномера вычисляет расстояние до объекта и измеряет вертикальный и горизонтальные углы, получая XYZ–координаты. Для получения полных данных об объекте выполняют данные операции с нескольких станций.

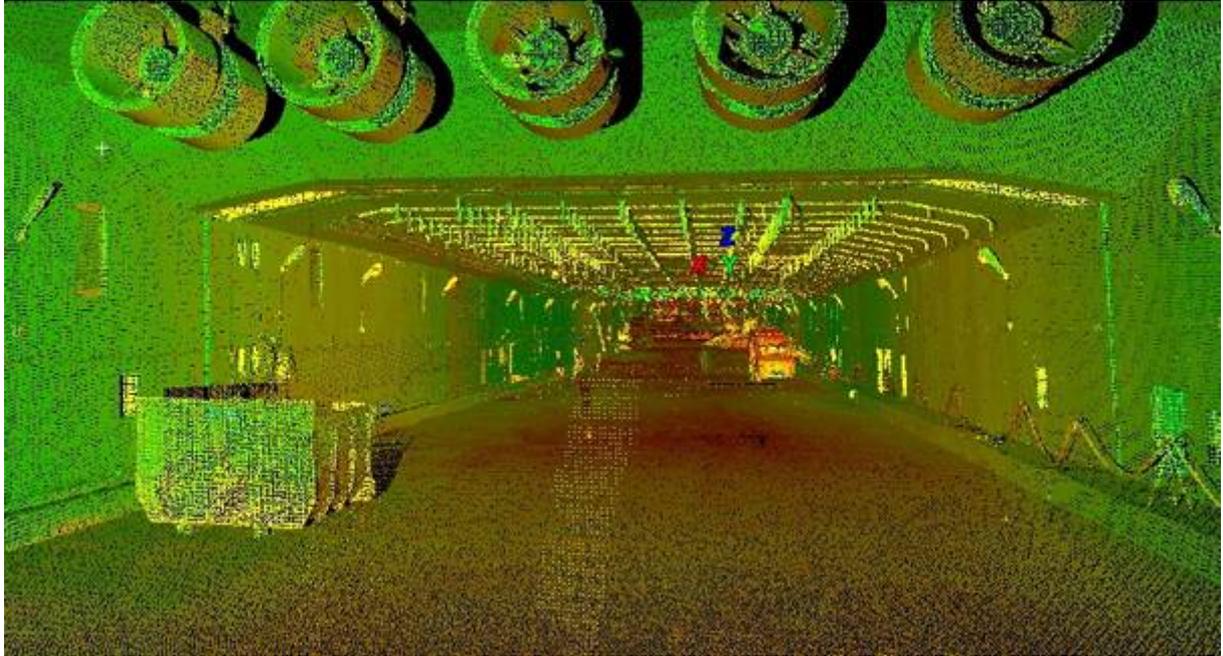


Затем обрабатывают первоначальные данные, полученных со сканера, и подготавливают результаты измерений в том виде, в котором они необходимы заказчику. Данный этап не менее важен, чем проведение полевых работ, и зачастую более трудоемок и сложен. Профили и сечения, плоские планы, трехмерные модели, вычисления площадей и объемов поверхностей – все это, а также другую необходимую информацию можно получить в качестве конечного результата работы со сканером.

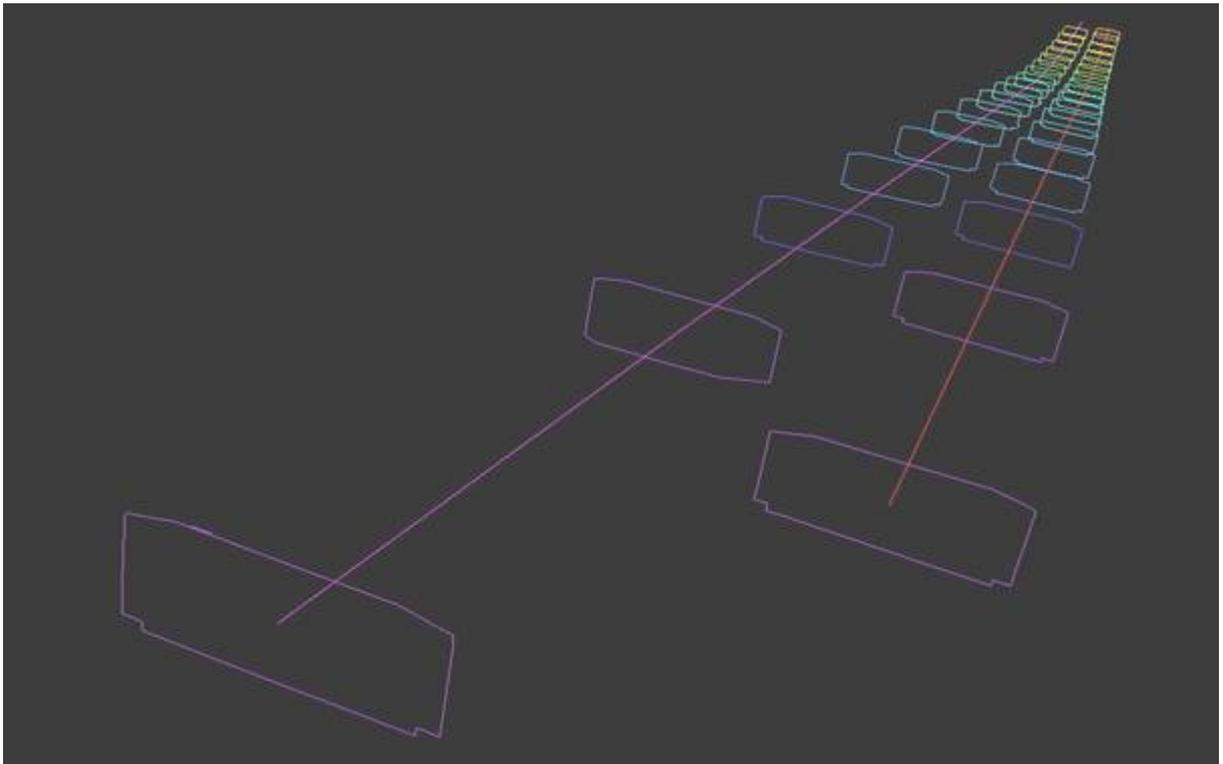
Рассмотрим пример работы с лазерным сканером на подводном транспортном тоннеле в Санкт–Петербурге, где полевой этап сканирования занял три дня:



В результате постобработки в течении недели получено облако точек, вид изнутри тоннеля:



В результате камеральной обработки на основании облака точек были построены поперечные сечения транспортных отсеков:



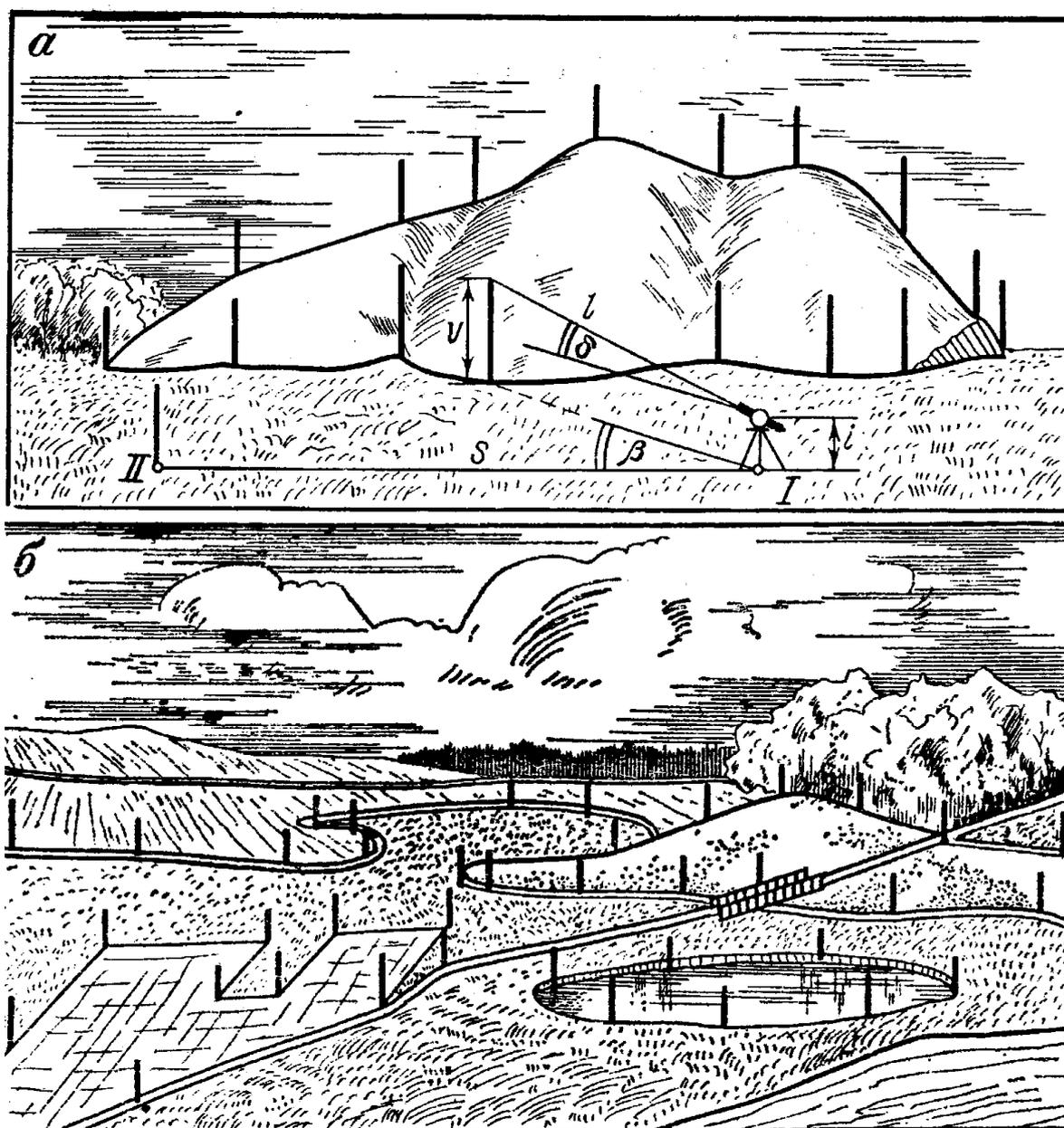
5.3.3. Тахеометрическая съемка

Рассмотрим подробнее тахеометрическую съемку как наиболее часто применяемую.

Работа на станции начинается с центрирования, нивелирования и ориентирования теодолита. Центрирование выполняется с помощью нитя-

ного, оптического или лазерного отвеса над центром точки съемочного обоснования. Ориентирование выполняют на вешку, установленную на соседней точке съемочного обоснования. Устанавливают отсчет $0^{\circ}00'$ и вращением лимба наводят на вешку. Лимб закрепляют. После окончания съемки необходимо проверить ориентирование. При повторном наведении отсчет не должен изменяться более чем на $1,5'$.

Перед началом съемки между речниками распределяют секторы и зоны обхода и выбора речных точек. Пикеты, или речные точки, должны располагаться на характерных точках рельефа данной станции. На рисунках показаны основные правила установки речных точек при съемке рельефа (а) и ситуации (б):



Измеряют и отмечают на рейках высоту инструмента. Устанавливают наиболее ответственные точки ситуации, расстояния до которых измеряют с повышенной точностью лентой, рулеткой или электронной рулеткой.

Перед съемкой определяют также место нуля и высоту инструмента. Если МО не привели к нулю, то его округляют до целых минут и угол наклона определяют по формуле, соответствующей конструкции теодолита. Значение МО, высоты инструмента i и отметку точки стояния H записывают в журнал наблюдений.

Если ведется только горизонтальная съемка, рекомендуют устанавливать зрительную трубу на отсчет, равный МО. В этом случае визирный луч будет занимать горизонтальное положение, а отсчет по дальномерным нитям сразу дает значение горизонтального проложения. Рейку поочередно устанавливают на пикеты, по рейке при одном положении вертикального круга определяют дальномерное расстояние и берут отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам (чаще всего при круге лево) и записывают их в журнал тахеометрической съемки. При измерении вертикального угла перекрестие нитей сетки наводят на отмеченную на рейке высоту прибора i . В случае, когда нет возможности навести перекрестие на высоту i , визируют на произвольный отсчет по рейке, записывая его в журнале как высоту наведения v . В графе «Примечание» указывают положение или характеристику речной точки. Необходимые расстояния между речными точками (пикетами) выбирают из таблицы:

Таблица максимальных расстояний при тахеометрической съемке

Масштаб съемки	Сечение рельефа, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки, м		
		между пикетами	при съемке рельефа	при съемке контуров
1:5000	0,5	60	250	150
	1,0	80	300	150
	2,0	100	350	150
	5,0	120	350	150
1:2000	0,5	40	200	100
	1,0	40	250	100
	2,0	50	250	100
1:1000	0,5	20	150	80
	1,0	30	200	80
1:500	0,5	15	100	60
	1,0	15	150	60

Одновременно со съемкой ведут кроки или абрис. Абрис оформляют условными знаками, примерно выдерживая масштаб съемки. Наносят все точки ситуации, рельефа и совмещенные точки. Указывают рельеф горизонталями (без интерполяции).

При съемке застроенных территорий производят съемку углов зданий и сооружений, колодцев, границ земельных отводов, а также других ответственных точек, сопровождая промерами длин линий рулеткой и контрольными обмерами зданий.

Выполненные полевые работы должны немедленно обрабатываться в камеральных условиях. При этом:

- проверяют полевые журналы;
- вычисляют координаты точек теодолитного или тахеометрического ходов;
- вычисляют отметки точек съемочного обоснования, составляют ведомости превышений и отметок по ходам технического нивелирования, а также по тахеометрическим ходам;
- в полевых журналах вычисляют горизонтальные проложения S_r , превышения h и отметки пикетов H с точностью до 0,01 м

$$S_r = S \cos^2 v;$$

$$h = \frac{1}{2} S \sin 2v;$$

где S – дальномерное расстояние по рейке; v – угол наклона.

$$H_{\text{пк}} = H_{\text{ст}} + h_i + i - v,$$

где i – высота инструмента, м; v – высота наведения, м. Вычисления целесообразно выполнять на микрокалькуляторе;

– наносят на планшет точки съемочного обоснования по координатам с указанием их отметок, пикеты с помощью топографического транспортира, циркуля-измерителя и масштабной линейки. Для ответственных точек съемки вычисляют координаты, по которым и наносят точки на план. Для нанесения точек могут использоваться тахеографы и координатографы.

– После нанесения точек подписывают в карандаше их отметки и, выполняя интерполяцию, проводят горизонтали. При окончательном оформлении на планах масштабов 1:5000 и 1:2000 подписывают не менее 10 пикетов на 1 дм². При съемке масштабов 1:1000 и 1:500 – все пикеты (если условиями работ не оговорены другие требования).

Электронная тахеометрия

Применение электронных тахеометров позволяет вести съемку с разреженного обоснования, а иногда бывает достаточно пунктов сети сгущения. Расстояние до пикетов может быть увеличено до 1500 м.



Прибор позволяет измерить зенитные расстояния, горизонтальные углы, наклонные расстояния. По встроенным программам вычисляются горизонтальные проложения и превышения. При введении дирекционного угла исходного направления, высоты инструмента, координат исходной точки и её отметки непосредственно в поле получаем на табло прибора координаты определяемой точки и её отметку. Встроенные программы позволяют вводить также необходимые поправки за коллимационную погрешность, за наклон оси прибора, за коэффициент вертикальной рефракции. Ускоряется традиционная схема полевых работ: техник устанавливает отражатели на пикетах (на фото изображен отражатель на вехе, установленной в держателе), а наблюдатель выполняет наведение и нажимает на кнопки клавиатуры прибора. Между ними должна быть обязательная связь по радию.



При применении электронных тахеометров возможна полная автоматизация полевых и камеральных работ. Полная автоматизация полевых и камеральных работ достигается при сочетании электронного тахеометра с соответствующим программным продуктом. Это позволяет создавать цифровые модели местности и составлять на их основе крупномасштабные планы, а также накапливать и хранить информацию для решения инженерных задач в любой отрасли.

Для осуществления полной автоматизации съемочных работ необходимо выстроить технологическую цепочку приборов, оборудования и снабдить её программным продуктом. На рисунке представлена в виде блок-схемы такая цепочка, показаны возможности приборов и связь между ними.



При использовании роботизированных тахеометров геодезист может выполнять полевые работы (съёмочные или разбивочные) в одиночку.

Все роботизированные решения имеют следующие компоненты:

- системы сервопривода при горизонтальном и вертикальном круге;
- сенсор на вехе с призмой для отслеживания ее тахеометром;
- канал связи между тахеометром и активной вехой с призмой.

Роботизированный тахеометр позволяет оператору управлять им дистанционно, со стороны вешки, используя при этом все функции инструмента и повышая производительность работы. В комплект роботизированного тахеометра входит сенсор слежения, обеспечивающей непрерывную привязку инструмента к призме. Преимуществом такой технологии является способность инструмента постоянно следовать за призмой и очень быстро находить ее в случае потери прямой видимости или после очередного выключения – включения инструмента.



Все эти тахеометры работают со специальным программным обеспечением. Так, например, роботизированный электронный тахеометр *FOCUS-30* используется в комбинации с полевым программным обеспечением *Spectra Precision Survey Pro* профессионального уровня, в котором содержатся все возможные геодезические задачи для любых ситуаций.



Роботизированный электронный тахеометр *FOCUS 30*



Комплект роботизированного электронного тахеометра *GTS-903A (TOPCON)*

ТЕМА 6. ЛИНЕЙНО–УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

6.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

6.1.1. Виды измерений. Классификация погрешностей

Измерением называется процесс, при котором физическая величина объекта определяется опытным путем. Если искомое значение находится в результате экспериментальных данных, – такие измерения называют **прямыми**. Однако в ряде случаев непосредственно искомую величину определить не удастся и для её определения приходится измерять другие величины, связанные с первой функциональной зависимостью, такие измерения называются **косвенными**. Например, проекцию D линии, измеренной на наклонной поверхности земли, непосредственно измерить практически невозможно. В этом случае измеряют расстояние S и угол наклона ν , а затем считают горизонтальное проложение: $D = S \cos \nu$.

Любые измерения сопровождаются погрешностями. Погрешности подразделяются на грубые, систематические и случайные, а также истинные и вероятнейшие.

Грубые погрешности в теории погрешностей не рассматриваются. Их исключают методикой измерений. **Систематическая погрешность** – это часть погрешности измерений, сохраняющаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях. Систематическая часть поддается учету и исключению (или ослаблению). **Случайной погрешностью** называется погрешность, которая меняет свой знак и величину по закону случайных чисел при повторных измерениях одной и той же величины. Случайные погрешности обладают следующими свойствами.

1. Случайные погрешности по абсолютной величине не могут превышать определенного предела.

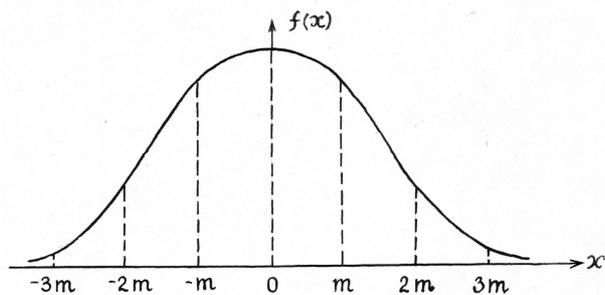
2. Положительные и отрицательные случайные погрешности, равные по абсолютной величине, встречаются одинаково часто в большом ряду измерений.

3. Среднее арифметическое значение случайных погрешностей при неограниченном возрастании числа измерений стремится к нулю:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = 0$$

4. Малые по абсолютной величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие.

Эти свойства соответствуют **нормальному закону распределения** – закону Гаусса, представленного на рисунке:



Кривая нормального распределения

Истинные погрешности – это отклонение измеренных значений величины от истинного значения этой величины:

$$\Delta_i = l_i - x,$$

где Δ_i – истинная погрешность; l_i – результат измерений; x – истинное значение (точное значение) измеряемой величины.

Часто до начала измерений истинное значение измеряемой величины неизвестно. В этом случае вместо истинной величины принимают значение арифметического среднего \bar{x} .

Отклонение v_i измеряемой величины от арифметического среднего носит название **вероятнейшей погрешности**: $v_i = l_i - \bar{x}$,

где $\bar{x} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_i + \dots + l_n}{n}$. Вероятнейшие погрешности могут носить

также случайный и систематический характер.

В геодезии часто определяют **невязку** – разность между суммой измеренных величин и теоретическим значением этой суммы. Невязки бывают угловые, линейные, в превышениях. Они могут быть положительными и отрицательными. Так, если в четырехугольнике измерены все внутренние углы, то их сумма должна составить $360^\circ 00'$. В результате измерений же получили величину $359^\circ 58'$, тогда невязка составит:

$$359^\circ 58' - 360^\circ 00' = -0^\circ 02'.$$

Знак невязки очень важен, т.к. поправки в измеренные величины вводят с противоположным невязке знаком.

Критерием качества выполненных измерений служат:

- средняя квадратическая погрешность измеряемой величины – m ;
- предельная погрешность измерений – $m = 2m$ для практических целей и $m = 3m$ для теоретических исследований;

- относительная погрешность $m_{отн} = \frac{m}{x}$.

Относительная погрешность часто встречается в виде $m_{отн} = \frac{1}{x/m}$.

Среднюю квадратическую погрешность измеряемой величины x вычисляют по формуле $m = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}$.

Среднюю квадратическую погрешность одного из n измерений при определении арифметической середины \bar{x} вычисляют по формуле Бесселя $\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$.

Среднюю квадратическую погрешность арифметического среднего из n измерений находят по формуле $M = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$.

Если нас интересует погрешность *суммы* $u = x + y$ или *разности* $u = x - y$ двух измеряемых величин, то её можно вычислить по формуле:

$$m_u = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}.$$

Для *произведения* u двух измеряемых величин x, y средняя квадратическая погрешность вычисляется по формуле

$$m_u = \sqrt{(m_y x)^2 + (m_x y)^2}.$$

По этой же формуле оценивают точность *частного* $u = \frac{x}{y}$.

Если необходимо в ряду полученных погрешностей измерений определить наличие систематической погрешности, то поступают следующим образом. Находят $\sum_1^n v = v_1 + v_2 + \dots + v_n$. По закону случайных погрешностей $\sum_1^n v$ должна быть близкой или равна нулю. Если эта величина больше 0,3, то необходимо из результатов измерений исключить систематическую погрешность.

В этом случае вычисляют свободные от систематического влияния поправки v' :

$$v_1' = v_1 - \sum_1^n v/n;$$

$$v_2' = v_2 - \sum_1^n v/n;$$

$$v_n' = v_n - \sum_1^n v/n.$$

Затем находят среднюю квадратическую погрешность измерений μ и ошибку из n измерений M :

$$\mu = \sqrt{\frac{[v'v']}{n-1}};$$

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

6.2. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

6.2.1. Классификация приборов для линейных измерений

В практике геодезических работ приходится измерять расстояние по земной поверхности, т.е. наклонное. В то же время в расчетах и на планах требуется горизонтальное проложение. Поэтому при измерении расстояний следует вводить поправки за наклон местности v (крутизну склона).



При измерении расстояний применяют непосредственный или косвенный методы измерений. В соответствии с применяемым методом все приборы для измерения расстояний можно разделить на три группы: первая группа относится к непосредственному методу измерения, следующие две – к косвенному.

К **первой группе** относят **мерные приборы**. В этом случае измерения выполняют последовательным уложением мерного прибора известной длины по траверсу (створу) измеряемого расстояния. Представителями этой

группы являются: мерные ленты, рулетки, длиномеры, инварные и стальные проволоки, дорожные колеса.

При измерении линий мерными лентами или рулетками измеряемое расстояние вычисляют по формуле:

$$L = ln + \Delta l_K + \Delta l_n + \Delta l_t + r ;$$

где l – номинальная длина мерного прибора; n – число уложений по траверсу; Δl_K – поправка, определяющая точную длину прибора. Определяется сравнением с прибором известной длины или измерением известного расстояния. Эта операция называется **компарированием**; Δl_n – поправка за наклон линии; Δl_t – поправка за температуру при измерении; r – остаток.

На рисунке изображена мерная лента ЛЗ и прилагаемый к ней комплект шпилек. Название ЛЗ означает – лента землемерная. Длины лент могут быть 20, 24, 50 м. Лента разделена на метры и дециметры. Метры обозначены ромбическими пластинами с порядковыми номерами метров. Необходимо помнить, что на разных сторонах полотна ленты надписи возрастают в противоположных направлениях. Лента хранится в свернутом положении на специальном кольце. Сворачивая или снимая ленту с кольца, необходимо избегать образования петель.



В измерениях участвуют два человека – передний и задний мерщики. Задний мерщик выставляет шпильку в руке переднего мерщика в створ измеряемой линии. Задний конец ленты фиксируется задним мерщиком рядом с начальной точкой. Лента встряхивается и протягивается мимо шпильки переднего мерщика. Придавая натяжение с силой 10 кг. Передний мерщик переставляет шпильку вдоль ленты в её передний вырез. Затем весь процесс повторяется. Остаток измеряют, протягивая ленту далее по створу мимо конечной точки. Здесь необходимо быть особенно внимательным, следя за тем, чтобы лента не перевернулась вокруг своей оси на 180°.

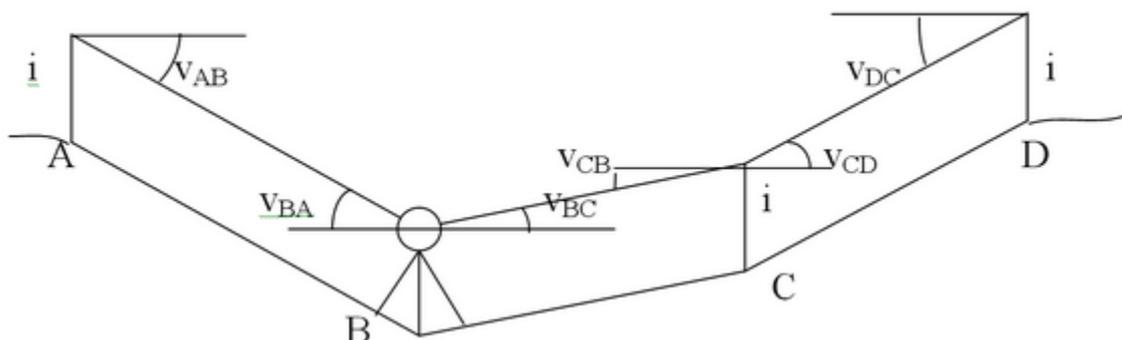
Расстояние измеряют в прямом и обратном направлениях. Вычисляют все расстояние и разность результатов измерений в прямом и обратном

направлениях ΔL . Вычисляют относительную погрешность измерений по формуле $\frac{\Delta L}{L\sqrt{2}} = \frac{1}{L\sqrt{2}/\Delta L}$ и сравнивают с допустимой погрешностью.

Допустимая погрешность $\Delta L/L$ для благоприятных условий (луг, ровная открытая местность с небольшими уклонами) не должна быть больше 1:3000. При неблагоприятных условиях (густая трава, пашня, изрезанный рельеф) допустимая величина составляет 1:1000. В остальных случаях допуск составляет 1:2000.

Поправку за компарирование получают из сравнения двух лент или ленты и компарированной рулетки. Совмещая нулевые деления рабочей ленты и ленты с известной длиной, придают натяжение на ровном участке поверхности и с помощью линейки с миллиметровыми делениями измеряют разность $\Delta l_k = l_p - l_k$, где l_p – неизвестная длина рабочей ленты; l_k – лента или рулетка с известной длиной. Затем вычисляют длину рабочей ленты: $l_p = l_k + \Delta l_k$.

Поправка за наклон вводится для тех участков, наклон которых превышает 2° . Поэтому предварительно измеряемую линию разбивают на участки с различными углами наклонов:



Каждый угол измеряют в прямом и обратном направлениях.

Для каждого отрезка вычисляют: $L_{AB}^0 = L_{AB} \cos v_{AB}$; $L_{BC}^0 = L_{BC} \cos v_{BC}$; $L_{CD}^0 = L_{CD} \cos v_{CD}$.

Окончательное горизонтальное проложение $L_{AD}^0 = L_{AB}^0 + L_{BC}^0 + L_{CD}^0$. Горизонтальное проложение вычисляют для средних значений отрезков измеряемого расстояния по средним значениям углов наклона, которые не должны различаться более чем на $10'$.

В практике геодезистов чаще применяются рулетки различных видов:

Рулетки

Стальная травленая лента в открытом корпусе, 50 м



Ударопрочная рулетка с фиксатором "каучук", 7,5 м.

Стальная нержавеющая лента в открытом корпусе, 50 м.



Фиброгласовая лента в закрытом пластиковом корпусе, 10 м.



Стальная крашенная лента с нейлоновым покрытием, резиновая защита корпуса, ускоренная перемотка, 50 м.

Стальная лента с нейлоновым покрытием, 3X – ускоренная перемотка, 100 м.



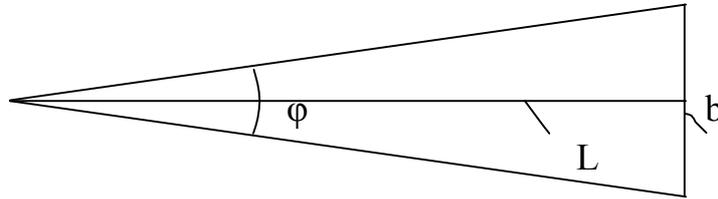
При измерениях высоты прибора для удобства ее измерения необходимо иметь двухметровую рулетку с торцевым нулем.

Дорожные колеса (курвиметры) предназначены для измерения расстояний там, где нецелесообразно или невозможно использование лазерных дальномеров и рулеток. Дорожные колеса изготавливаются из современных материалов и широко применяются для инвентаризации различных объектов, промеров участков дорог, участков лесных угодий, железнодорожных путей, мест дорожно-транспортных происшествий и т.п. Дорожные колеса имеют общий принцип работы и измерения и различаются по размерам, типу колеса (дисковое, со спицами), диапазону измерений и цене деления, а также подразделяются на электронные и аналоговые. В дорожных колесах предусмотрена возможность измерений вперед, назад, удержание и обнуление отсчета.



Вторая группа включает в себя **геометрические дальномеры**. В этом случае расстояние вычисляют, измеряя вспомогательные величины, углы и малые отрезки длины – базисы. Вычисления проводят по формуле

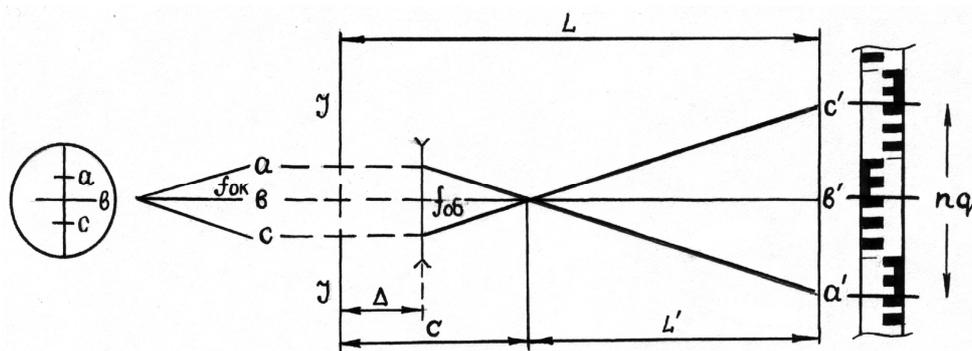
тригонометрии $L = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$), где b – известная или измеряемая длина (базис); φ – известный или измеряемый параллактический угол:



К этой группе относят: оптические дальномеры различных типов, в том числе и нитяной дальномер, которым снабжены все теодолиты и нивелиры технической точности. Относительные погрешности измерения дальномерами этой группы ограничиваются пределами от 1:100 до 1:10000, для нитяного дальномера она составляет примерно 1;400.

Нитяной дальномер относится к оптическим дальномерам с постоянным параллактическим углом и переменным базисом. Нитяным дальномером линии измеряют с относительной погрешностью от 1:300 до 1:500.

Для измерения наклонных расстояний необходимо навести зрительную трубу теодолита (нивелира) на вертикальную рейку с сантиметровыми делениями, установленную на конце измеряемого расстояния. После фокусировки изображения рейки, совмещают вертикальную нить с осью рейки. Берут отсчеты по верхней a' и нижней c' нитям сетки нитей. Разность отсчетов в сантиметрах, умножаемая на коэффициент дальномера 100, дает значение измеряемого расстояния: $L = 100(c' - a')$.



При взятии отсчетов по рейке рекомендуют одну из нитей совмещать с целым числом дециметров, отсчитывая по второй, сколько дециметров и сантиметровых делений уложилось между нитями. В этом случае $L = 100 n$, где n – число сантиметровых делений.

При тахеометрической съемке, когда необходимо выполнять многочисленное измерение расстояний до съемочных точек нитяным дальномером, рекомендуется для взятия дальномерного отсчета переворачивать

рейку нулевым делением вверх и наводить верхнюю нить на начало рейки. В этом случае отсчет по нижней нити сразу дает измеряемое расстояние (при обратном изображении).

Если нельзя взять отсчет между верхней и нижней нитями, берут отсчет между одной из дальномерных и средней. При этом полученное число делений n умножают на 2.

В третью группу входят электронные дальномеры. Представителями этой группы являются светодальномеры и радиодальномеры, лазерные рулетки.



Радидальномер



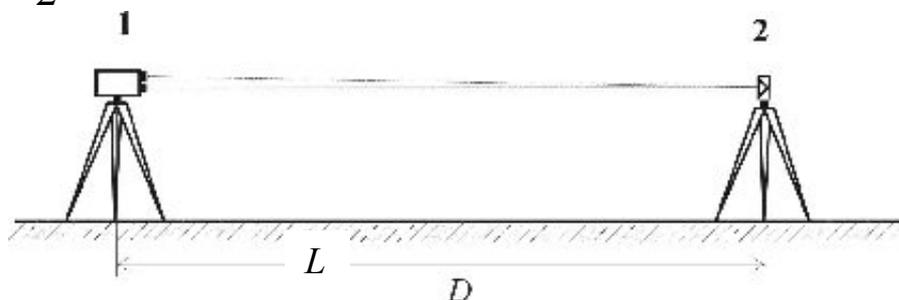
Светодальномер



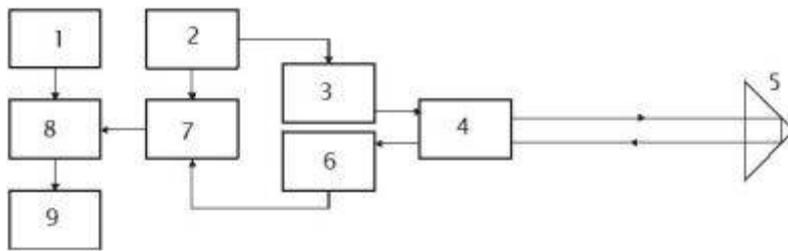
Лазерная рулетка

Зная скорость распространения электромагнитных колебаний v до отражателя 2 или активного ответчика и обратно, прибор 1 измеряет время распространения t , и тогда можно вычислить измеряемое расстояние по

формуле $L = \frac{vt}{2}$.



Время t необходимо измерять с высокой точностью. Так, для точности в расстоянии 1 см время надо знать с ошибкой не более 10^{-10} с. Измерение времени выполняется фазовым или импульсным методом.



В импульсном светодальномере лазерный источник излучения 3 под воздействием генератора импульсов 2 периодически посылает

через объектив 4 световой импульс. Одновременно переключатель 7 запускает счётчик 8 временных импульсов, поступающих от высокочастотного генератора 1. Световой импульс, отразившись от отражателя 5, поступает на преобразователь 6, который через переключатель 7 останавливает счётчик 8. Число импульсов, сосчитанное счётчиком 8, пропорционально прошедшему времени и, следовательно, измеряемому расстоянию. Для повышения точности измерения выполняются многократные измерения и результаты осредняются процессором 9. Измеренное расстояние высвечивается на табло.

Измеренное расстояние исправляют поправками за атмосферное давление, температуру и влажность воздуха, влияющие на скорость света. Для получения горизонтального проложения вводят поправку за наклон.

Конструктивно приемопередатчик представляет собой отдельный прибор, насадку на теодолит или блок, входящий в состав электронного тахеометра.

По их назначению принято различать светодальномеры:

- 1) СГ – для построения государственных геодезических сетей,
- 2) СП – для прикладной геодезии и маркшейдерии;
- 3) СТ – для топографических съёмок.

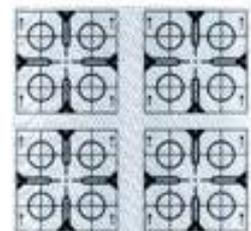
Точность топографических светодальномеров 2 – 3 см, а применяемых в прикладной геодезии 2 – 3 мм.



Отражатели бывают призмные и плёночные.

Основным элементом призмного отражателя является стеклянная трипельпризма отражающая световые лучи в тех направлениях, откуда они пришли. Для увеличения дальности измерений изготавливают многопризмные отражатели.

Плёночный отражатель представляет собой отражающую свет пластиковую плёнку размером 1×1 см и больше, на которую нанесены штрихи (например, вертикальный и горизонтальный). Дальность измерений с плёночными отражателями меньше, чем с призмными.



Но зато плёночный отражатель можно закрепить там, где установить призмный отражатель невозможно, например – приклеить в нужном месте на сооружение. Кроме того, плёночные отражатели гораздо

дешевле призмических. При выполнении угловых измерений центр штрихов на отражателе служит визирной целью.

Электронные тахеометры представляют собой комбинацию теодолита и светодальномера.



Существуют светодальномеры, использующие диффузное отражение сигнала от предметов и не требующие отражателя. Таким дальномером является лазерная рулетка, например, Disto™ D8 фирмы Leica (Швейцария). Прибор используют без штатива, с руки. Световой луч наводят на нужные объекты и на шкале читают расстояния до 200 м с точностью 1 мм.

Можно определить высоту зданий с помощью функции косвенных измерений, что очень полезно при работе в зоне опасности. Интегрированный цифровой видеоискатель с 4-х кратным увеличением изображения и большой цветной дисплей с диагональю 2.4“ позволяет легко наводиться на цель. Высокое разрешение обеспечивает четкое и яркое изображение, которое позволяет производить измерения даже при ярком свете. Прибор имеет лазерную точку наведения.

Внимание!

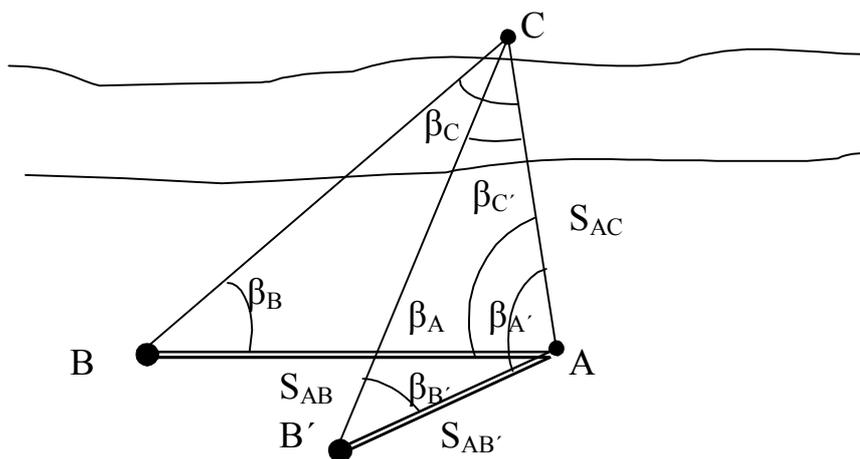
Не направлять лазерный луч в глаза!

Техническая характеристика рулетки Disto™ D8

Точность	±1 мм
Дальность измерения, м	0,05 – 200 м
Время измерения в режиме слежения	0,16 – 1 сек
Память	20 последних измерений
Дисплей	цветной
Встроенный датчик угла наклона	360°
Интерфейс	Bluetooth®
Габариты, мм	143,5×55×30
Вес, г	195
Пыле- и влагозащита	IP 54
Источник питания	2 батарейки тип АА
Время работы	до 5000 измерений
Рабочая температура, °С	от –10°С до + 50°С

6.2.2. Определение расстояния до неприступной точки

Представим, что между точками A и C имеется непреодолимое препятствие (река, болото, овраг, участок, опасный по радиации и т.д.). Это может быть также угол здания или сооружения.



На открытом и достаточно ровном участке выбирают точку B , измеряя до неё расстояние S_{AB} . Это расстояние должно составлять примерно половину расстояния до точки C . В точках A , B и C измеряют углы β_A , β_B , и β_C . Вычисляют угловую невязку, сравнивают результат с допуском, при необходимости вводят поправки в измеренные углы. Вычисляют длину

стороны S_{AC} по теореме синусов:
$$S_{AC} = \frac{\sin \beta_B}{\sin \beta_C} S_{AB}.$$

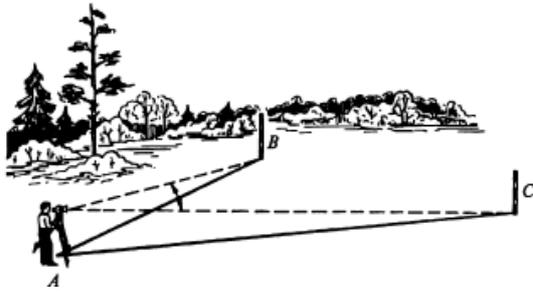
Если линия S_{AB} (базис) была приведена на горизонтальную плоскость, то полученное расстояние S_{AC} также будет горизонтальным.

Для контроля разбивают аналогичный треугольник $AB'C$, измеряют в нем горизонтальные углы и вычисляют длину стороны S_{AC} еще раз. Если относительная погрешность измерения удовлетворяет допуску, вычисляют среднее значение длины из двух измерений.

6.3. УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

6.3.1. Горизонтальные и вертикальные углы

В геодезических полевых работах часто приходится измерять горизонтальные и вертикальные углы.



При измерении горизонтального угла задействованы три точки: вершина угла A и две точки визирования B и C . Горизонтальный угол – это проекция пространственного угла на горизонтальную плоскость. Образуется вертикальными плоскостями, проходящими через вершину угла и точки визирования. Они называются коллимационными плоскостями AB и AC .

При измерении вертикальных углов задействованы две точки: вершина угла и точка визирования. Вертикальный угол – проекция пространственного угла на вертикальную плоскость. Вертикальные углы бывают двух видов:

- угол наклона v , образуемый линией визирования и линией горизонта;
- зенитное расстояние Z , образуется отвесной линией (линией зенита) и линией визирования.

Основные характеристики вертикальных углов показаны на рисунке:

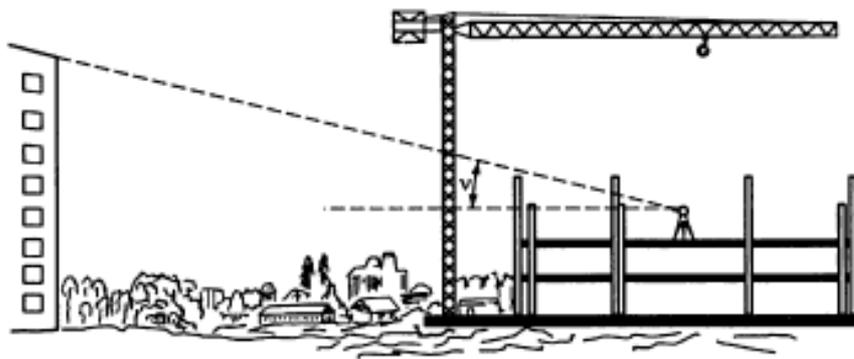


Исходя из принципов измерения углов, можно определить следующие практические выводы:

1. При измерении углов важно разместить угломерную часть прибора (лимб) таким образом, чтобы его центр совпадал с вершиной измеряемого

угла. При измерении горизонтального угла эта процедура называется центрированием, выполняется с помощью отвеса (нитяного, оптического, лазерного).

2. При измерении вертикального угла вершина угла может быть размещена в любой точке (например, на этаже строящегося здания). Линия горизонта всегда будет проходить через центр вертикального круга, визуалью на теодолите это – ось вращения зрительной трубы. Поэтому важно тщательно измерить по вертикали расстояние от центра геодезического пункта до этой точки, которое называется высотой инструмента.



3. Плоскости, на которую ортогонально проецируются пространственные углы, должны располагаться строго горизонтально (горизонтальный круг) и строго вертикально (вертикальный круг). Перпендикулярность кругов гарантируется заводом–изготовителем угломерного прибора, а их правильная установка в пространстве выполняется геодезистом (см. установку теодолита в рабочее положение).

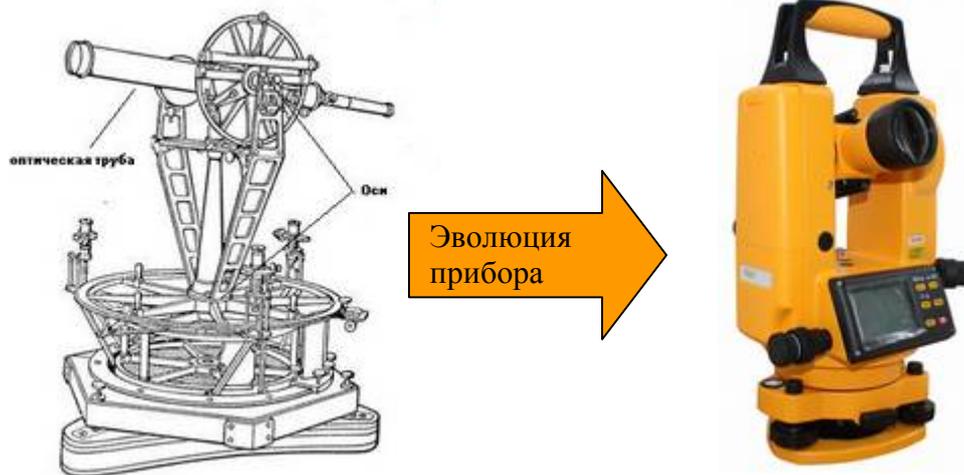
6.3.2. Теодолиты. Классификация. Основные поверки

Теодолитом называется прибор, служащий для измерения горизонтальных и вертикальных углов. Кроме этого основного назначения с помощью теодолита устанавливают горизонтальность и вертикальность линий и плоскостей, задают направления; применяя нитяной дальномер и рейку с делениями, определяют расстояния и превышения.

В старинных рукописях употребляется термин «диоптр», используемый как синоним слова «теодолит», произошло от названия старого инструмента – диоптра. Инструменты, предшествующие теодолиту, такие как геометрический круг или различные градуированные круги (угломер или курвиметр) и полукруги (графометр) использовались для измерения либо вертикальных, либо горизонтальных углов.

Первое упоминание слова «теодолит» или «теодолитус» встречается в руководстве по землемерию, геометрической практике «Pantometria» (1571 год), написанной Леонардом Диггесом. Однако это были первые попытки

создания угломерного инструмента. Первым инструментом, похожим на настоящий теодолит, был, по всей видимости, прибор, созданный Джошуа Хабермелем (Эразм Хабермельский) в 1576 в Германии. Он был объединен с компасом и треногой. Теодолит стал современным точным инструментом в 1787 году, когда Джесси Рамсен представил свой знаменитый теодолит. В дальнейшем, он эволюционировал в теодолит, который используется топографами сейчас:



Теодолиты можно классифицировать по физической природе носителей информации: на механические, оптико-механические, электронные, оптико-электронные.

В зависимости от допускаемой погрешности измерения горизонтального угла одним приемом в лабораторных условиях теодолиты следует подразделять на следующие типы и группы:

- высокоточные типа Т1;
- точные типа Т2 и Т5;
- технические типа Т15, Т30 и Т60.

В условное обозначение теодолита входит обозначение типа и исполнения теодолита. В зависимости от конструктивных особенностей следует различать теодолиты следующих исполнений:

- с уровнем при вертикальном круге (традиционные, обозначение не применяется);
- К – с компенсатором углов наклона;
- А – с автоколлимационным окуляром (автоколлимационные);
- М – маркшейдерские;
- Э – электронные.

Допускается сочетание указанных исполнений в одном приборе. Если теодолит имеет зрительную трубу прямого изображения, то в условное обозначение теодолита добавляют букву П. Например:

1 Теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 2" с компенсатором углов наклона, автоколлимационный: *Т2КА*.

2 Теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 30" с уровнем при вертикальном круге и зрительной трубой прямого изображения, маркшейдерский: *Т30МП*.

3 Теодолит с допускаемой погрешностью измерения горизонтального угла 5", электронный: *Т5Э*.

Для модификаций теодолитов допускается перед условным обозначением теодолита указывать порядковый номер модели, например 3Т2КА.

При всем многообразии теодолитов на современном рынке приборов можно подыскать равноточные. Так теодолиты, находящиеся в эксплуатации, можно соотнести с таблицей и определить их группу:

Группа	Тип равноценных
Высокоточные Т02; Т05	ОТ-02; ОТ-05; УВК (СССР); ТС 1610Е (Россия); ТС1610 Wild «Leica» (Швейцария)
Высокоточные Т1	Т1; УВК (СССР); ДКМ-3 (А); Т3; ТС1610 Wild «Leica» (Швейцария); GTS702 (Япония)
Точные Т2	ТБ-1 (3); 2Т2 (А) (СССР); THEO 010 А(В) Dahlta 010 «К. Цейсс» (ГДР); Те-В1 (3) (Венгрия); GTS211 D; GTS712; GTS713; Geodimetr 610 M; Sokkil, Poverset, Set4000 (Япония)
Точные Т5	Т5К; 2Т5; 2Т5К; 2Т5КП; 3Т5КП; ОТ Ш; ТТ-4; Та3М; 2Та5 (СССР); ТС600Е (Россия); THEO 020 А (В), Dahlta 020 «К. Цейсс» (ГДР); ТС600 Wild «Leica» (Швейцария); Sokkil, Poverset, Set4010 (Япония)
Технические Т15	Т15К (М); ТТ-5 (СССР); THEO 080 (А) «К. Цейсс» (ГДР)
Технические Т30	Т30; ТМ-1; ТОМ (СССР); 2Т30 (П) (М) (Россия); THEO 120 «К. Цейсс» (ГДР)
Технические Т60	Т60; 2А ШТ (СССР)

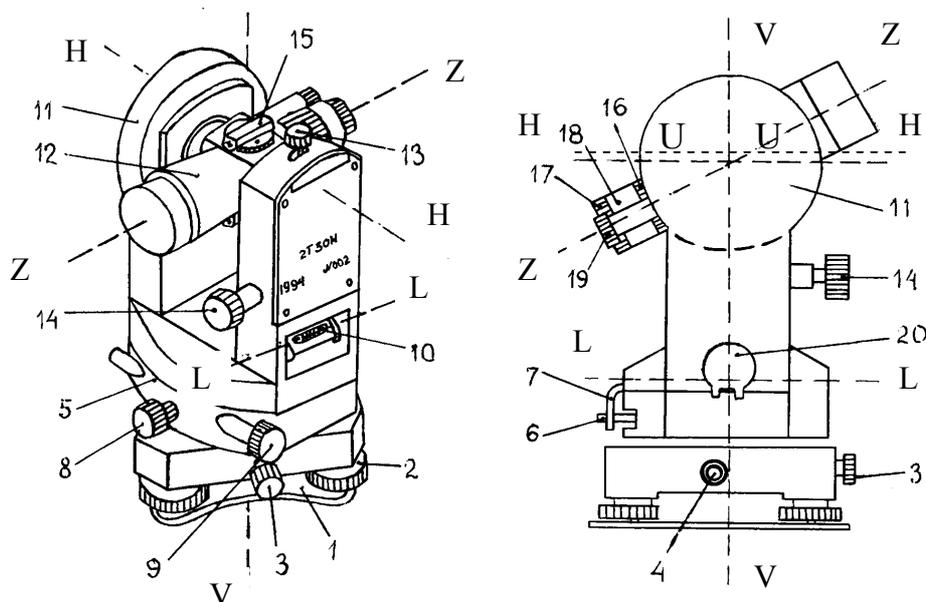
Основные поверки теодолита

При получении теодолита вначале выполняют внешний осмотр. При этом проверяют комплектность прибора, целостность оптических узлов, чистоту окуляров, объективов, экранов, отсутствие явных повреждений деталей и узлов. Проверка работоспособности и взаимодействия подвижных узлов теодолита выполняется опробованием работоспособности замков, прижимов и винтов, фиксирующих прибор в футляре; установочных приспособлений и плавность вращения всех подвижных частей; фиксацию зеркала подсветки и поворотной призмы контактного уровня в заданном положении; надежность электрических контактов и равномерность электрического освещения (в теодолитах с электроподсветкой и в электронных теодолитах); оптические системы теодолита должны обеспечивать четкие и контрастные изображения наблюдаемых объектов; освещение полей зрения должно быть равномерным и достаточным для уверенного отсчета по шкалам; у электронных теодолитов проверяют работу табло и программы

подготовительных процедур (тест-контроль); параллакс отсчетного микроскопа.

В дальнейшем следует выполнить ряд проверок. **Поверка** – это совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям. Для получения достоверных результатов измерений необходимо, убедиться в правильной установке сетки нитей, проверить соотношение основных геометрических осей теодолита: оси вращения инструмента, оси вращения трубы, оси цилиндрического уровня и визирной оси.

Осью вращения инструмента называют воображаемую линию, вокруг которой вращается лимб (стеклянный круг с делениями) и алидада (верх теодолита с отсчетным приспособлением, зрительной трубой и вертикальным кругом). Теодолит считают отцентрированным, когда ось VV , будучи вертикальной, проходит через заданную точку местности – вершину угла.



Устройство теодолита 2Т30М

Основные оси теодолита: VV – ось вращения инструмента; HH – ось вращения зрительной трубы; ZZ – визирная ось; LL – ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга, UU – ось цилиндрического уровня при вертикальном круге.

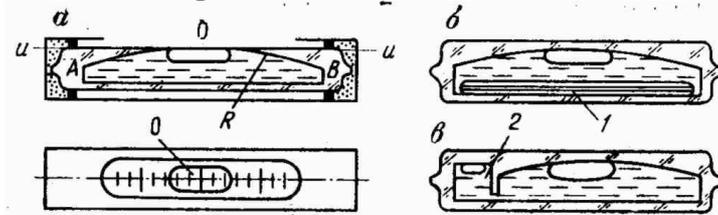
Внешнее устройство теодолита: 1 – пластинка подставки; 2 – подъемные винты; 3 – закрепительный винт подставки; 4 – пружинящая защелка подставки; 5 – горизонтальный круг; 6 – ступенька повторительного устройства; 7 – его рычажок; 8 – закрепительный винт алидады горизонтального круга; 9 – его наводящий винт; 10 – цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга; 11 – вертикальный круг; 12 – зрительная труба; 13 – закрепительный винт зрительной трубы; 14 – его наводящий винт; 15 – оптический визир; 16 – кремальера; 17 – диоптрийное кольцо окуляра; 18 – съемное кольцо; 19 – диоптрийное кольцо шкалового микроскопа; 20 – зеркало иллюминатора

Ось вращения трубы – также воображаемая линия, соединяющая геометрические центры втулок на оси трубы. Внутри этой оси проходят

лучи, передающие изображения с горизонтального и вертикального кругов в поле зрения отсчетного приспособления.

Визирной осью называется воображаемая линия, соединяющая центр (перекрестие) сетки нитей и оптический центр объектива. Визирной осью выполняют наведение на точку визирования.

Осью цилиндрического уровня называют касательную, проведенную к нульпункту (середине) ампулы уровня в продольном ее сечении. Когда пузырек цилиндрического уровня находится в нульпункте, ось уровня должна занимать горизонтальное положение.



Основные соотношения между осями:

1. LL должна быть перпендикулярна VV (поверка цилиндрического уровня);
2. ZZ должна быть перпендикулярна HH (поверка коллимационной погрешности);
3. HH должна быть перпендикулярна VV (поверка «неравенства подставок»);
4. UU при отсчете по вертикальному кругу должна быть горизонтальной;
5. LL при измерении горизонтальных углов должна быть горизонтальной.

Рассмотрим основные поверки теодолита, выполнение которых достаточно для обеспечения измерений горизонтальных и вертикальных углов теодолитами малой и технической точности (Т-30, 2Т-30, 2Т-30М).

1. Поверка цилиндрического уровня

Формулировка поверки: Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси инструмента.

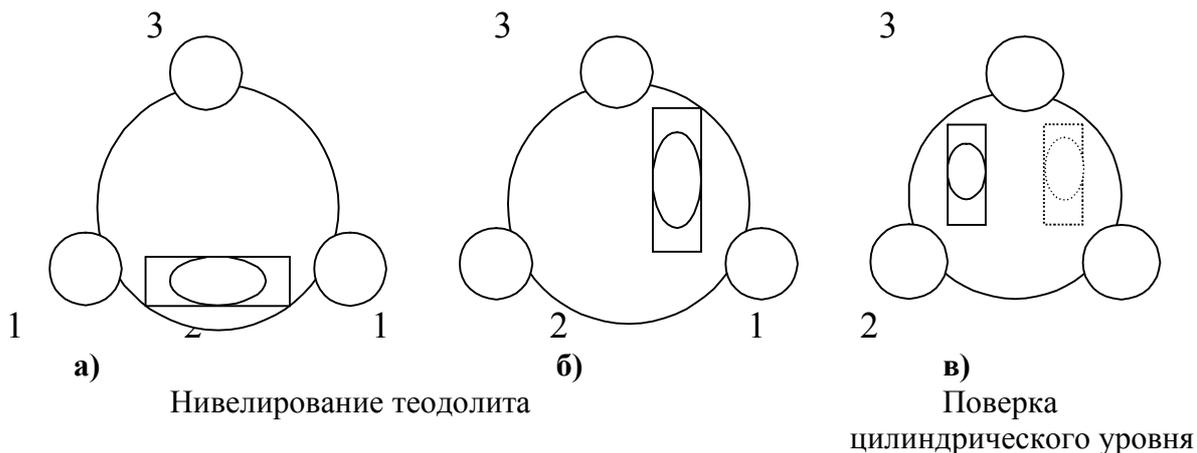
Производство поверки: Поверку разделяют на две части.

Первая часть – подготовка к поверке – заключается в том, что ось инструмента устанавливают примерно в отвесное положение.

Для этого выполняют две операции:

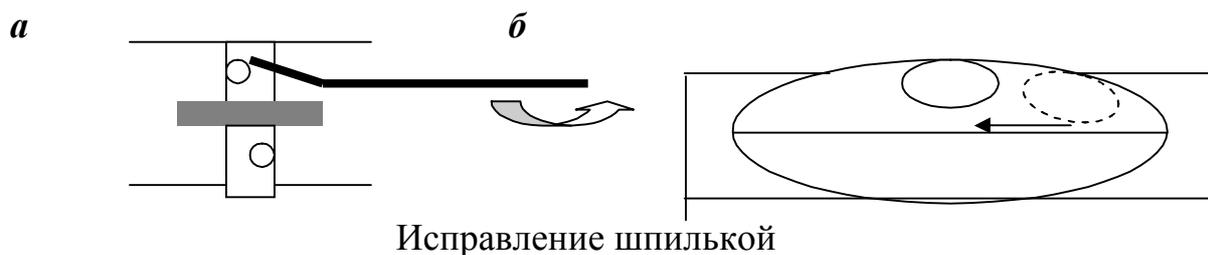
операция **а)** – уровень приводят в нульпункт подъемными винтами 1 и 2, между которыми он располагается;

операция **б)** – алидаду поворачивают на 90° (на глаз) и третьим подъемным винтом приводят пузырек уровня в нульпункт.



Вторая часть – проверка взаимной перпендикулярности осей LL и VV. Для этого выполняют следующую операцию в). При операции в) поворачивают алидаду на 180° . Если оси перпендикулярны, пузырек остается в нульпункте (может отклониться на 1 деление). Если отклонение пузырька более одного деления, необходимо произвести исправление положения оси уровня.

Исправление. Выполняют с помощью подъемного винта 3 и исправительных винтов уровня. При этом половину дуги отклонения исправляют подъемным винтом, а половину – исправительными винтами уровня. У теодолитов Т–30, 2Т–30М исправительные винты поворачивают с помощью шпильки. Если, например, для возвращения пузырька на $\frac{n}{2}$ делений нужно поднять край ампулы, необходимо шпильку вставить в отверстие верхнего винта и, вращая от наблюдателя, слегка (на четверть оборота) завернуть винт в основание.



Затем вставить шпильку в нижний винт и, вращая на наблюдателя, слегка вывернуть до того состояния, пока пузырек не переместится на одно деление влево. Это произойдет, т.к. ось уровня при этом слегка приподнимается. В завершение операции исправления шпилькой затягивают верхний винт, вращая его в противоположном направлении (т.е. на наблюдателя). На вторую половину $\frac{n}{2}$ пузырек возвращают к нульпункту с помощью подъемного винта 3.

Всю поверку повторяют, проверяя выполнение условия и одновременно окончательно приводя ось инструмента в вертикальное (отвесное) положение. При этом плоскость лимба горизонтального круга становится горизонтальной.

Особый случай исправления

Если при повороте алидады на 180° пузырек отклоняется очень сильно и упирается в край ампулы, то количество делений n , на которое он отклонился от нульпункта, определить невозможно.

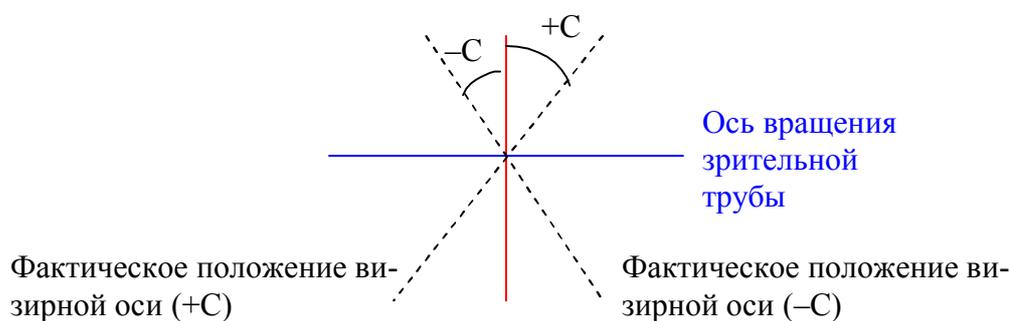
В этом случае определяют величину отклонения от нульпункта по оборотам подъемного винта z . Для этого делают мелом или мягким карандашом метку на подставке и на винте. Вращая винт, приводят пузырек в нульпункт, фиксируя дугу поворота метки на винте относительно неподвижной метки на подставке. Наполовину полученной дуги вращают подъемный винт в обратную сторону, уводя пузырек из нульпункта.

Приводят его в нульпункт исправительными винтами, как было сказано выше.

2. Поверка коллимационной погрешности

Формулировка поверки: Визирная ось должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы.

Теоретическое положение визирной оси



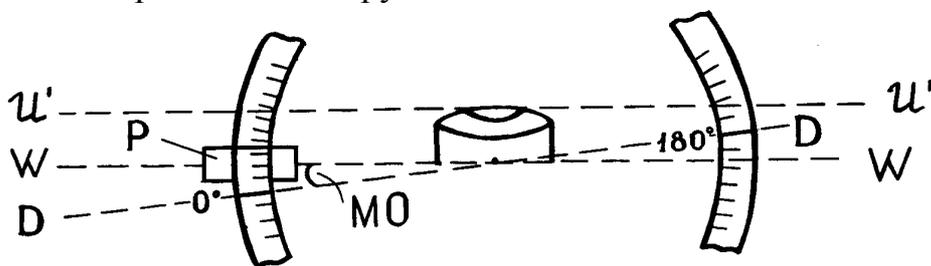
Производство поверки: визируют на удаленную точку при двух положениях теодолита КЛ и КП и записывают отсчеты по горизонтальному кругу. Считают коллимационную погрешность $C = (КЛ - КП) / 2$. Если полученное значение меньше допустимой величины, условие поверки выполняется. В противном случае выполняется исправление. $C_{доп} = \pm 1,5 t$, где t – точность отсчетного устройства. Определение погрешности выполняют не менее двух раз, расхождение в результатах также не должно превышать $1,5 t$. В практике инженерно-геодезических работ допускается работать теодолитом, у которого коллимационная погрешность C превышает допустимую погрешность, но в этом случае обязательно измеряют горизонтальный угол при двух положениях КЛ и КП и следят за постоянством полученной величины.

Исправление. Вычисляют отсчет M по горизонтальному кругу, свободный от влияния погрешности и устанавливают его принудительно на отсчетном устройстве. Если последний отсчет взят при КЛ, то $M = \text{КЛ} - C$, если при КП, то $M = \text{КП} + C$. При этом визирная цель сместится из перекрестия сетки нитей. Дальнейшие действия зависят от конструкции прибора. У теодолита 2Т30М исправительные (юстировочные) винты сетки нитей расположены под защитным колпачком на зрительной трубе между кремальерой и диоптрийным кольцом. Боковыми исправительными винтами перемещают сетку нитей до совмещения с целью.

После исправления поверку повторяют.

3. Поверка места нуля МО

Местом нуля МО называется отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси и оси цилиндрического уровня на алидаде вертикального круга.



Место нуля:

$U'U'$ – ось уровня на вертикальном круге в горизонтальном положении; WW – визирная ось в горизонтальном положении; DD – нулевой диаметр лимба вертикального круга; P – призма на алидаде, передающая отсчет по вертикальному кругу, равный $МО$ (призма механически соединена с уровнем и перемещается вдоль вертикального круга при приведении пузырька в нульпункт)

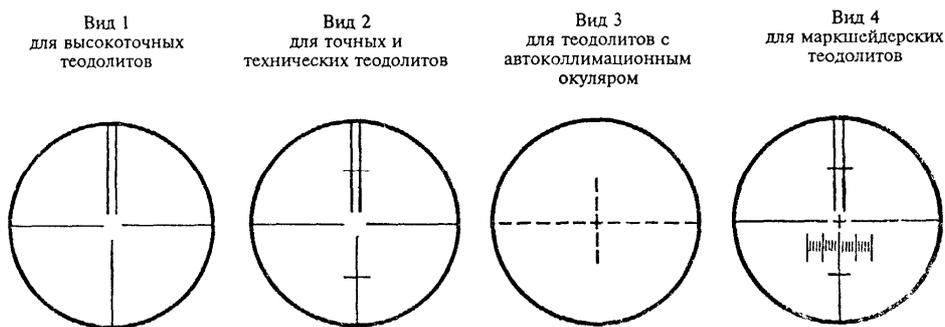
Формулировка поверки: место нуля $МО$ должно быть равно $0^{\circ}00'$ или близким к $0^{\circ}00'$ и быть постоянным.

Производство поверки: визируют на удаленную точку выше горизонта инструмента, записывают отсчеты по вертикальному кругу при КЛ и КП. Место нуля вычисляется в общем случае по формуле $МО = 0,5 (\text{КЛ} + \text{КП})$. Для разных марок прибора формулу следует уточнять по паспорту прибора. Так, для теодолита 2Т30М $МО = (\text{КЛ} + \text{КП} \pm 180^{\circ}) / 2$. Допустимой считается величина отклонения $МО$ от $0^{\circ}00'$ $МО_{\text{доп}} = \pm 1,5 t$.

Исправление: производят с целью уменьшить вероятность появления погрешностей вычисления вертикальных углов, для этого устанавливают на отсчетном приспособлении отсчет, равный вертикальному углу. Дальнейшие действия зависят от конструкции прибора. У теодолита 2Т30М вертикальными юстировочными винтами перемещают сетку нитей до совмещения с целью. После исправления поверку повторяют.

4. Поверка сетки нитей

Сетка нитей для различных типов теодолитов может иметь вид:



Формулировка проверки: горизонтальная нить сетки была перпендикулярна оси вращения теодолита (линии отвеса), а вертикальная нить была перпендикулярна оси вращения зрительной трубы.

Производство проверки: горизонтальную нить сетки нитей теодолита наводят на четкую видимую точку. Затем вращают алидаду теодолита микрометренным винтом, при этом изображение выбранной точки не должно сходиться с горизонтальной нити сетки нитей теодолита по всей ее длине более чем на двойную толщину этой нити.

Исправление: в случае невыполнения условия сетку нитей поворачивают на половину угла расхождения, и проверку выполняют вновь.

Проверку можно выполнить, совмещая изображение биссектора вертикальной нити с изображением нити отвеса, подвешенного на расстоянии не менее 10 м от теодолита. Для устранения колебания нити отвеса, его опускают в ведро с маслом (машинным, трансформаторным) или с водой, смешанной с просеянными опилками.

6.3.3. Измерение углов теодолитом

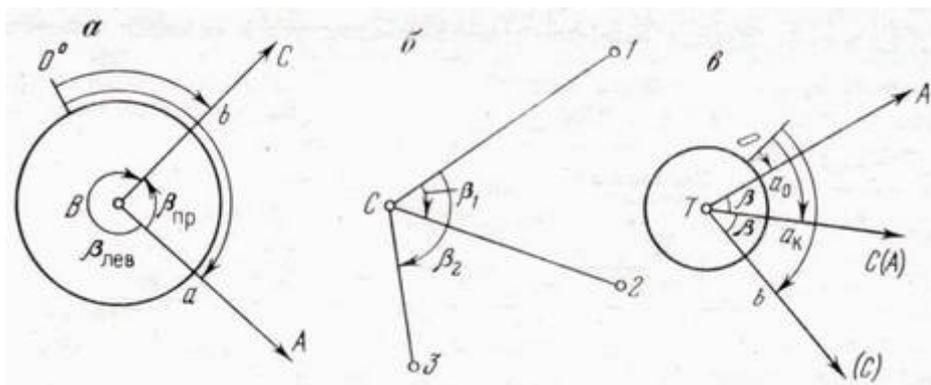
Измерение горизонтальных углов

Горизонтальные углы можно измерять различными способами, основными из них являются:

1. **Способ отдельного угла** – является составной частью способа «во всех комбинациях», используют для измерения углов в полигонометрии.

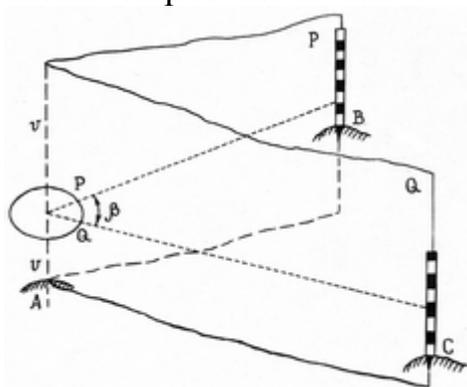
2. **Способ круговых приемов** – для измерения углов из одной точки между тремя направлениями и более в сетях триангуляции и полигонометрии 2 и более низких классов (разрядов).

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.



4. Способ полного приема. Используется при проложении теодолитных ходов, выносе проектов в натуру и других работах в практике инженерной геодезии.

Рассмотрим порядок измерения горизонтального угла способом полного приема.



1. Подготовительные работы. Устанавливают на соседних точках В и С вешек в створе направлений визирования. Расчищают видимости.

2. Приводят теодолит в рабочее положение в вершине угла (на рисунке это точка А), процедура складывается из следующих операций:

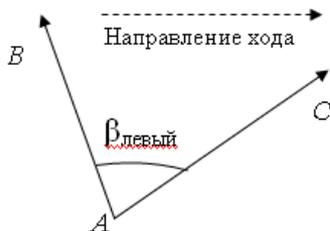
а) центрирование, т.е. совмещение оси вращения прибора с вершиной измеряемого угла. Выполняется с помощью нитяного отвеса, оптического или лазерного центрира. Штатив устанавливается так, чтобы отвес оказался над точкой с точностью 2 – 3 мм.

б) горизонтирование прибора, т.е. приведение оси вращения теодолита в отвесное положение, а плоскости лимба – в горизонтальное положение. Эту операцию иногда называют нивелированием теодолита. Предварительное горизонтирование прибора выполняется еще при установке штатива, т. е. головка штатива должна быть горизонтальна, подъемные винты подставки – выровнены. Точное горизонтирование выполняется подъемными винтами с использованием предварительно поверенного цилиндрического уровня.

в) после горизонтирования проверяется центрировка. Острие отвеса должно находиться над вершиной измеряемого угла (при технических работах отклонение допускается до 5 мм). В противном случае, ослабив становой винт, перемещают теодолит по головке штатива до нужного положения. Становой винт закрепляют и снова выполняют операцию горизонтирования прибора. Таким образом, центрирование и горизонтирование

выполняются несколькими последовательными приближениями.

г) установка зрительной трубы для наблюдений включает в себя установку трубы и отсчетного микроскопа по глазу наблюдателя и установку трубы по предмету.



3. Измеряют левый или правый по ходу горизонтальный угол. Определяется он направлением обхода точек. Так на рисунке показан левый по ходу угол $\beta_{\text{левый}}$, поскольку обход точек выполнен в порядке BAC , а измеряемый угол лежит по левую руку. При этом точка B называется задней, точка C – передней. При другом обходе

через точки (CAB) этот же угол будет считаться правым по ходу, а точка C будет задней, точка B передней. При измерении углов, особенно близких к развернутому, следует точно определять направление обхода, фиксировать его в полевом журнале в графе «Примечания» в виде схемы.

Сам процесс измерения угла в первом полуприеме (при круге лево КЛ) будет заключаться в наведении трубы на точку B и отсчете по горизонтальному кругу $КЛ_B$, а затем наведении на точку C (вращая по часовой стрелке) и отсчете $КЛ_C$. Угол β получим как разность отсчетов $\beta_{\text{КЛ}} = КЛ_C - КЛ_B$ или $\beta_{\text{КЛ}} = (КЛ_C + 360^\circ) - КЛ_B$.

Для контроля обычно процесс повторяют при другом положении вертикального круга относительно зрительной трубы (при круге право КП). Смена круга происходит посредством перевода трубы через зенит и поворота теодолита на 180° . Вычисляют значение угла при втором полуприеме: $\beta_{\text{КП}} = КП_C - КП_B$ или $\beta_{\text{КП}} = (КП_C + 360^\circ) - КП_B$.

Если расхождение в двух результатах $\Delta\beta = \beta_{\text{КП}} - \beta_{\text{КЛ}} \leq 2t$, где t – точность отсчетного приспособления (для теодолита 2ТЗ0М $t = 30''$), вычисляют среднее значение угла $\beta_{\text{СР}} = \frac{\beta_{\text{КЛ}} + \beta_{\text{КП}}}{2}$.

Пример записи и вычислений в полевом журнале:

Журнал измерения горизонтальных углов способом приемов

Дата 23.08.2011

Теодолит 2ТЗ0М

Наблюдал Никитин И.П.

Видимость хорошая

№ 1682

Записывал Свиридов В.Л.

Точка стояния	Точки визирования	К П КЛ	Отсчет по горизонтальному кругу	Значение угла из полуприема	Среднее значение угла из приема	Примечание
A	B	КЛ	35°02'	171°31'	171°31,5'	
	C	КЛ	206°33'			
	B	К П	305°15'	171°32'		
	C	К П	116°47'			

Измерение вертикальных углов

Чтобы измерить вертикальный угол (угол наклона) теодолитом, выполняют следующие процедуры:

1. Приводят теодолит в рабочее положение в вершине угла (точка A).
2. Измеряют рулеткой высоту инструмента i и на конечной точке измеряемой линии (точка B) устанавливают вешку, на которой фиксируют величину i .
3. Визируют на точку B при двух положениях теодолита: при КЛ и КП, записывая отсчеты по вертикальному кругу.

Вертикальный угол для теодолита 2Т30 вычисляется по общей формуле $v = \frac{Л - П}{2}$, где $Л$ – отсчет по вертикальному кругу при КЛ; $П$ – отсчет по вертикальному кругу при КП.

В практике удобнее использовать формулы, когда известно место нуля $МО$: $v = Л - МО$ или $v = МО - П$.

6.3.4. Построение горизонтального угла

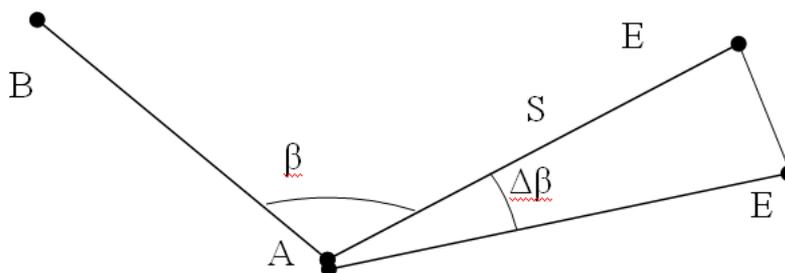
В практике геодезических работ часто возникает необходимость отыскания утраченных геодезических пунктов, межевых знаков, выноса проектной точки на местность. В этом случае от найденных на местности пунктов A и B с известными координатами и опорного направления AB откладывают теодолитом угол β , вычисленный как разность дирекционных углов: $\beta = \alpha_{AE} - \alpha_{AB}$.

Дирекционные углы α_{AE} и α_{AB} находят заранее из решения обратных геодезических задач для направлений AB и AE .

Для построения угла теодолит устанавливают в точке A , центрируют, нивелируют его. Устанавливают отсчет $0^{\circ}00'$ и наводят трубу вращением лимба на точку B . Открепляют алидаду и, вращая теодолит при КП (или КЛ) по часовой стрелке, устанавливают на заданное или расчетное значение угла β , полученное в виде отсчета по шкаловому микроскопу.

Для отыскания на местности точки E по построенному направлению AE откладывают вычисленное при решении обратной задачи расстояние S .

Определим требуемую точность построения горизонтального угла.



В соответствии с рисунком для вычисления погрешности поперечного к направлению смещения $\Delta\beta$ пункта E получим формулу

$$\Delta\beta = \frac{\delta'' S_{\text{км}} 10^5}{\rho''}, \text{ где } \delta'' - \text{ погрешность построения угла при одном поло-}$$

жении круга; S – расстояние до определяемой или выносимой точки E в километрах; $\rho'' = 206265$ (для упрощения расчета принимают $\rho'' = 2 \cdot 10^5$).

Производя преобразования, получим $\Delta\beta = 0,5\delta'' S$.

Если угол строят при одном круге, то $\Delta\beta = m_{\beta} \sqrt{2} + c$, где c – коллимационная погрешность; m_{β} – погрешность измерения угла.

При $S = 0,1$ км, $m_{\beta} = 30''$ и $c = 60''$ получим $\Delta\beta = 5$ см, что вполне обеспечивает необходимую точность отыскания пунктов.

Аналогичная задача возникает при выносе на местность проектного положения границ земельных отводов фермерских хозяйств или границ под застройку. Однако точность к выносу точек в этом случае требуется более высокая. Для построения горизонтального угла применяют более точные теодолиты, а сам угол строят при «круге право» и «круге лево», принимая за окончательное направление среднее из двух.

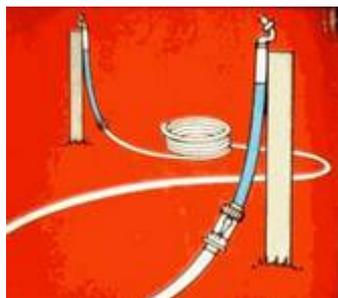
В этом случае, принимая $m_{\beta} = 5''$, $\Delta\beta = m_{\beta}$ и $S = 0,1$ км, получим $\Delta\beta = 0,25$ см, что обеспечивает требуемую точность выноса точки границы объекта в натуру в поперечном направлении.

Необходимо заметить, что при окончательном расчете погрешности выноса проекта на местность необходимо учитывать погрешность исходных данных и погрешность построения линии S .

ТЕМА 7. ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ

7.1. Общие сведения о нивелировании

Нивелированием называется совокупность геодезических измерений, выполняемых для определения **превышений** между точками физической поверхности Земли или их высот относительно принятой отсчетной поверхности.



Первые сведения о водяном (гидростатическом) нивелире связывают с именами римского архитектора Марка Витрувия (1 в. до н. э.) и древнегреческого учёного Герона Александрийского (1 в. н. э.). Дальнейшее развитие методов нивелирования связано с изобретением зрительной трубы (конец 16 в.), барометра – Э. Торричелли (1648 г.), сетки нитей в зрительных трубах – Ж. Пикаром (1669 г.), цилиндрического уровня – английским оптиком Дж. Рамсденом (1768 г.). В созданной Петром I оптической мастерской в 1715–25 г. И. Е. Беляев изготавливал различные приборы, включая и ватерпасы с трубой, т. е. нивелиры. Под руководством В. Я. Струве в 1836–37 г. тригонометрическим нивелированием были определены разность уровней Азовского и Чёрного морей и высота г. Эльбрус. Метод геометрического нивелирования впервые был широко использован в 1847 г. при инженерных изысканиях Суэцкого канала. В 1871 г. Военно-топографический отдел Главного штаба России начал работы по созданию нивелирной сети страны, а в 1913 г. приступил к выполнению нивелирования высокой точности.

Виды нивелирования, используемые в настоящее время:

- геометрическое;
- тригонометрическое;
- стереофотограмметрическое;
- физическое (лазерное, барометрическое, гидростатическое, аэро-нивелирование)
- определение отметок с применением приемников ГЛОНАСС и GPS.

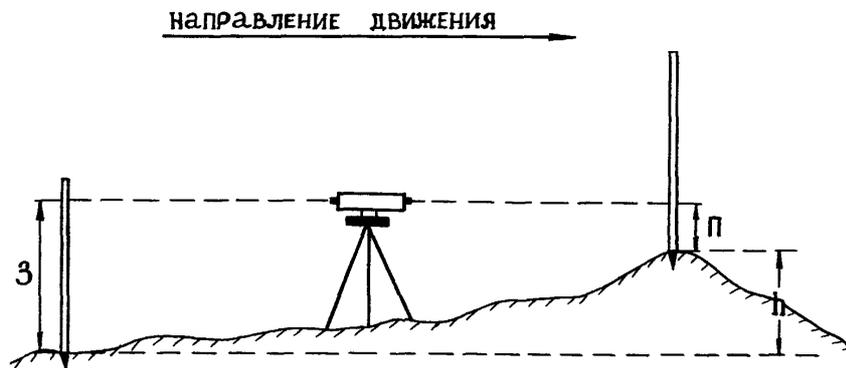
7.2. Геометрическое нивелирование

Геометрическое нивелирование – определения превышений между точками с помощью горизонтального луча визирования нивелира и одной–двух вспомогательных реек.

Существуют способы нивелирования «из середины» и «вперед».

Простое нивелирование способом «из **середины**» является самым распространенным и самым надежным. Визирная ось лежит в горизон-

тальной плоскости, которая отсекает на рейках отсчеты на задней рейке «З» и на передней рейке «П». Превышение вычисляют по формуле $h = З - П$.

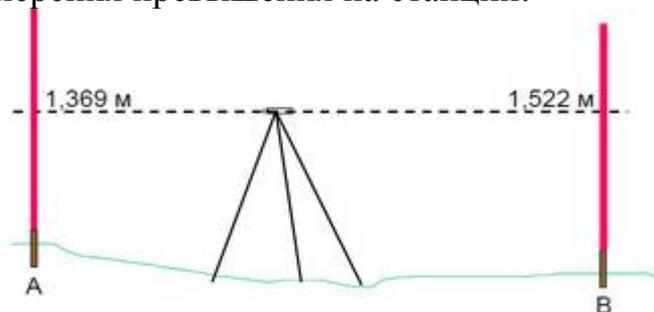


Расстояние от нивелира до рейки называют плечом, различают соответственно заднее и переднее плечо, они должны быть одинаковыми при измерениях на станции.

Обычно в качестве задней точки выбирают исходный репер с известной отметкой H . Тогда отметка передней точки определится по формуле $H_B = H_A + h$. Знак \square в превышении говорит о том, что передняя точка B ниже чем задняя A (знак \oplus означает, что передняя точка выше задней).

Следует помнить, что отсчеты по рейке всегда записывают в миллиметрах, а отметки точек H считают в метрах. Взять отсчет по рейке – означает отсчитать число делений рейки от ее основания (пятки) до горизонтальной визирной оси.

Пример измерения превышения на станции:

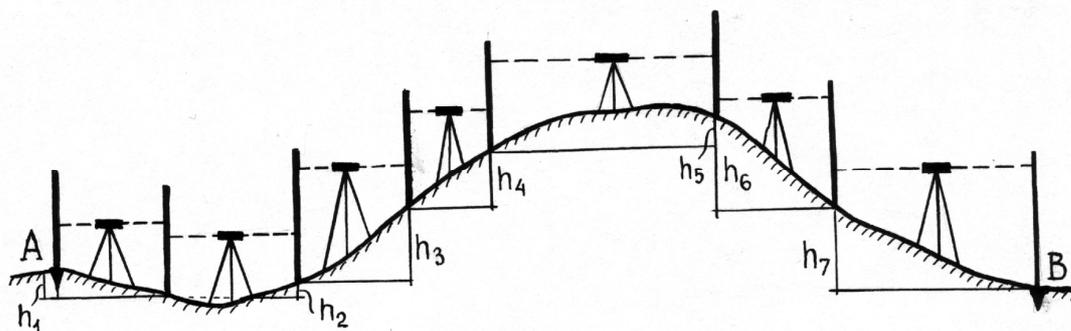


Пусть задняя точка A является исходной с известной отметкой $H=201,100$ м. Тогда превышение между точками определится:

$$h = 1369 \text{ мм} - 1522 \text{ мм} = -153 \text{ мм} = -0,153 \text{ м.}$$

$$\text{Отметка точки } H_B = 201,100 \text{ м} + (-0,153 \text{ м}) = 200,947 \text{ м.}$$

Станции, следующие друг за другом, образуют ломаную линию, называемую **нивелирным ходом**. В этом случае нивелирование считают **сложным**. Сложное нивелирование служит для определения превышений точек, расположенных на значительном удалении.



Превышение между точками A и B будет равно алгебраической сумме превышений $h_{AB} = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7$ или $h_{AB} = \sum_{i=1}^n h$, где $i=1, 2, 3, \dots, n$ – порядковый номер станции.

Зная отметку одной из точек, например H_A , можно всегда найти отметку точки B : $H_B = H_A + \sum_{i=1}^n h$.

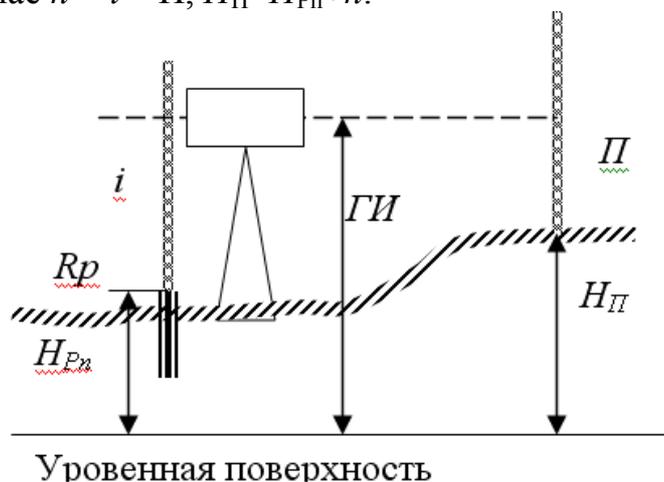
Если известны отметки H_A и H_B и необходимо вычислить отметки промежуточных точек хода, сначала вычисляют невязку хода f_h :

$$f_h = \sum_{i=1}^n h - (H_B - H_A).$$

Если невязка не превышает допустимую, её распределяют с обратным знаком между определенными на станциях превышениями.

Нивелирование «вперед» также распространено в практике инженерно-геодезических работ. В этом случае нивелир устанавливают почти над репером, окуляр прибора должен на его проектироваться. Рулеткой измеряют высоту инструмента i и берут отсчет по передней рейке Π .

В этом случае $h = i - \Pi$, $H_{\Pi} = H_{Рп} + h$.



Отметку точки Π можно определить также через горизонт инструмента $ГИ$ – высоту визирного луча от уровенной поверхности.

Как видно из предыдущего рисунка, $ГИ = H_{PI} + i = H_{II} + П$. Если в любой произвольной точке поставить рейку и взять по ней отсчет a , то отметку этой точки можно высчитать $H_A = ГИ - a$. Таким образом определяют отметки плюсовых точек по трассе, при площадном нивелировании по квадратам.

7.3. Нивелир. Устройство. Поверки

Нивелиром называют прибор для определения превышений методом геометрического нивелирования с помощью визирного луча и двух вертикальных реек с делениями. На фото представлен оптический нивелир в сборке на штативе, а также различные виды реек: алюминиевая телескопическая с сантиметровыми делениями, деревянная двухсторонняя с шашечными делениями, штриховая для цифрового нивелира, круглый уровень, которым снабжается нивелирная рейка.



По классу точности нивелиры разделяют на:

- высокоточные Н–05;
- точные Н–3;
- технические Н–10.

Нивелиры допускается изготавливать двух исполнений:

- с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе;

– с компенсатором.

Точные и технические нивелиры могут изготавливать со зрительными трубами прямого или обратного изображения, допускается изготавливать с горизонтальным лимбом. Числа в шифре нивелира означают допустимую среднюю квадратическую погрешность, получаемую при нивелировании на 1 км двойного хода в мм. Числа, стоящие впереди Н – номера последующих моделей. При наличии компенсатора к шифру нивелира добавляется индекс К, например Н–3К. Нивелиры типов Н–3 и Н–10 допускается изготавливать с лимбом для измерения горизонтальных углов с точностью до 5'. При наличии лимба к шифру нивелира добавляется индекс Л, например Н–10КЛ.

Условное обозначение **нивелирной рейки** состоит из буквенного обозначения РН, цифрового обозначения группы нивелиров, для которой она предназначена (для высокоточных нивелиров – цифра 05, точных – 3, технических – 10) и номинальной длины рейки. В обозначении складных реек и (или) реек с прямым изображением оцифровки шкал после указания номинальной длины добавляют соответственно букву С и (или) П.

Пример условного обозначения нивелирной рейки к техническим нивелирам, номинальной длиной 4000 мм, складной, с прямым изображением оцифровки шкалы: РН–10 – 4000 СП.

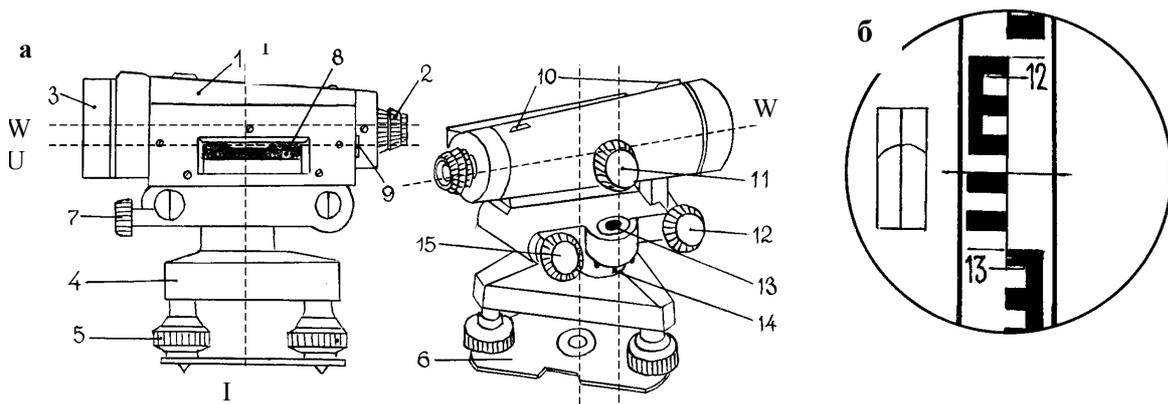
Основные параметры и размеры нивелирных реек

Наименование параметра	Рейки к нивелирам групп		
	высокоточных	точных	технических
Номинальная длина шкалы рейки, мм	3000;	3000;	4000
	1200;	1500*;	-
	1700*	1000*	
Длина деления шкалы, мм	5	10	10
Допустимое отклонение, мм:			
– длины деления шкалы	±0,05	±0,20	±0,50
– метрового интервала	±0,10	±0,50	±1,00
Масса рейки, кг, не более, при длине шкалы рейки			
4000 мм	-	-	4,5
3000 мм	6,0	3,5	-
1700 мм	3,5	-	-
1500 мм	-	2,5	-
1200 мм	2,6	-	-
1000 мм	-	2,0	

На рисунке показано устройство оптического нивелира Н–3 и его основные геометрические оси а также поле зрения трубы. Сетка нитей имеет вертикальный штрих и три горизонтальных, верхний и нижний яв-

ляются нитяням дальномером. Отсчет по рейке берут по горизонтальной средней нити, когда концы пузырька совмещаются элевационным винтом 7 и вертикальная нить проходит по оси рейки. Рейка имеет сантиметровые деления и подписанные дециметры. Изображение обратное, следовательно, отсчеты возрастают сверху вниз. На рисунке отсчет по рейке равен 1260 мм. Расстояние по рейке определяется:

$$S = (1311 \text{ мм} - 1211 \text{ мм})100 = 10000 \text{ мм} = 10 \text{ м.}$$



Устройство нивелира: а – устройство; б – поле зрения трубы

Основные оси нивелира: UU – ось цилиндрического уровня; WW – визирная ось; $U'U'$ – ось круглого уровня; II – ось инструмента

Внешние части нивелира: 1 – зрительная труба; 2 – диоптрийное кольцо; 3 – объектив зрительной трубы; 4 – подставка; 5 – подъемные винты подставки; 6 – пружинящая пластина подставки; 7 – закрепительный винт трубы; 8 – цилиндрический уровень с системой призм, с помощью которых изображение противоположных концов пузырька передается в поле зрения трубы; 9 – крышка, открывающая доступ к исправительным винтам уровня; 10 – визир; 11 – кремальера (фокусирующий винт); 12 – наводящий винт трубы; 13 – круглый уровень, служащий для приближенной установки оси нивелира в вертикальное положение; 14 – исправительные винты круглого уровня; 15 – элевационный винт.

Основные геометрические оси нивелира должны соответствовать следующим соотношениям:

– UU должна быть параллельной визирной оси WW (проверка главного условия нивелира, т.е. проверка угла i).

– $U'U'$ должна быть параллельной оси инструмента II (проверка круглого уровня).

Осью круглого уровня называют нормаль к поверхности ампулы в точке касания центра пузырька с поверхностью.

Проверки нивелира

Перед началом работ выполняют внешний осмотр нивелира, проверку сетки нитей. Они выполняются также, как у теодолита. Рассмотрим две основные проверки: круглого уровня и угла i .

Проверка круглого уровня

Формулировка: ось круглого уровня $U'U'$ должна быть параллельной оси инструмента II .

Производство проверки: располагают уровень между двух подъемных винтов и всеми тремя винтами приводят пузырёк в нульпункт. Поворачивают нивелир на 180° . Пузырёк должен остаться в пределах центральной окружности.

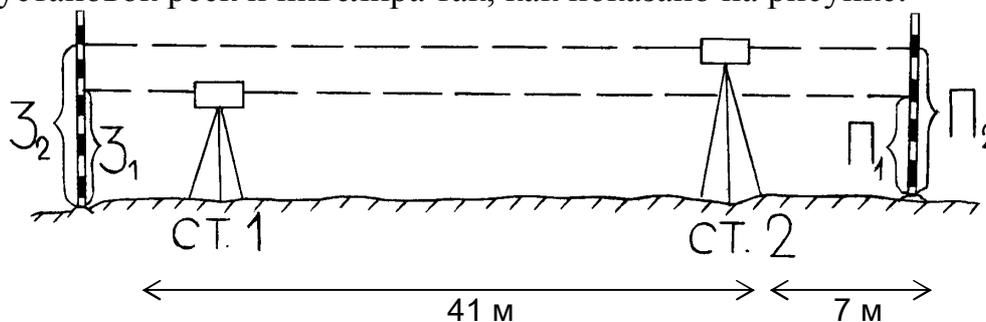
Исправление: если пузырёк выходит за пределы, исправляют уровень на половину отклонения подъемным винтом, расположенным по направлению отклонения пузырька, на вторую половину – исправительными винтами уровня.

Проверка угла i

Углом i называют угол между визирной осью и горизонтальной линией.

Формулировка: угол i не должен превышать допустимого предела.

Производство проверки. существует несколько способов выполнения этой проверки. Предлагаемый способ наиболее удобен, т.к. не требует больших расстояний между рейками (до 50 м), относительно точный и простой по вычислениям. На относительно ровном участке размечают места установок реек и нивелира так, как показано на рисунке:



Определяют превышение со станции 1 по черным сторонам реек: $h_1 = Z_1 - П_1$, затем по красным сторонам реек. Если расхождения превышений на одной станции между значениями превышений, полученными по красным и черным сторонам, не превышают $5 \text{ мм} \pm \text{ПР}$ (пяточная разность), находят средние значения превышений по формуле

$$h_{1 \text{ ср}} = \frac{h_1^{\text{черн}} + h_1^{\text{красн}} \pm \text{ПР}}{2}.$$

Аналогично определяют превышение по черной и красной сторонам на второй станции: $h_2 = Z_2 - П_2$, вычисляют среднее значение:

$$h_2^{\text{ср}} = \frac{h_2^{\text{черн}} + h_2^{\text{красн}} \pm \text{ПР}}{2}.$$

Вычисляют угол i по формуле $i'' = 3''(h_1^{\text{ср}} - h_2^{\text{ср}})$.

Для нивелирования технического и 4 класса угол i не должен превышать $20''$, если угол больше, производят исправление.

Исправление для нивелиров с компенсаторами НЗК, Н10КЛ

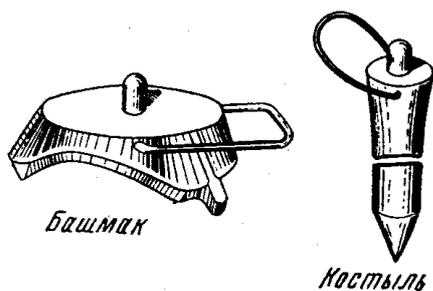
Вычисляют правильный отсчет в мм со станции 2 по черной стороне дальней рейки $З_2^{\text{пр}} = З_2 + (0,20 \times i'')$. Устанавливают на этот отсчет вертикальным исправительным винтом среднюю нить сетки нитей. Чтобы получить доступ к сетке нитей, откручивают винтовое кольцо вблизи окуляра и снимают защитную крышку.

Исправление для нивелиров с уровнями НЗ, НВ1

Правильный отсчет вычисляют по той же формуле, также со станции 2 устанавливают полученное значение по черной стороне дальней рейки. Установку производят элевационным винтом. При этом уходит из нуля пузырька цилиндрического уровня. Приводят пузырёк в нульпункт вертикально расположенными исправительными винтами цилиндрического уровня. Для доступа к винтам отводят в сторону защитную крышку на коробке цилиндрического уровня.

7.4. Нивелирование 4 класса

Метод геометрического нивелирования (горизонтальным визирным лучом) имеет несколько классов точности: 1, 2, 3, 4 классы и техническое нивелирование. Каждый класс точности характеризуется своей методикой



работы на станции и допусками. Для каждого класса применяют соответствующие нивелиры и нивелирные рейки. Рейки при нивелировании устанавливают на костыли или башмаки.

Нивелирование 4 класса прокладывается как высотная опорная сеть. В городах и населенных пунктах при крупномасштабных съемках нивелированием 4 класса может создаваться высотное съемочное обоснование

Для производства нивелирования применяют нивелиры НЗ, НЗК, НЗКП и нивелирные рейки РН-3000С и РН-3000СП.

Нивелирование выполняют в одном направлении. Отсчеты берутся по средней и одной дальномерной нитям по черной стороне рейки. По красной стороне отсчитывают только по средней нити. В таблице представлена страница журнала нивелирования 4 класса с указанием последовательности

взятия отсчетов на станции, дан пример обработки журнала и постраничный контроль.

Образец записи в журнале нивелирования 4 класса

Ход: от грунт. реп. 606 до грунт. реп. 217

Начало: 7 ч 10 мин

Конец: 7 ч 30 мин

Погода: ясно, слабый ветер

№ станций № реек	Дально- мерные расстояния	Отсчеты по рей- кам		Превыше- ние, мм	Среднее превыше- ние, мм
		задняя	перед- няя		
1 гр.реп.606 –	75,0(7) 74,4(8)	1185(1) 1560(2) 6247(6) 4687(9)	1058(3) 1430(4) 6217(5) 4787(10))	+130(11) +30(12) –100(14)	+130(13)
$\frac{2}{1-2}$	52,0 52,6	1005 1265 6052 4787	1209 1472 6159 4687	–207 –107 +100	–207
$\frac{3}{2-3}$	62,2 62,6	0617 0928 5615 4687	0798 1111 5898 4787	–183 –283 –100	–183
$\frac{4}{3-4}$	53,4 53,2	0704 0971 5758 4787	1003 1269 5958 4689	–298 –200 +98	–299
$\frac{5}{4-5}$	38,0 38,2	0657 0847 5534 4687	0894 1085 5872 4787	–238 –338 –100	–238
6 5 – гр.реп.21	70,0 69,6	0874 1224 6011 4787	0810 1158 5843 4685	+66 +168 +102	+67
Постранич- ные суммы	701,2(21)	42012(1 5) – <u>43472(1 6)</u> –1460(1 9)	43472(1 6)	–1460(17) –730(20)	–730(18)

Последовательность наблюдений на станции:

1. Устанавливают нивелир между рейками, определяя середину шагами или на глаз.

2. Не закрепляя штатив и установив трубу нивелира приблизительно в горизонтальное положение, определяют по нитяному дальномеру приближенные значения длин плеч и при необходимости перемещают нивелир в нужную сторону.

3. Прочно устанавливают штатив и приводят нивелир в рабочее положение по установочному уровню.

4. Наводят трубу на черную сторону задней рейки, приводят пузырек контактного уровня в нульпункт элевационным винтом и берут отсчеты по верхней и средней нитям.

5. Наводят трубу на черную сторону передней рейки и, повторяя действия, берут отсчеты по верхней и средней нитям.

6. Поворачивают переднюю рейку красной стороной и берут отсчеты по средней нити.

7. Наводят трубу на красную сторону задней рейки и берут отсчет по средней нити.

При работе с нивелиром, имеющим компенсатор, порядок действий и взятия отсчетов по нитям сохраняют, кроме совмещения изображений долей пузырька контактного уровня.

При нивелировании 4 класса допускается длина луча визирования (плеча) 100 м. Для нивелиров с увеличением трубы более 30^{\times} разрешают плечо 150 м. Неравенство плеч разрешается до 5 м и накопление неравенства в секции или ходе с одним знаком – не более 10 м. Высота луча визирования над поверхностью почвы должна быть не менее 0,2 м. Во время наблюдений нивелир защищают от солнечных лучей при помощи топографического зонта. Рейки устанавливают отвесно по уровню или отвесу на костыли, башмаки или деревянные колья.

Расхождение значений превышений на станции, полученных по черным и красным сторонам реек, допустимо не более 5 мм. По окончании полевых работ необходимо **в обязательном порядке** выполнить постраничный контроль.

Для этого на каждой странице полевого журнала:

- находят сумму задних и передних плеч;
- складывают вместе отсчеты по средним нитям задних реек по черной и красной сторонам;
- складывают вместе отсчеты по средним нитям передних реек по черной и красной сторонам;
- суммируют превышения, вычисленные по черной и красной сторонам реек;
- выписывают сумму средних превышений по странице.

В итоге должно получиться следующее равенство:

$$\sum Z - \sum П = \sum h = 2\sum h_{\text{ср}}.$$

Следует помнить, что если на странице журнала записано нечетное количество станций, то в указанном выше равенстве, в последней его части, должна быть учтена величина пяточной разности (чаще всего 100 мм). Также в этой части равенства может быть несоответствие на 1 мм из-за округления среднего значения превышения. По окончании постраничного контроля вычисляют суммы превышений по ходу в целом. Вычисляют невязку по известной формуле для разомкнутых ходов, которая не должна превышать $\pm 20\text{мм}\sqrt{L}$.

7.5. Техническое нивелирование

Техническое нивелирование применяют для построения высотного съемочного обоснования, а также для вертикальной съемки при застройке городских территорий, съемке линейных коммуникаций и решении других геодезических инженерно-технических задач. Для этих целей применяют нивелиры Н-3, Н-3К, Н-10КЛ, Н-10КП и рейки РН-4000-С, РН-3000-СП.

Расстояния от нивелира до реек разрешаются от 120 м до 200 м при благоприятных условиях; равенство плеч устанавливают шагами; расхождение превышений на станции с учетом пяточной разности не должно превышать 5 мм.

Отсчеты по рейкам производят в следующем порядке:

1. Отсчеты по верхней и нижней нитям по черной стороне задней рейки для определения расстояний (обычно подсчитывают число делений между нитями). Отсчеты не записывают. В полевом журнале фиксируют расстояние (длину плеча).

2. Отсчеты по средней нити по черной стороне задней рейки.

3. Отсчет по средней нити по красной стороне задней рейки.

4. Наведение на переднюю рейку и определение расстояния по нитяному дальномеру.

5. Отсчет по средней нити по черной стороне передней рейки.

6. Отсчет по средней нити по красной стороне передней рейки.

Образец страницы журнала технического нивелирования представлен в таблице. Постраничный контроль выполняется так же, как и при нивелировании 4 класса. Допустимую невязку выполняют по формуле $f_h^{\text{доп}} = \pm 50\text{мм}\sqrt{L}$. Если число станций n на 1 км хода более 10, то $f_h^{\text{доп}} = \pm 20\text{мм}\sqrt{n}$.

Журнал технического нивелирования

Дата: 10 июня 2001 г.

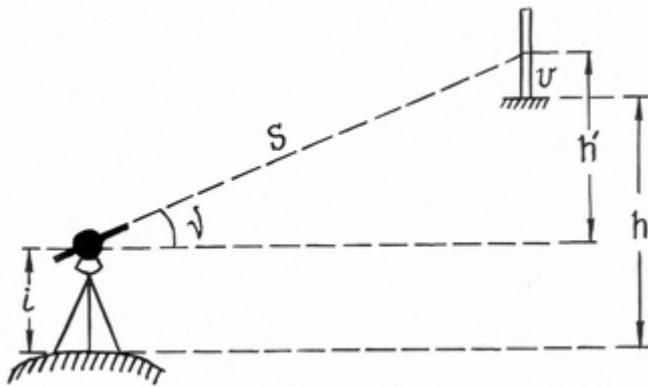
Погода: пасмурно

Ход: от грунтового репера 12 до грунтового репера 23, длина хода $L = 1$ км

№ станции № нивелируемых точек	Отсчеты по рейкам, мм		Превышения, мм	
	задней	передней	наблюденные	средние
1 <u> </u> реп12 – 1	1449(1) 6136(2) 4687(5)	1319(3) 6108(4) 4789(6)	+130(7) +28(8) +102(9)	+129(10)
2 <u> </u> 1 – 2	1154 5941 4787	1360 6048 4688	-206 -107 -99	-206
3 <u> </u> 2 – 3	0817 5504 4687	2000 6785 4785	-1183 -1281 +98	-1182
4 <u> </u> 3 – 4	0884 5670 4786	2891 7580 4689	-2007 -1910 -97	-2008
5 <u> </u> 4 – 5	0860 5547 4687	1158 5946 4788	-298 -399 +101	-298
6 <u> </u> 5 – реп23	1813 6600 4787	0884 5573 4689	+929 +1027 -98	+928
Постраничный контроль	42375(11) – <u>47652</u> -5277(15) -2638	47652(12)	+2114(13) -7391 -5277 -2638	+1057(14) -3694 -2637

Полученная сумма превышений $\sum h_{\Pi} = -2637$ Теоретическая сумма превышений $\sum h_{\Gamma} = H_{\text{рп}23} - H_{\text{рп}12} = -2627$ Полученная невязка по ходу $\sum h_{\Pi} - \sum h_{\Gamma} = -10$ ммДопустимая невязка по ходу $f_h^{\text{доп}} = \pm 50\sqrt{L} = 50$ мм**7.6. Тригонометрическое нивелирование**

Тригонометрическим называют нивелирование наклонным визирным лучом теодолита и вспомогательной рейки. При этом определение превышений выполняют по формулам тригонометрии.



На рисунке показаны измеренные элементы тригонометрического нивелирования: v – угол наклона; S – наклонное расстояние; v – высота визирования; i – высота инструмента (теодолита). Определемым элементом является превышение h .

В соответствии с рисунком можем записать:

$$h' = S \sin v \text{ и } h = S \sin v + i - v.$$

В зависимости от точности измерений v , S , i , v различают тригонометрическое нивелирование малой точности, средней точности и высокоточное. Если измеряемыми элементами являются зенитное расстояние Z , высоты инструмента и наведения i и v , а вместо наклонного расстояния S берут горизонтальное проложение D , то такое нивелирование называют **геодезическим**. Для геодезического нивелирования характерны большие расстояния (до десятка километров). Значения D получают из решения треугольников на плоскости в триангуляции.

Тригонометрическое нивелирование малой точности применяют для определения превышений при тахеометрической съемке и высотных тахеометрических ходах. Углы наклона v или зенитные расстояния Z измеряют с погрешностью $30''$. Расстояние S определяют по нитяному дальномеру и вертикальной рейке с погрешностью $1:300$. Высоту инструмента и высоту наведения измеряют с погрешностью ± 1 см. В высотных ходах расстояния могут измеряться лентой, рулеткой или оптическими дальномерами с относительной погрешностью от $1:1000$ до $1:5000$.

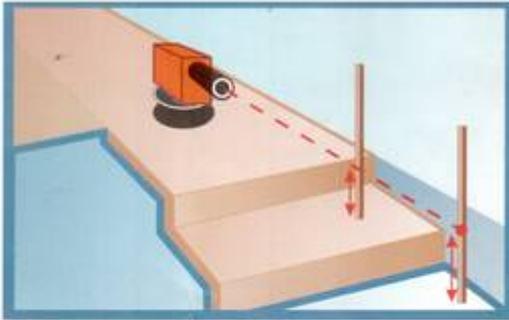
В ходах превышения определяются в прямом и обратном направлениях. Расхождение превышений допускается не более 4 см на 100 м расстояния. Невязка в замкнутых и разомкнутых ходах (выражается в см) не должна превышать $f = 0,04 S_{\text{ср}} \sqrt{n}$, где $S_{\text{ср}} = \frac{\sum S}{n}$; n – число линий в ходе; S – длина линий, берется в м.

Если известно горизонтальное проложение D и зенитное расстояние Z , то формула тригонометрического нивелирования принимает вид

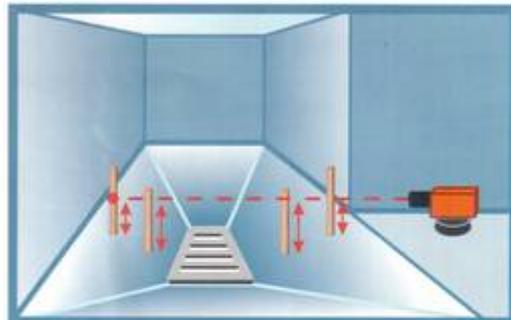
$$\left. \begin{aligned} h &= D \operatorname{tg} v + i - v \quad \text{или} \\ h &= D \operatorname{ctg} Z + i - v \end{aligned} \right\}$$

На рисунках ниже представлены варианты использования лазерного нивелира в практической деятельности при строительстве.

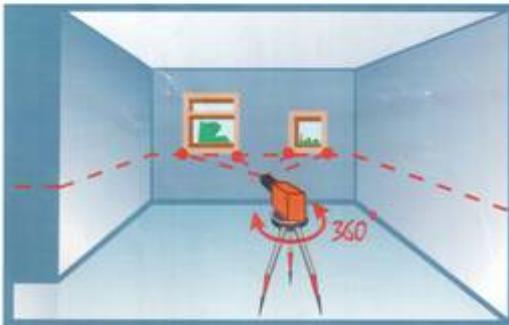
Примеры использования лазерного нивелира



Проверка высоты ступеней



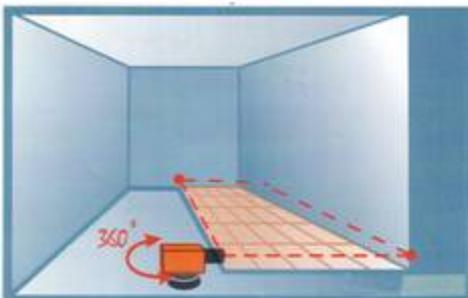
Проверка наклона пола, настила



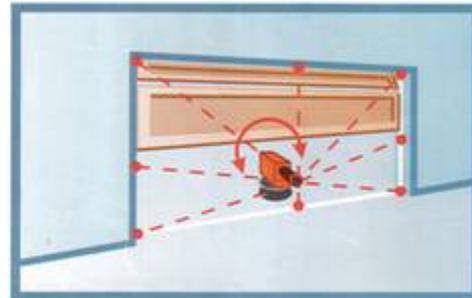
Установка оконных проемов на одной высоте



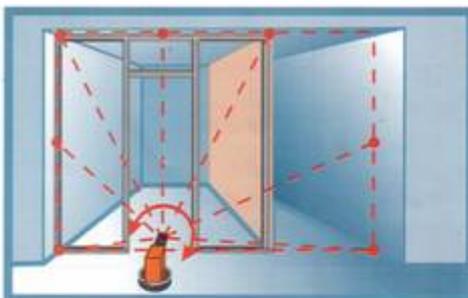
Проверка равновысотности на большом расстоянии



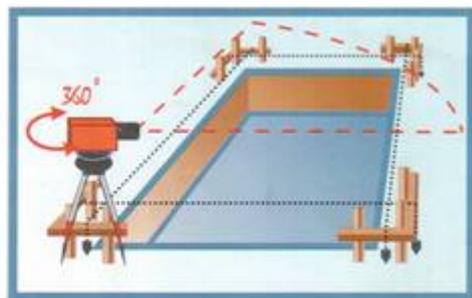
Разметка при облицовке пола, стен плиткой



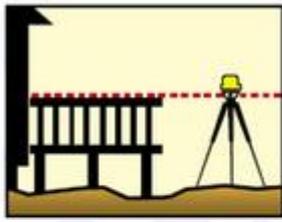
Встраивание дверей, ворот, окон



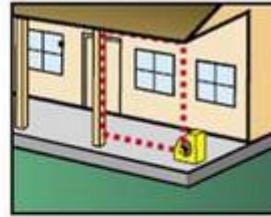
Установка под прямым углом и вертикально стен, перегородок



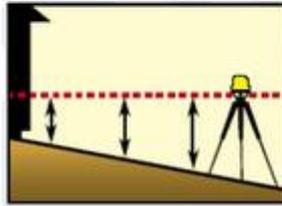
Разметка ям под фундамент и нивелирование



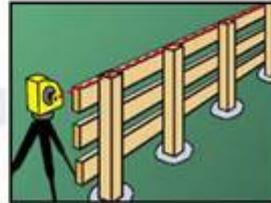
Уровень



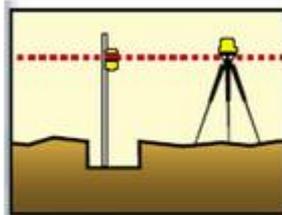
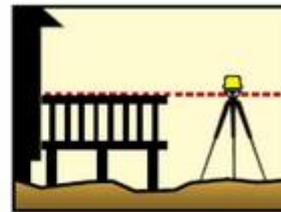
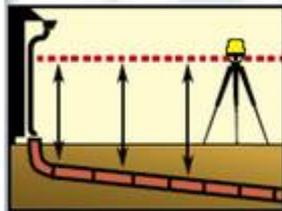
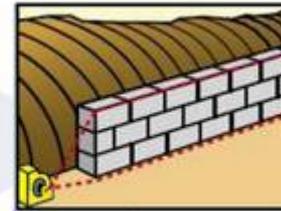
Отвес



Поверхность

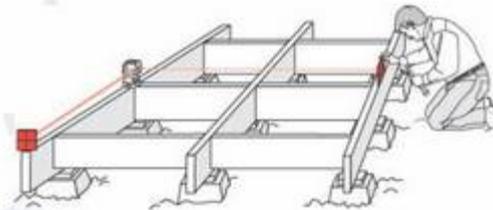
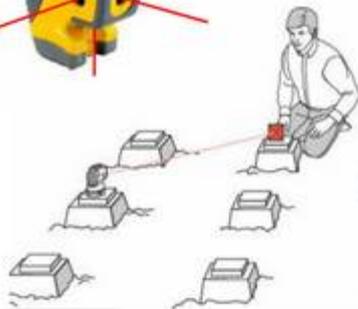


Линии

Земляные
работыПлощадки и
террасыДренажные
системы

Здания

Нивелировка с лазерными отвесами



Тема 8. Основные виды геодезических работ при строительстве автомобильных дорог

8.1. Роль инженерной геодезии в строительстве

Инженерная геодезия связана со всеми процессами строительства зданий и сооружений, все виды геодезических работ можно разделить на следующие этапы:

1. Инженерные изыскания:

- гидрологические изыскания;
- геологические изыскания;
- геодезические изыскания;
- крупномасштабные съемки;
- трассирование линейных сооружений;
- создание съемочного обоснования.



Инженерные изыскания – комплекс работ, проводимых для получения сведений, необходимых для выбора экономически целесообразного и технически обоснованного местоположения сооружения, для решения основных вопросов, связанных с проектированием, строительством и эксплуатацией сооружений.

В процессе инженерно-геодезических изысканий изучению и съемки подлежат ситуация и рельеф на территории предполагаемого строительства, в результате чего получают крупномасштабные планы, необходимые для проектирования.

В состав топографо-геодезических работ входят:

- построение государственной геодезической сети;
- создание планово-высотного съемочного обоснования;
- топографическая съемка;
- построение крупномасштабных планов для снятого участка.

Линейные изыскания имеют ряд особенностей и отличаются в отдельных случаях большой сложностью. Поэтому изыскания при проектировании и строительстве железных и автомобильных дорог, каналов, трубопроводов, линий электропередачи, линий электросвязи и т.д. выделяют отдельно.

2. Инженерно-геодезическое проектирование – комплекс работ, проводимый для получения данных, необходимых для размещения сооружения в плане и по высоте. Оно включает:

- размещение объекта строительства по площади и по высоте;
- ориентирование основных осей сооружения;
- проектирование рельефа;
- вычисления объемов земляных работ;

- выполнение расчетов, связанных с составлением проекта сооружений линейного типа (включая расчет горизонтальных и вертикальных кривых, составление продольного профиля будущей трассы);
- выполнение расчетов, необходимых для перенесения проекта в натуру;
- составления разбивочных чертежей, схем и т.д.

Строительство сооружений производится только по чертежам, разработанным в проекте. **Проект** представляет собой комплекс технических документов, содержащих технико-экономическое обоснование, расчеты, чертежи, пояснительные записки и другие материалы, необходимые для строительства.

Топографической основой при проектировании являются крупномасштабные планы 1:5000 – 1:500, выполненные на стадии изысканий.

Указания по составу, точности, методам, объемам, срокам и порядку геодезических работ на строительной площадке приводятся в проекте организаций строительства (ПОС), проекте производства работ (ППР) и проекте производства геодезических работ (ППГР), которые являются составными частями общего проекта.

В задачу геодезической подготовки проекта входит увязка между собой отдельно расположенных на стройплощадке сооружений и обеспечение их разбивки на местности с заданной точностью. Геодезические расчеты при подготовке проектов состоят в нахождении координат и отметок точек сооружения, определяющих его положение на местности и разбивочных элементов для выноса сооружения в плане и по высоте.

Проект вертикальной планировки обеспечивает преобразование существующего рельефа застраиваемой территории при размещении зданий, сооружений, подземных коммуникаций, высотное решение площадей, улиц, внутриквартальной территории и отвод поверхностных вод при минимальном перемещении земляных масс.

Основными документами проекта вертикальной планировки являются план организации рельефа и картограмма земляных работ, которые составляются на основе топографического плана, рабочих чертежей поперечных профилей улиц и проездов.

Исходной базой, на которой разрабатываются на практике принципы проектирования геодезических работ на строительной площадке, является ПОС (проект организации строительства) и ППР (проект производства работ). Как ПОС, так и ППР содержит геодезическую часть. В этой части рассматриваются:

- состав, объем, сроки и последовательность выполнения работ по созданию разбивочной и высотной основы;
- состав, объем, сроки и последовательность выполнения разбивочных работ на период строительства;
- необходимая точность, приборы и методы выполнения работ.

3. Проект производства геодезических работ (ППГР) содержит следующие разделы:

1. Организация геодезических работ на строительной площадке.

В этом разделе рассматриваются вопросы согласования схемы производства геодезических работ и календарные планы выполнения измерений, производимые геодезическими группами.

2. Основные геодезические работы. Раздел содержит схемы построения плановой и высотной геодезической основы на строительной площадке, расчеты необходимой точности геодезических измерений, схемы и способы построения разбивочной сети, типы знаков, реперов и марок, разбивка главных и основных осей.

3. Схема переноса главных и основных осей зданий и сооружений от исходной планово-высотной основы с расчетом точности выноса и методики выполнения работ, схемой размещения осевых знаков, а также детальные разбивочные геодезические работы.

4. Геодезическое обеспечение подземной части сооружения при устройстве фундаментов, разрабатывается методика детальной разбивки под монтаж конструкций, выполнение исполнительной съемки.

5. Геодезическое обеспечение при возведении надземной части сооружений. Включает методику создания и расчеты необходимой точности измерений элементов плановой и высотной геодезической основы на исходном горизонте, выбор и обоснование методов передачи осей и высотных отметок на монтажные горизонты, исполнительная съемка.

6. Проект измерения деформаций сооружений геодезическими методами. Рассматривают необходимую точность измерений, перечень приборов и методики измерений, периодичность измерений и методы обработки результатов.

4. Разбивочные работы

- разбивочные сети
- основные разбивочные работы
- детальная разбивка сооружений по этапам строительства.

Геодезические разбивочные работы являются составной частью строительно-монтажного производства. Различают плановую и высотную разбивки сооружений, в которые входят основные и детальные разбивочные работы.

Основные разбивочные работы заключаются в определении на местности положения главных осей и строительного поля инженерного сооружения. Они переносятся в натуру от пунктов плановой и высотной геодезической основы, построенной в районе возводимого сооружения.

Детальные разбивочные работы состоят в определении планового и высотного положения тех или иных частей инженерного сооружения, которые задают его геометрические контуры. Детальные разбивочные работы выполняются, как правило, от ранее перенесенных в натуру главных осей

сооружения путем разбивки основных и вспомогательных осей, а также характерных точек и контурных линий, определяющих положение всех деталей сооружения.

Работы, связанные с разбивкой сооружений, представляют собой действия, обратные съемке и характеризуются более высокой точностью их выполнения. Если при съемке контура здания допущена ошибка 10 см, то при нанесении контура на план масштаба 1:2000 она уменьшается до 0,05 мм, что невозможно выразить в таком масштабе.

Если же при снятии длины отрезка с проекта, составленного в масштабе 1:2000 будет допущена ошибка 0,1 мм (предел графической точности масштаба), то на местности размер ошибки выразится в 200 мм, что часто может быть недопустимо при выполнении разбивочных работ.

Строительные допуски на смещение осей, отклонений от проектных отметок составляют в основном 2–5 мм. Поэтому, размеры и положение точки на плане получают аналитическим путем, а для снятия координат используют планы масштаба 1:500.

В состав разбивочных работ входит:

1. Построение разбивочной основы в виде триангуляции, полигонометрии, трилатерации, строительной сетки, линейно-угловых построений. Геодезическая разбивочная основа служит для построения внешней разбивочной сети и производства исполнительной съемки.

2. Вынос в натуру главных или основных осей зданий (создание внешней разбивочной основы) и проектных отметок. Внешняя разбивочная основа является базисом для выполнения детальных разбивочных работ.

3. Детальные разбивочные работы на стадии отрывки котлована, разбивки коммуникаций, устройства фундаментов, передачи отметок и осей на дно котлована, возведении надземной части здания.

Основными элементами разбивочных работ являются вынос в натуру проектного угла, проектного расстояния, проектного уклона и проектной отметки.

В зависимости от вида сооружения, условий измерений и требований к точности его построения разбивочные работы могут выполняться полярным или способом прямоугольных координат, угловой, линейной или створной засечками и другими методами.

5. Выверка конструкций и технологического оборудования

- в плане;
- по высоте;
- по вертикали.

Наиболее важными геодезическими характеристиками, подлежащими определению, являются прямолинейность, горизонтальность, вертикальность, параллельность, наклонность и т.д. Сочетание этих характеристик позволяет определить плановое и высотное положение различных элементов.

По мере ведения строительства для определения планового и высотного положения отдельных элементов выполняют комплекс геодезических работ, который называют исполнительной съемкой. Точность, принятая при исполнительной съемке, должна быть не ниже точности разбивочных работ.

6. Наблюдение за деформациями зданий и сооружений

- оседание оснований и фундаментов
- горизонтальное смещение
- крен сооружений башенного типа.

Деформацией сооружений называют изменение относительного положения всего сооружения или отдельных его частей, связанное с пространственным перемещением или изменением его формы.

Деформации сооружений проявляются в виде прогибов, кручения, крена, сдвига, перекосов и т.д. В общем случае деформацию сооружений можно свести к двум наиболее простым смещениям сооружения – сдвигу в горизонтальной и осадке в вертикальной плоскостях.

Деформации сооружений возникают из-за неравномерной осадки сооружения, вызванной усадкой грунта, а также недостаточной прочностью конструкций. Для своевременного предупреждения аварий и для более детального изучения причин нарушения эксплуатационных качеств сооружений, проводят систематические наблюдения за деформациями их конструкций. С этой целью в конструкции сооружений закладывают специальные осадочные марки и периодически высокоточными геодезическими методами определяют их отметки.

В процессе инженерной деятельности в строительстве геодезисты руководствуются нормативными документами, в частности:

Документ	Название документа
СНиП 11–02–96	Инженерные изыскания для строительства. Основные положения
СП 11–104–97 Ч. I	Инженерно-геодезические изыскания для строительства
СП 11–104–97 Ч. II	Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Выполнение съемки подземных коммуникаций при инженерно-геодезических изысканиях для строительства
СП 11–104–97 Ч. III	Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Инженерно-гидрографические работы при инженерно-геодезических изысканиях для строительства.
ВСН 208–89	Инженерно-геодезические изыскания железных и автомобильных дорог
ГОСТ Р 51872–2002	Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения.

Документ	Название документа
МДС 11–5.99	Методические рекомендации по проведению экспертизы материалов инженерных изысканий для технико-экономических обоснований (проектов, рабочих проектов) строительства объектов
ГКИНП 17–002–93	Инструкция о порядке осуществления государственного геодезического надзора в Российской Федерации
ГКИНП (ГНТА)–17–004–99	Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ
ГКИНП (ОНТА)–02–262–02	Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS
ГКИНП (ОНТА)–01–271–03	Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS
ГКИНП–02–033–79	Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500

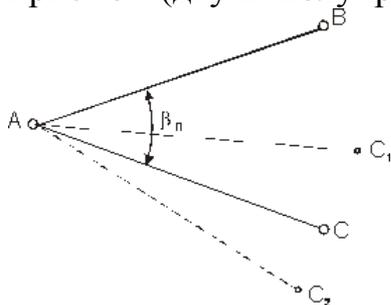
8.2. Основные методы разбивки сооружений

Основными элементами разбивочных работ являются вынесение на местность:

1. проектного направления линии или проектного угла,
2. проектной линии заданной длины,
3. планово-высотного положения проектной точки,
4. линии заданного уклона
5. проектной плоскости.
6. построение створа
7. построение отвесной плоскости

Работы выполняются с контролем, тщательно проверенными и отъюстированными приборами и специальными устройствами.

Проектные углы выносятся на местность теодолитом одним полным приемом (двумя полуприемами)



При построении на местности закреплена вершина угла A и задана одна его сторона AB . Теодолит устанавливают над точкой A , визируют на точку B и берут отсчет b по горизонтальному кругу. Предвычисляют отсчет $c = b + \beta n$ (если угол βn строят против часовой стрелки, то $c = b - \beta n$). Открепив алидаду, отсчет c устанавливают на го-

ризонгальном круге и по центру сетки нитей трубы фиксируют точку C_1 . Аналогично строят угол βn при другом положении вертикального круга и фиксируют точку C_2 . Отрезок $C_1 C_2$ делят пополам и фиксируют точку C . Угол BAC принимают за проектный.

На точность построения угла кроме основных факторов, влияет погрешность фиксации точки C . Таким образом, общую погрешность построения угла можно вычислить по формуле:

$$m_{\beta} = \sqrt{2m_{\beta}^2 + 2m_o^2 + m_{\text{ц}}^2 + m_p^2 + m_{\phi}^2},$$

где m_{β} , m_o , $m_{\text{ц}}$, m_p , m_{ϕ} – средние квадратические погрешности (скп) соответственно визирования, отсчета по горизонтальному кругу, центрирования теодолита над вершиной угла, редукции визирной цели (установки визирной цели в точке B), фиксации точки C .

Условия обеспечения точности построения углов приведены в СНиПе 3.01.03–84. Например, для построения угла с скп $m_{\beta} = \pm 30''$ можно применить теодолит типа Т30, центрировать его оптическим или нитяным отвесом, точку C фиксировать карандашом на поверхности бетона.

Перенесение на местность длины проектной линии производят в зависимости от требуемой точности светодальномером, оптическим дальномером, нитяным дальномером, стальной лентой или рулеткой.



От начальной точки A в заданном направлении откладывают стальным мерным прибором расстояние, равное проектной длине d_n и временно фиксируют конечную точку B_1 . Процесс откладывания расстояния аналогичен его измерению. Определяют нивелированием превышение h между точками A и B_1 и измеряют температуру t прибора (если измерить ее невозможно, измеряют температуру воздуха).

Вычисляют поправки в длину линии:

- за компарирование dk ,
- за температурное влияние dt ,
- за наклон линии dh .

Вычисляют суммарную поправку по формуле: $d = dk + dt + dh$ и вводят ее с обратным знаком в линию AB_1 . Если поправка с минусом, то линию AB_1 удлиняют на отрезок d и фиксируют точку B (если с плюсом – линию укорачивают.) На точность построения проектного отрезка, кроме основных факторов, влияет также точность фиксации точек B_1 и B .

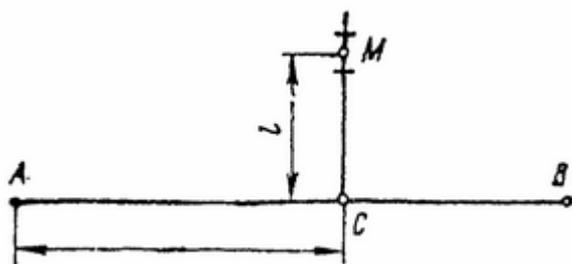
Построение линий с повышенной точностью выполняют светодальномерами. Условия обеспечения точности построения проектных отрезков содержатся в приложении 2 СНиП 3.01.03–84. Например, построение про-

ектного отрезка с относительной погрешностью $1/3000 - 1/2000$ можно выполнить стальной рулеткой типа ОПКЗ–20 АНТ/10 с уложением ее в створ «на глаз». Для определения поправок, превышение h концов отрезка может быть оценено глазомерно, температура измерена термометром с погрешностью не более 5°C , средняя квадратическая погрешность компарирования рулетки – не более 1,5 мм, фиксация концов рулетки и конечной точки отрезка производится карандашом.

Определение на местности плано-высотного положения проектной точки. Рассмотрим эту задачу по частям: определение планового и определение высотного положения точки.

Определение на местности планового положения точки производится способами прямоугольных, полярных, биполярных координат и створов.

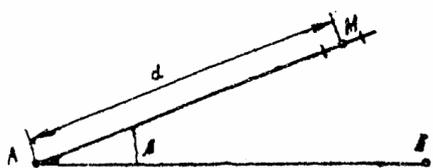
Способ прямоугольных координат (перпендикуляров) применяется для определения планового положения проектной точки, расположенной вблизи опорной линии.



Последовательность работ: от исходной точки A вдоль опорной линии AB (принимаемой за ось абсцисс) откладывают проектное расстояние b и получают основание перпендикуляра – точку C ; в полученной точке восстанавливают перпендикуляр. По этому перпендикуляру,

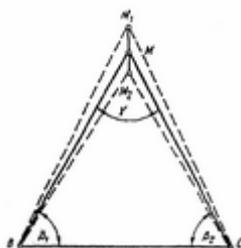
принимаемому за ось ординат, откладывают проектное расстояние l и получают положение проектной точки M .

Способ полярных координат применяют для определения планового положения точек, удаленных на значительное расстояние от опорных линий.



Последовательность работ: в точке A откладывают проектный угол β , а на полученном направлении AM откладывают проектное расстояние d и получают плано-вое положение проектной точки M .

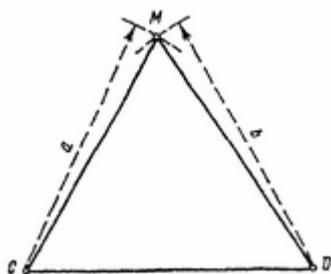
Способ угловой засечки выгодно применять для определения плано-вого положения проектных точек, удаленных на значительное расстояние от опорных точек или расположенных за естественными препятствиями.



Последовательность работ: в опорных точках B и C одновременно двумя теодолитами строят проектные углы β_1 и β_2 , в пересечении направлений линий визирования – в точке M – ставят веху. Это и будет плано-вое положение проектной точки M .

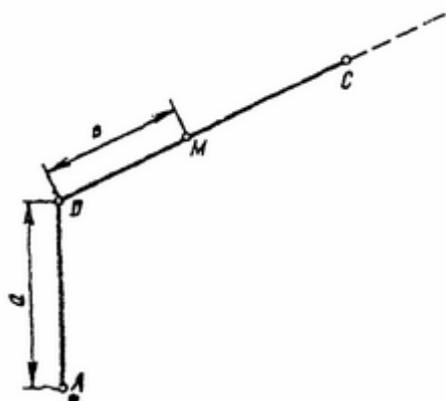
Засечка считается надежной, если $30^\circ \leq \gamma \leq 150^\circ$.

Способ линейной засечки



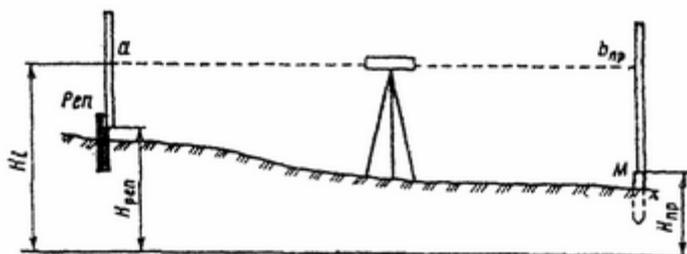
От опорных точек C и D одновременно откладывают (с помощью стальных лент, мерного троса, рулеток) проектные расстояния (радиусы) a и b . Пересечение радиусов определяет плановое положение проектной точки M . Работа производится дважды. Среднее положение точки M считается наиболее надежным.

Способ створов



Последовательность работ: от опорной точки A , откладывая проектное расстояние a , получают начальную точку D створа DC . От нее откладывают расстояние b и получают плановое положение проектной точки M .

Определение на местности высотного положения проектной точки производится методом нивелирования из середины. Для этого устанавливают нивелир в рабочее положение между репером (связующей точкой) и проектной точкой M , плановое положение которой известно. Производят отсчет a по рейке, установленной на репере, и вычисляют горизонт прибора $H_i = H_{рен} + a$. Определяют отсчет на проектную точку (разность между горизонтом прибора H_i и высотой проектной точки) $b_{np} = H_i - H_{np}$. В проектной точке M забивают кол так, чтобы отсчет по установленной на него рейке был равен вычисленному отсчету b_{np} .



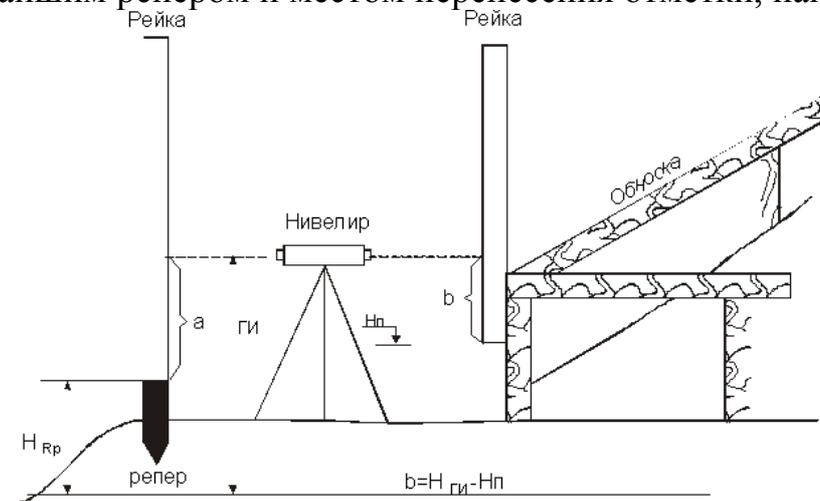
Допускается на крутых склонах высотное положение проектных точек определять при помощи тригонометрического нивелирования или методом ватерпасовки склона надлежащей точности.

В необходимых случаях разрешается обозначить высотное положение проектной точки горизонтальной чертой на стенах существующих зданий,

сооружений, на деревьях и пр.

Перенесение в натуру проектной отметки

Проектные отметки переносят в натуру, как правило, геометрическим нивелированием. Нивелир устанавливают примерно посередине между ближайшим репером и местом перенесения отметки, например, обноской.



Для этого берут отсчет a по рейке, установленной на репере. Вычисляют горизонт прибора $ГП$ по формуле $ГП = H_{Rp} + a$ и, вычтя из $ГП$ проектную отметку H_{Rp} , находят проектный отсчет b .

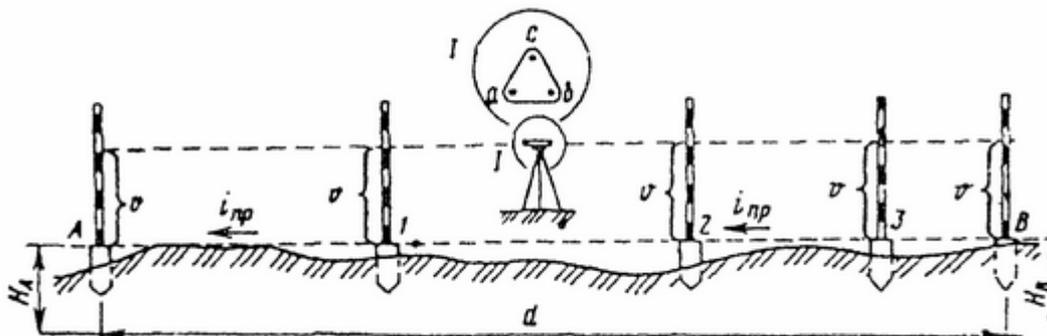
Далее, рейку устанавливают у стойки обноски и перемещают по вертикали до тех пор, пока горизонтальная нить сетки зрительной трубы не совпадет с отсчетом b . В этот момент реечник фиксирует отметку $H_{п}$, прочерчивая по пятке рейки риску на обноске.

Перенесение проектной отметки повторяют по красной стороне реек, также фиксируя риску на обноске отметку $H_{п}$. Если риски не совпадут, определяют среднее положение и маркируют его. На точность перенесения в натуру проектных отметок, кроме основных погрешностей, влияет погрешность фиксации отметки риской.

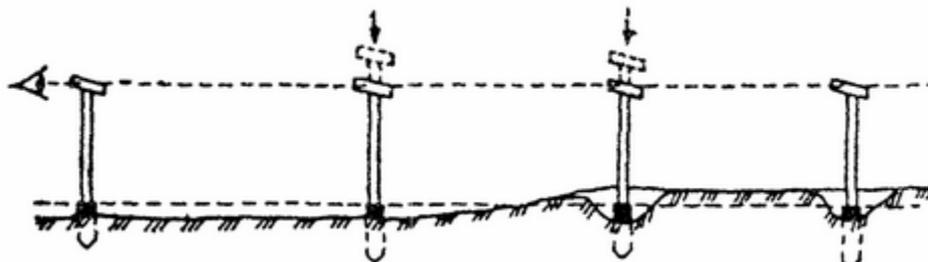
Условия обеспечения точности перенесения в натуру отметок содержатся в СНиП 3.01.03–84. Например, для перенесения отметок со средней квадратической погрешностью 2 - 3 мм можно применить нивелир типа НЗ и шашечные рейки типа РН–3. При этом, высота визирной линии над препятствием не должна быть меньше 0,2 м, а неравенство плеч на станции – 7 м. Проектные отметки можно переносить в натуру также и теодолитами с компенсатором Т15К, Т5К, 2Т5К, а также теодолитами с уровнем при трубе.

Перенесение на местность линии заданного уклона производится наклонным лучом геодезического прибора (нивелира, теодолита и т.п.). При работе нивелиром его устанавливают примерно в середине переносимой линии. По высоте H_A исходной точки A , расстоянию d и заданному уклону i_{np} вычисляют высоту точки B $H_B = H_A + d \cdot i_{np}$ и переносят ее на местность.

Наклоняют визирную ось зрительной трубы нивелира подъемными винтами a и b так, чтобы отсчеты по рейкам, установленным в точках A и B , были одинаковы (v). В точках 1, 2, 3 забивают колья так, чтобы отсчеты по установленным на них рейкам получились равными v .

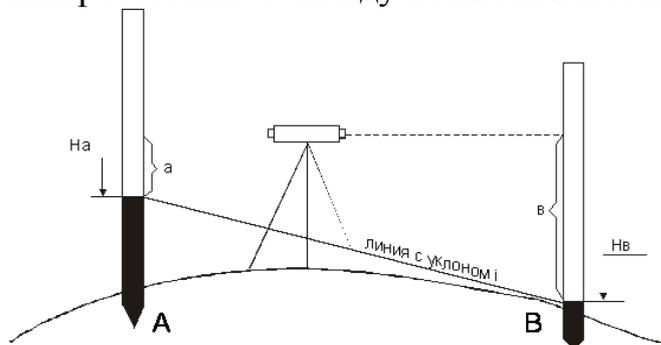


Для сгущения точек линии заданного уклона допускается использование визирок. В этом случае для разбивки положения этой линии по высоте между ее конечными точками A и B ставят ряд промежуточных 1, 2 и т.д. В соответствии с этим в точках A и B устанавливают визирки, а в точках 1, 2 забивают колья так, чтобы визирки, поставленные на них, оказались на уровне взгляда между визирками в точках A и B .



Построение на местности линий проектного уклона

Построение заключается в фиксировании на местности нескольких (минимум двух) точек, определяющих положение линии с проектным уклоном i . Может быть несколько случаев решения этой задачи, в каждом из них расстояние d между точками известно (или его надо измерить).



выносят в натуру.

1. Точка A с отметкой H_A закреплена. Вычисляют отметку точки B : $H_B = H_A + i \times d$ и выносят ее в натуру.

2. Точка A с проектной отметкой H_A не закреплена. Как и в предыдущем случае, вычисляют отметку H_B , затем точки A и B

Прибор устанавливают в одной из опорных точек, например в A , так, чтобы два подъемных винта располагались перпендикулярно к линии AB , а третий – на ней. Тогда, действуя третьим винтом, наклоняют трубу прибора до тех пор, пока отсчет по рейке, установленной в точке B , будет равным высоте прибора. Затем, направив трубу на точку C , поперечными наклонами прибора при помощи винтов 1 и 2 добиваются отсчета по рейке, равного высоте прибора. В связи с неточностью наклона прибора, эти операции повторяют еще 1–2 раза, т. е. выполняют последовательными приближениями.

В этом положении труба прибора описывает плоскость, параллельную заданной и отнесенную от нее на высоту прибора над исходными пунктами. Контроль осуществляется по четвертому пункту с заданной отметкой. Только после этого разрешается определять и закреплять промежуточные пункты в пределах площадки.

Построение створа

Створ – это направление, проходящее через две фиксированные точки и задаваемое каким-либо прибором (трубой теодолита, нивелира, биноклем, проволокой, струной и т. п.).

Основными погрешностями при построении створа являются:

- исходных пунктов m_u ;
- центрирования теодолита m_e ;
- редукции визирных марок m_{el} ;
- визирования зрительной трубой $m_{виз}$;
- изменения фокусировки зрительной трубы $m_{фок}$.

Общую погрешность, без учета погрешности фиксации створной точки, определяют по формуле

$$m = \sqrt{m_u^2 + m_e^2 + m_{el}^2 + m_{виз}^2 + m_{фок}^2}.$$

По характеру действия все эти погрешности являются поперечными. Погрешностями исходных пунктов являются погрешности в положении знаков, закрепляющих створ. Необходимость учитывать эти погрешности возникает при анализе взаимного размещения двух точек, принадлежащих разным створам, например, при разбивке осей сооружений от обноски.

Среднее влияние погрешностей центрирования и редукции на положение створной точки выражается зависимостью:

$$m_e = \frac{e}{\sqrt{2}} \cdot \frac{b-S}{b}; \quad m_{el} = \frac{e_1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{S}{b},$$

где e , e_1 – соответственно линейные элементы центрирования и редукции; b – длина створа; S – удаление створной точки от теодолита.

Визирными целями при фиксировании створа на строительной площадке служат шпильки, сварочные электроды, карандаши и т. п., обеспечивающие минимальные элементы редукции. В случае наблюдения верха вехи высотой 0,5–1,0 м, устанавливаемой в специальном треножнике,

обеспечивают ее вертикальность. При отсутствии ветра вместо вехи используют тяжелый нитяный отвес.

Погрешность визирования учитывает наблюдение марки, находящейся в конце створа, и цели, устанавливаемой в створ опорной линии или на ее продолжении. Поэтому совместное влияние этих двух факторов будет

$$m_{\text{виз}} = \frac{30'' \cdot \sqrt{2}}{v \cdot \rho},$$

определяться по формуле:

где $30''$ – средняя разрешающая способность невооруженного глаза (при хорошей видимости она составляет иногда $20''$, а при плохой – $40''$ и даже $60''$); v – увеличение трубы теодолита.

Погрешность фокусировки обусловлена необходимостью изменять фокусировку трубы при наведении на марку и на цель, находящихся на разных расстояниях.

Построение отвесной плоскости

Отвесная плоскость, чаще всего, применяется для контроля вертикальности стен, панелей и т. п., а также для передачи осей на рабочие горизонты сооружений. При этом используются способ коллимационной плоскости теодолита или приборы, механические и уровенные рейки-отвесы и лазерные приборы.

Для построения отвесной плоскости теодолит устанавливают на базовой линии и ориентируют по ней так, что при вращении зрительной трубы вокруг оси вращения ее визирная ось описывает отвесную плоскость. Точность построения плоскости зависит от систематических и случайных погрешностей процесса. Наиболее опасна здесь систематическая погрешность наклона оси вращения прибора, которая не исключается работой при двух положениях круга. С учетом случайных погрешностей погрешность проектирования точки отвесной плоскостью выражается зависимостью

$$m_n = \sqrt{m_{\text{ц}}^2 + m_{\text{нив}}^2 + m_{\text{виз}}^2 + m_{\text{фик}}^2}.$$

где $m_{\text{ц}}$, $m_{\text{нив}}$, $m_{\text{виз}}$, $m_{\text{фик}}$ – погрешности соответственно центрирования, нивелирования теодолита, визирования им и фиксации точки. Погрешность нивелирования выражается зависимостью $m_{\text{нив}} = ktH/\rho$, где $k=0.15-0.50$ – коэффициент; t – цена деления уровня при алидаде горизонтального круга; H – высота точки плоскости над базовой линией, $\rho = 206265''$.

Рейки с отвесом или уровнем применяются при контроле вертикальности панелей, блоков, невысоких колонн и других конструктивных элементов зданий и сооружений.

Построение отвесного направления

Отвесное направление используется для контроля вертикальности конструктивных элементов сооружений и передачи осей сооружений на рабочие горизонты. Для построения отвесного направления применяют способы:

- а) механический (нитяный отвес);

б) оптический в виде сечения двух вертикальных плоскостей, построенных при помощи теодолитов;

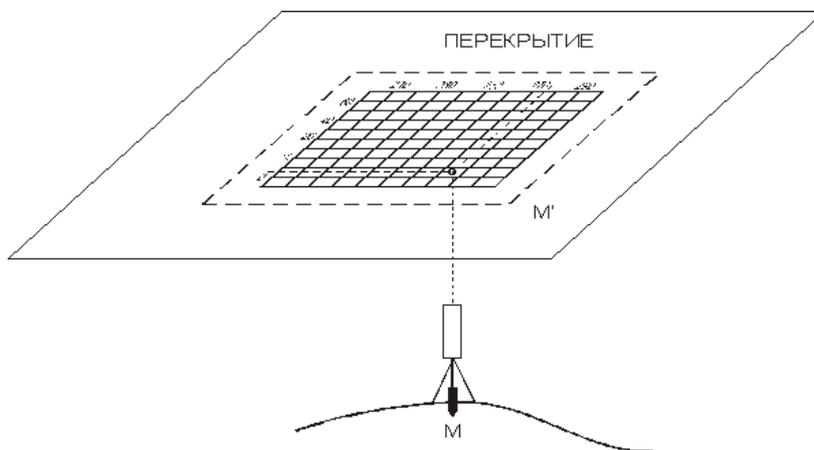
в) оптический с применением приборов вертикального визирования (зенитные, надирные и зенит-надирные центриры).

Механические способы

В качестве механического отвеса применяют стальную или капроновую нить диаметром 0,5–1 мм с грузом. Масса груза должна быть не более половины разрывного усилия нити. При проверке вертикальности колонн, панелей и других конструкций используется рейка-отвес с нитью, заключенной в трубку (для защиты от ветра), и рейка-уровень. Рейки снабжены консолью для подвешивания на панели, двумя или тремя упорами, которыми они прикладываются к поверхности конструкции. Ось уровня должна быть перпендикулярна к линии, соединяющей концы упоров. Для проверки уровня пользуются контрольной плоскостью.

При использовании механического отвеса для передачи осей на рабочие горизонты, отвес опускают с внешней стороны здания, в шахту лифта или специальные отверстия в перекрытии. В последнем случае по отвесу сверху вниз пропускают шайбы («почту») для проверки свободного подвеса. Точность механического отвеса при тихой погоде составляет 1–2 мм на 50 м высоты. Точность рейки-отвеса и рейки-уровня зависит от шероховатости поверхности и составляет 3–5 мм на этаж.

Оптические способы основаны на использовании приборов вертикального визирования типа *PZL* («Карл Цейс», Германия).



Для передачи координат пунктов на более высокий монтажный горизонт прибор центрируют над исходными пунктами и горизонтируют. На монтажном горизонте, куда передается точка, помещают координатную палетку (на оргстекле размером 150×150×5 мм), закрепленную в металлическом квадратном обрамлении зенитного отверстия, сделанного в перекрытии здания. Сетку нитей прибора ориентируют параллельно линиям сетки и по шкале палетки производят отсчеты a и b при 0° , 90° , 180° и 270° . Положению вертикали соответствуют средние отсчеты a и b по палетке.

Недостаток прибора *PZL* заключается в односторонней стабилизации вертикали и визировании в зенит. Поэтому, более совершенным является зенит-надирный зеркальный оптический отвес, снабженный двухсторонним компенсатором – горизонтальным двухсторонним зеркалом, подвешенным на кардане и выполняющим одновременно роль фокусирующей линзы.

8.3. Трассирование линейных сооружений

В строительстве различают объекты и сооружения двух типов: линейные и площадные. К сооружениям площадного типа относят сооружения, длина и ширина которых являются сопоставимыми.

К сооружениям линейного типа относятся сооружения, вытянутые в длину и занимающие на местности узкую полосу земли. К ним причисляют следующие виды объектов: железнодорожные и автомобильные дороги, искусственно созданные внутренние водные пути, трамвайные линии, линии электропередач и связи, трубопроводы, газопроводы, водопроводы. Ось проектируемого сооружения линейного типа, обозначенное на местности или нанесенное на карту, фотоплан или в виде цифровой модели местности называется **трассой**.

Трассирование (нем. *Trassieren*, от *Trasse* – направление линии, пути, дороги), проектирование направления и профиля трассы по топографической карте и непосредственно на открытой местности.

Трассирование – это комплекс инженерно-геодезических изысканий по выбору трассы согласно техническим и экономическим условиям. При этом стремятся к возможному спрямлению автомобильной трассы, её профиля и сокращению объёма работ по дорожному строительству. В тоже время следует учитывать препятствия, вызывающие отклонение линии от кратчайшего направления, характерные геологические и гидрологические особенности местности и др.

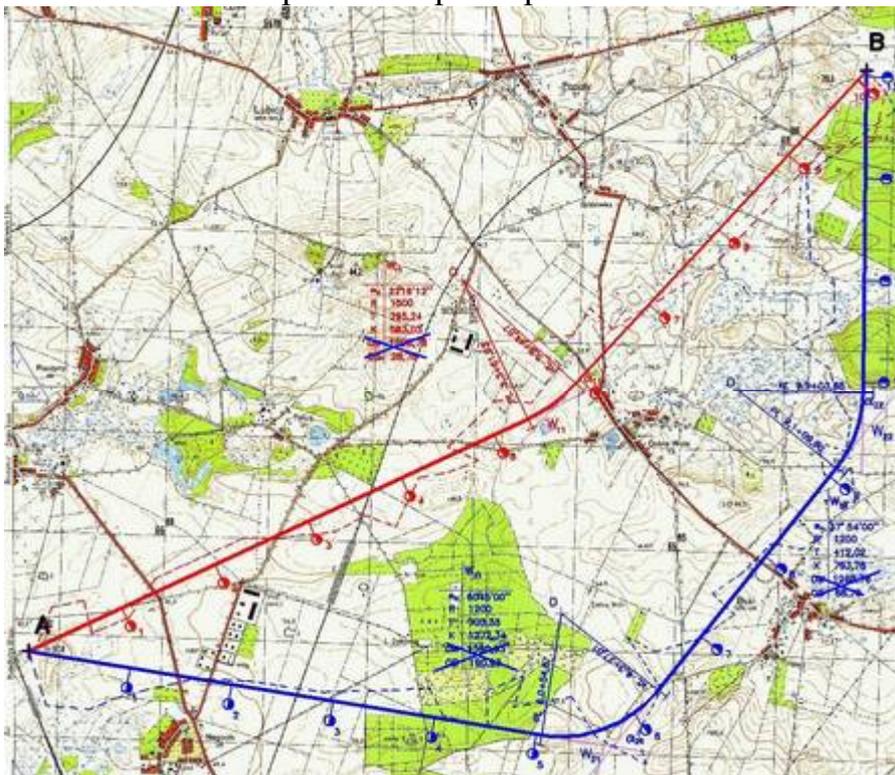
Результатом топографо-геодезических работ (трассирование линейных сооружений) является ситуационный план полосы трассы масштабов 1:5000 – 1:2000, инженерно-топографические планы пересечений и сложных участков трассы масштабов 1:1000 – 1:500, продольный и поперечные профили на пикетных и всех плюсовых точках.

После согласования и утверждения окончательного варианта трассы производится вынос оси трассы и горизонтальных кривых в натуру с закреплением углов поворота, створных точек, мостовых переходов и др.

Различают камеральное и полевое трассирование.

Камеральное трассирование выполняют обычно в масштабе 1:25 000, 1:50 000. Если трасса не помещается на одном листе карты, то сначала используют карту более мелкого масштаба, на которой вблизи прямой, соединяющей начало и конец трассы, выбирают опорные точки, через которые обязательно должна пройти дорога. Отрезки между опор-

ными точками должны помещаться на карте более крупного масштаба, на которой и выполняют камеральное трассирование.



В равнинной местности при уклонах меньше допустимых выполняют «свободное» проектирование, при котором направление и положение дороги зависит только от естественных и искусственных препятствий.

В горной и всхолмленной местности крутизна скатов превышает допустимые уклоны дороги, и в таких условиях трассу прокладывают «напряженным ходом», т. е. отыскивают такие ее направления, которые имеют предельно допустимый уклон. В результате получают извилистую трассу, которую на отдельных участках спрямляют, заменив ломаную линию на прямую. В горной местности для обеспечения допустимого уклона трассу прокладывают в виде серпантин и петель.

Кроме рельефа на выбор трассы (трассирования) влияют геологические, экологические другие условия. Построив с учетом всех условий трассу на карте, определяют координаты углов поворота, наносят пикеты, рассчитывают сопрягающие кривые, составляют продольный профиль по отметкам, определенным по горизонталям.

Полевое трассирование линейных сооружений начинают с рекогносцировки, при котором изучают состояние геодезической основы и полосы трассы, затем выполняют: вынос проекта в натуру, определение углов поворота, линейные измерения, разбивку пикетажа, установка вдоль трассы реперов и нивелирование от них трассы и поперечных профилей, привязка трассы к пунктам геодезической сети, съемки площадок, переходов, пересечений, обработка полевых материалов, составление плана трассы и продольного профиля, исполнительные съемки. Закрепление углов поворота

выполняют с условием их сохранности до начала строительства, кроме того, долговременными знаками закрепляют ряд других точек, таких как примыкание к существующим дорогам, места перехода через препятствие и др. На каждую закрепленную точку составляют абрис с указанием ее положения относительно долговременных местных предметов.

На застроенных участках промышленных предприятий и городов вместо полевого трассирования зачастую выполняется крупномасштабная топографическая съемка полосы по выбранной трассе с последующей камеральной укладкой трассы по материалам съемки в выбранной системе высот и координат.

8.4. Элементы автомобильной дороги

8.4.1. Общие сведения об автомобильной дороге

Автомобильная дорога – объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения транспортных средств и включающий в себя земельные участки в границах полосы отвода автомобильной дороги и расположенные на них или под ними конструктивные элементы (дорожное полотно, дорожное покрытие и подобные элементы) и дорожные сооружения, являющиеся ее технологической частью, защитные дорожные сооружения, искусственные дорожные сооружения, производственные объекты, элементы обустройства автомобильных дорог (№ 257–ФЗ от 8.11.2007 г.).

Полоса отвода автомобильной дороги – земельные участки (независимо от категории земель), которые предназначены для размещения конструктивных элементов автомобильной дороги, дорожных сооружений и на которых располагаются или могут располагаться объекты дорожного сервиса.

Категория дороги	Нормативная ширина полоса отвода, м
I	39
II	33
III	22
IV	19
V	18

Автомобильные дороги в зависимости от их значения подразделяются на:

- 1) автомобильные дороги федерального значения;
- 2) автомобильные дороги регионального или межмуниципального значения;
- 3) автомобильные дороги местного значения;
- 4) частные автомобильные дороги.

В зависимости от вида разрешенного использования выделяют автомобильные дороги общего пользования и необщего пользования. Автомобильные дороги общего пользования в зависимости от условий проезда по ним и доступа на них транспортных средств подразделяются на автомагистрали, скоростные автомобильные дороги и обычные автомобильные дороги.

Классификация автомобильных дорог и их отнесение к категориям автомобильных дорог (первой, второй, третьей, четвертой, пятой категориям) осуществляются в зависимости от транспортно-эксплуатационных характеристик и потребительских свойств автомобильных дорог в порядке, установленном Постановлением Правительства Российской Федерации от 28 сентября 2009 г. N 767 «О классификации автомобильных дорог в Российской Федерации»:

- для автомобильной дороги класса «автомагистраль» устанавливается IA категория;
- для автомобильной дороги класса «скоростная автомобильная дорога» устанавливается IB категория;
- для автомобильной дороги класса «обычная автомобильная дорога (нескоростная автомобильная дорога)» могут устанавливаться IV, III, II, I и V категории.

Автомобильные дороги по транспортно-эксплуатационным характеристикам и потребительским свойствам разделяют на категории в зависимости от: а) общего числа полос движения; б) ширины полосы движения; в) ширины обочины; г) наличия и ширины разделительной полосы; д) типа пересечения с автомобильной дорогой и доступа к автомобильной дороге.

Автомобильная дорога – это комплекс различных по назначению и конструктивным особенностям инженерных сооружений, предназначенных для безопасного движения автомобильного транспорта с расчетными скоростями и нагрузками. В состав комплекса сооружений автомобильных дорог входят:

- развязки движения в разных уровнях, включающие в себя путепроводы и эстакады;
- мостовые переходы, включающие большие и средние мосты, подходы и регуляционные сооружения;
- малые водопропускные сооружения, такие, как малые мосты с укрепленными подмостовыми руслами, трубы круглые и прямоугольные, фильтрующие насыпи, переливаемые насыпи лоткового типа;
- сооружения системы дорожного водоотвода (боковые кюветы, нагорные канавы, прикромочные лотки, быстротоки, перепады, водобойные колодцы, дренажные устройства и т. д.);
- сооружения инженерного обустройства автомобильных дорог (автобусные остановки, площадки отдыха, дорожные знаки, разметка проезжей

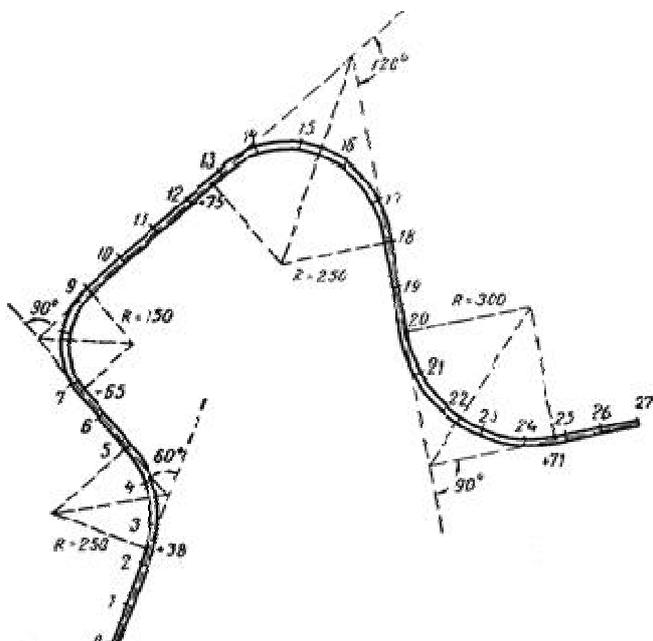
части и вертикальная разметка, ограждения, направляющие устройства, устройства освещения, снегозащитные полосы лесонасаждения и т. д.);

- здания и сооружения автотранспортной службы;
- на горных дорогах, кроме того, сооружают тоннели, лавинозащитные галереи, селепропускные сооружения и т. д.

Автомобильные дороги, их элементы и сооружения проектируют и строят в соответствии с действующими техническими условиями, нормами и правилами.

Автомобильная дорога изображается в трех проекциях: в виде плана, продольного профиля и поперечных профилей.

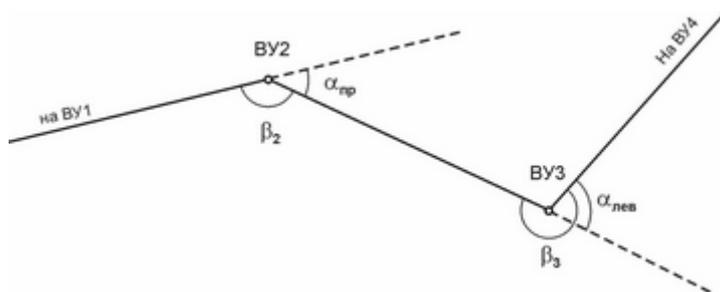
8.4.2. План трассы



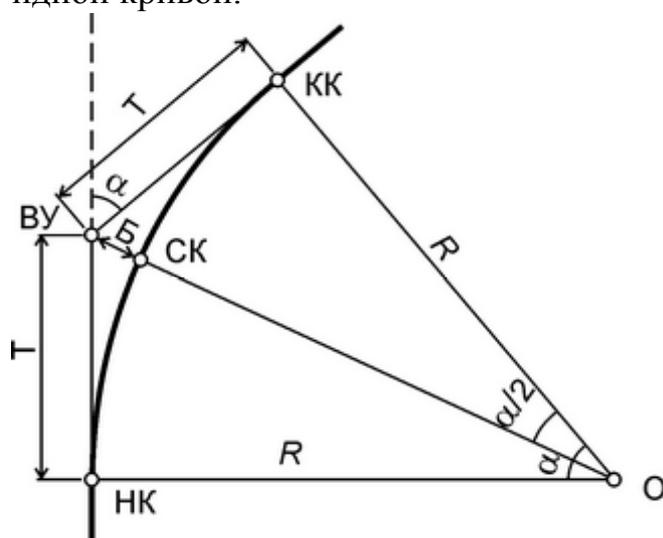
Ось автомобильной дороги, представляющую собой в общем случае пространственную кривую, называют трассой. Проекцию оси автомобильной дороги на горизонтальную плоскость называют **планом трассы**. В плане трасса состоит из прямых участков разных направлений, сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми постоянного или переменного радиуса кривизны.

План трассы составляют по данным ведомости углов поворота, прямых и кривых, а также по пикетажному журналу.

В простейшем случае трассу дороги представляют ломаным (тангенциальным) ходом. Трасса состоит из прямолинейных отрезков и круговых кривых, вписанных в углы поворота. Степень искривления трассы определяется значениями углов поворота. **Углом поворота трассы** считают угол между продолжением и новым направлением трассы, может быть левым и правым.



На автомобильных дорогах закругления на поворотах разбивают по круговым или переходным кривым. **Круговыми** называют кривые, радиус которых на всем протяжении один и тот же. **Переходными** – кривые, радиус которых меняется от бесконечности до заданного. Переходные кривые на автомобильных дорогах, как правило, разбивают по формулам клотоидной кривой.



По радиусу R и углу поворота α определяют следующие элементы кривой: T – тангенс кривой; K – длину кривой; B – биссектрису кривой и D – домер. Элементы T , B , D представляют собой линейные отрезки, K – откладывается по круговой кривой. Основные элементы определяют по нижеприведенным формулам или по специальным таблицам для разбивки круговых кривых.

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2};$$

$$K = \frac{\pi}{180^\circ} \alpha R;$$

$$B = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right);$$

$$D = 2T - K.$$

Простые закругления в виде круговых кривых, вписанных в угол поворота, применяют при сравнительно больших радиусах кривых:

при $R > 3000$ м – на дорогах I категории;

при $R > 2000$ м – на дорогах II–V категорий.

Поэтому при $R < 3000$ м — на дорогах I категории и при $R < 2000$ м – на дорогах II–V категорий прямолинейные участки автомобильных дорог сопрягают с круговыми кривыми сравнительно короткими переходными кривыми: кубической параболой, клотоидой и разного рода кривыми переменной скорости.

Точки сопряжения отдельных элементов трассы между собой называют *главными точками трассы*. К ним относят: начало трассы НТ, конец трассы КТ, вершины угла поворота ВУ, начало кривой НК, середину кривой СК и конец кривой КК. Пикетажное обозначение главных точек кривой определяется по формулам:

$$ПК\ НК = ПК\ ВУ - T;$$

$$ПК\ КК = ПК\ НК + K;$$

$$ПК\ СК = ПК\ НК + \frac{K}{2}.$$

Контролируют правильность вычислений пикетажного значения конца и середины кривой:

$$ПК\ КК = ПК\ ВУ + T - D;$$

$$ПК\ СК = ПК\ ВУ - \frac{D}{2}.$$

Эти точки выносят на ось трассы и закрепляют на местности. В дальнейшем от точек НК и КК по направлению к середине кривой СК выполняют детальную разбивку круговой кривой.

Сложные участки виражей рассчитывают отдельно.

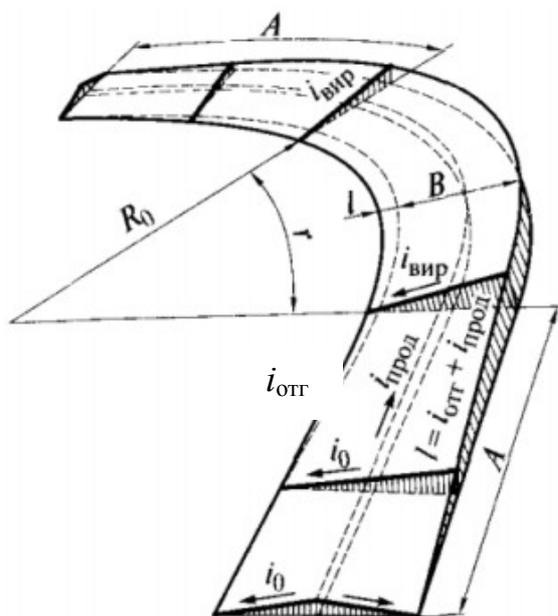


Схема виража: *A* – участки отгона виража с переходной кривой; *B* – ширина проезжей части; i_0 – поперечный уклон двускатного профиля; $i_{\text{вир}}$ – поперечный уклон виража; $i_{\text{отг}}$ – поперечный уклон на участке отгона виража; $i_{\text{прод}}$ – продольный уклон дороги на вираже; l – уширение; r – круговая кривая; R_0 – радиус закругления

На оси трассы разбивают пикетаж. **Пикет** – точка оси трассы, закрепляет стандартные интервалы в 100 м. Пикетаж – система обозначения пикетов и плюсовых точек. Между пикетами может быть любое количество дополнительных точек, фиксирующих места перегиба рельефа, пересечения с границами угодий, линий электропередач, водотоками и другими. Такие точки называют плюсовыми и обозначают как ПК 2 +48,9 м. Расстояние до

плюсовой точки считается от предыдущего пикета, в этом случае она удалена от начала трассы на расстояние 248,9 м ($2 \times 100 + 48,9$).

Различают пикеты, располагаемые на стандартных расстояниях друг от друга и **рубленные пикеты**, между ними расстояние указывается особо. Разбивка пикетажа через 100 м затрудняет использование электронных дальномеров, поэтому иногда применяют **беспикетный способ** полевого трассирования, при котором на местности разбивают не каждый стометровый пикет, а только плюсовые точки, расположенные на характерных формах рельефа и важных для проектирования элементах ситуации.

Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых

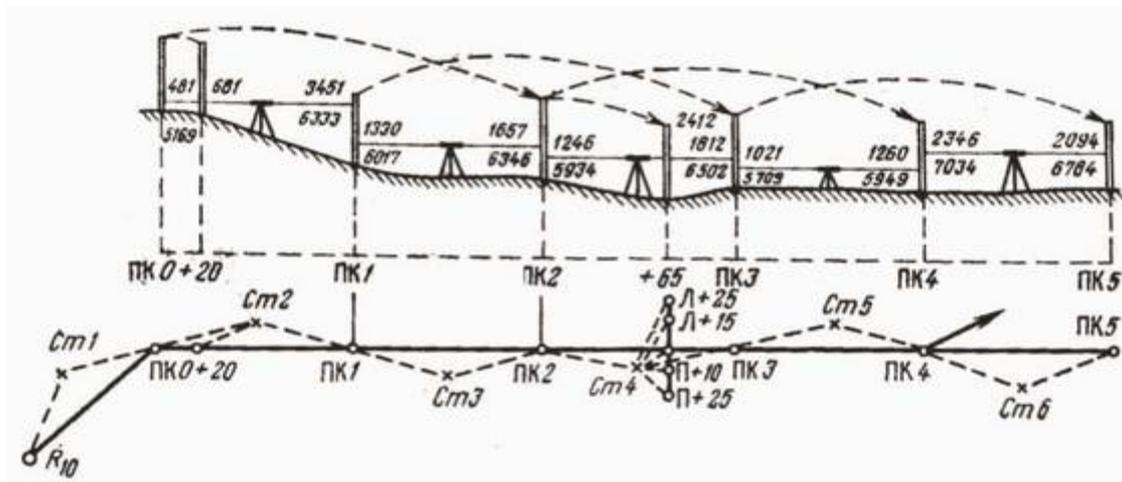
Ведомость составляют по данным угломерного и пикетажного журналов, из которых в соответствующие графы выписывают пикетажные значения начала и конца участка трассы, наименование, положения и значения всех углов поворота, пикетажные значения начала и конца каждой кривой; румб или дирекционный угол первого прямого участка трассы. По выписанным в ведомость данным находят расстояния между вершинами углов, длины прямых участков трассы, румбы или дирекционные углы прямых.

На плане трассы показывают схему закрепления. Обычно закрепляют начало и конец трассы, вершины углов поворота, места перехода рек, оврагов, пересечения с автомобильными и железными дорогами, длинные прямые. Начало и конец трассы закрепляют колом и делают привязку минимум к трем постоянным на местности предметам. Вершины углов закрепляют типовыми деревянными столбами. Все закрепительные точки по трассе сдают по акту главному инженеру дорожной организации.

8.4.3. Продольный профиль трассы

Продольный профиль трассы является изображением разреза дороги вертикальной плоскостью, проходящей через ось трассы. Продольный профиль характеризует величину проектных уклонов отдельных участков дороги и расположение ее проезжей части относительно естественной поверхности земли. В продольном профиле трасса состоит из линий разного уклона, соединяющихся между собой вертикальными круговыми кривыми.

При построении продольного профиля трассы вертикальный масштаб для наглядности делают в 10 раз крупнее горизонтального, геологический разрез составляют еще крупнее в 10 раз. Отметки для продольного профиля определяют из технического нивелирования.



Чертеж продольного профиля обязательно содержит следующие данные о местности и проектных решениях:

изображение проектной линии продольного профиля по бровке земляного полотна (красная линия);

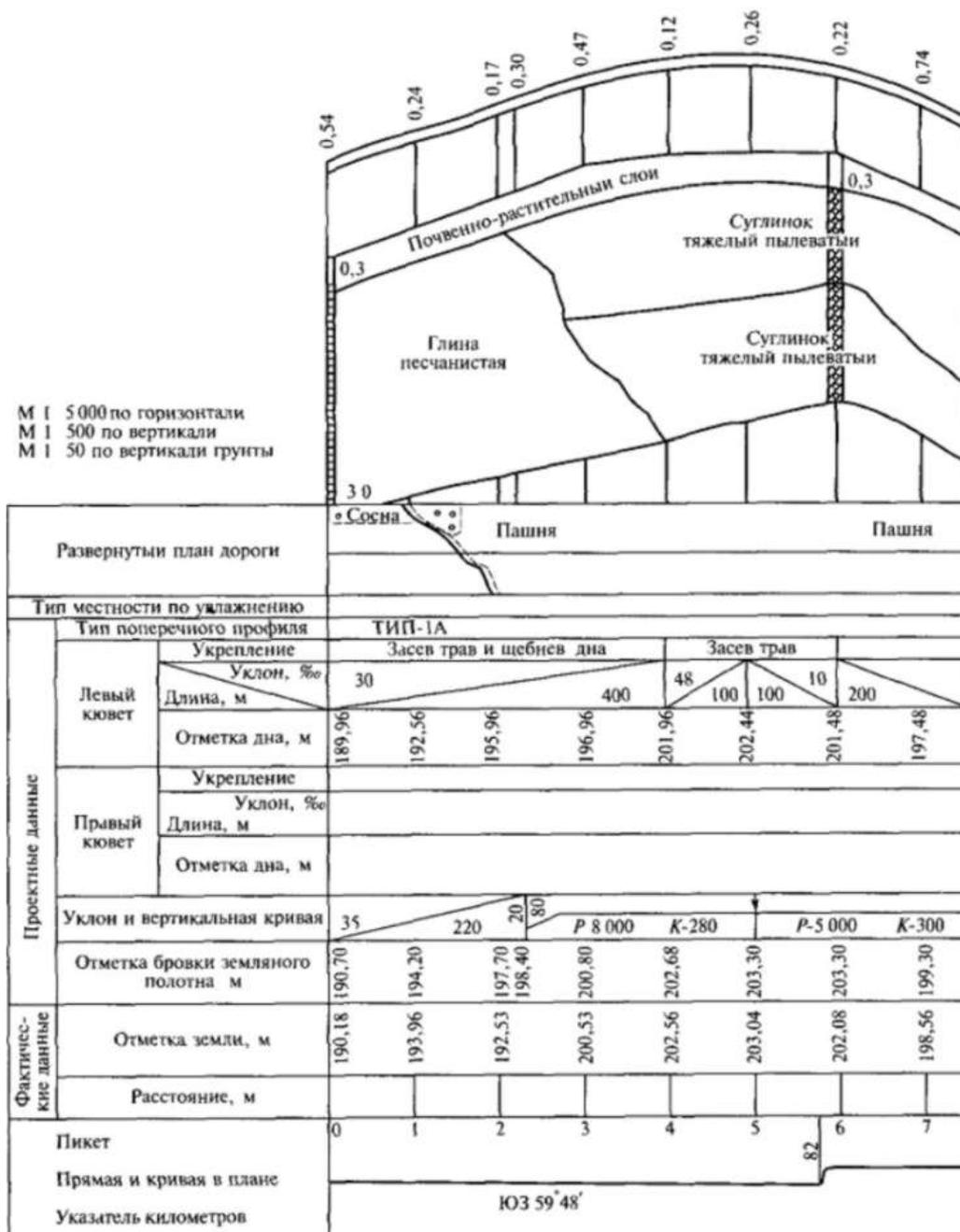
изображение черного профиля земли по оси дороги, представляемого двойной линией (на расстоянии 20 мм одна от другой);

грунтово-геологический разрез по оси дороги;

проектные данные о системе поверхностного водоотвода, искусственных сооружениях (трубах, мостах, путепроводах), съездах и переездах;

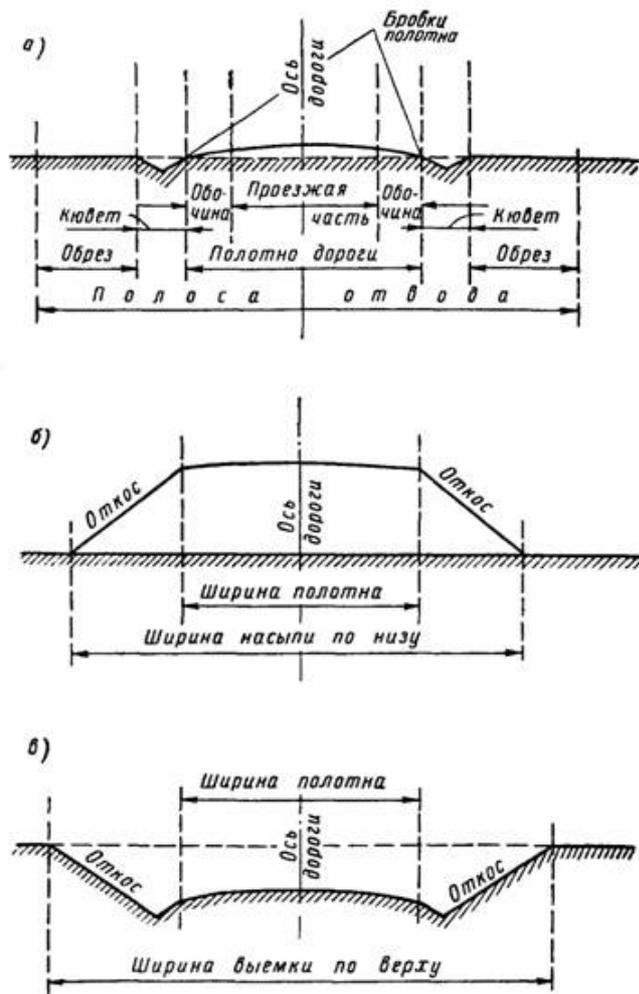
рабочие отметки и точки нулевых работ: рабочие отметки насыпей подписывают над проектной линией, выемок – под ней, а точки нулевых работ обозначают пунктирной ординатой;

специальную таблицу, содержащую несколько граф: развернутый план трассы; грунты верхней части земляного полотна; тип дорожной одежды; типы поперечных профилей земляного полотна; укрепления, уклоны и высоты (отметки) кюветов; уклоны и вертикальные кривые; проектные высоты (отметки) по бровке земляного полотна; высоты (отметки) земли по оси дороги; расстояния; пикеты, кривые, километры.



8.4.4. Поперечный профиль трассы

Для характеристики местности в направлениях перпендикулярных к трассе составляют поперечные профили в одинаковом горизонтальном и вертикальном масштабе. **Поперечным профилем дороги** называется изображение, полученное сечением дороги вертикальной плоскостью, перпендикулярной оси дороги.



Поперечный профиль всегда соответствует какой-то одной, определенной точке дороги. Однако у разных точек дороги могут быть либо одинаковые, либо подобные поперечные профили. Для поперечного профиля в нулевых условиях характерно, что бровки (границы) полотна дороги находятся в одном уровне с поверхностью земли. Для поперечного профиля с насыпью характерно расположение бровок полотна над поверхностью земли. Для поперечного профиля с выемкой характерно расположение бровок полотна ниже поверхности земли.

На рисунке приведены поперечные профили дороги: а) в нулевых условиях; б) с насыпью; в) с выемкой.

Полоса земли, на которой устраивают проезжую часть и обочины, называется **земляным полотном**. На верхней части земляного полотна находится **проезжая часть**, т. е. та полоса, на которой устраивают дорожную одежду и непосредственно по которой происходит движение автотранспорта. На автомагистралях проезжую часть устраивают отдельно для обеспечения движения автомобилей в каждом направлении, предусматривая сооружение между ними **разделительной полосы**.

По бокам к проезжей части примыкают **обочины** – полосы земляного полотна, предназначенные для временной стоянки автомобилей, размещения дорожно-строительных материалов во время дорожных ремонтных работ и способствующие безопасности движения. Вдоль проезжей части на обочинах устраивают **укрепленные полосы**, предназначенные для предотвращения разрушения кромки проезжей части при случайных съездах колес автомобилей с проезжей части и позволяющие полностью использовать проезжую часть для проезда автомобилей.

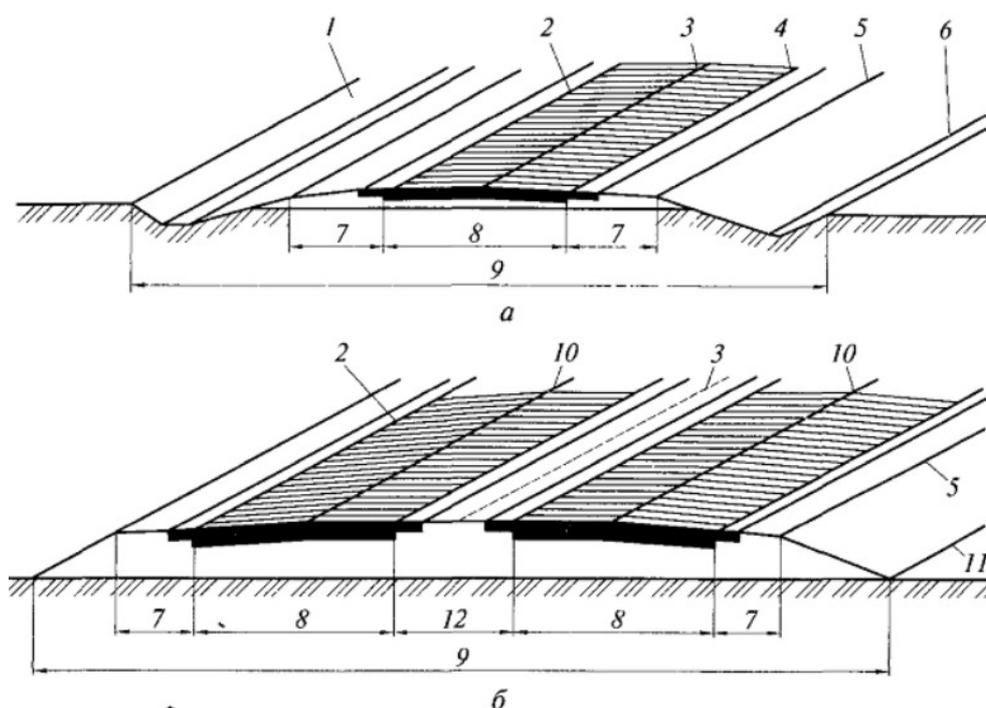
Для обеспечения стока воды с верхней части земляного полотна, проезжей части и обочинам придают поперечные уклоны в обе стороны от оси дороги к бровкам земляного полотна. При устройстве виражей на закруглениях

верхней части полотна автомобильных дорог придают односторонний поперечный уклон, направленный в сторону центра закругления.

Проезжая часть и обочины примыкают к прилегающей местности правильно спланированными плоскостями – **откосами**, крутизну которых назначают в зависимости от высоты насыпи или глубины выемки; обеспечения незаносимости дороги снегом; гармоничного сочетания ее с прилегающим ландшафтом; обеспечения безопасности движения устойчивости откосов и экономических соображений. Обычная крутизна откосов насыпей и выемок лежит в пределах от 1:1,5 до 1:4. При разработке земляного полотна в прочных скальных грунтах крутизна откосов может быть увеличена до 1:0,2, а внешних откосов мелких выемок для обеспечения переноса снега наоборот уменьшена до 1:5 и менее.

Поперечные профили земляного полотна автомобильных дорог принимают по типовым проектам. Принципиальные типовые проектные решения поперечных профилей насыпей и выемок представлены на рис. 24.4.

Все параметры поперечного профиля земляного полотна нормируются действующими строительными нормами и правилами.

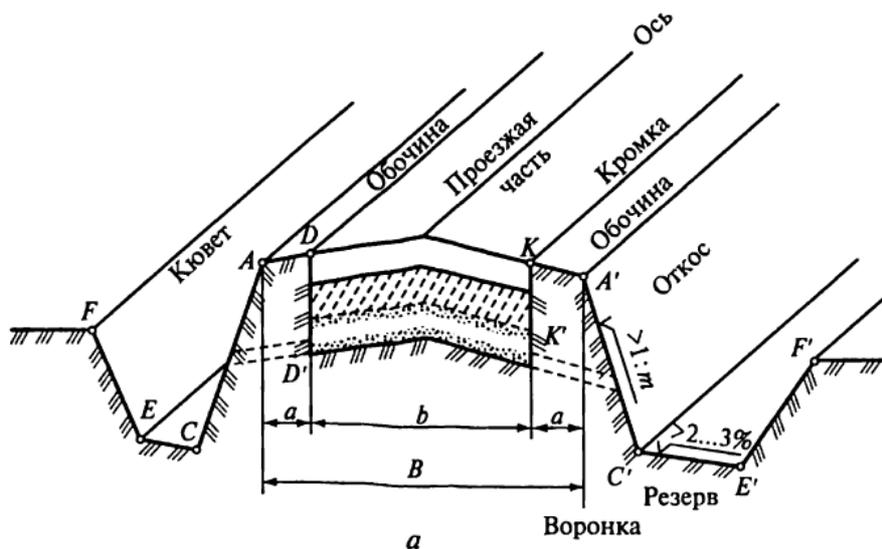


Элементы поперечного профиля автомобильной дороги: а – с одной проезжей частью; б – с двумя проезжими частями и разделительной полосой; 1 – внешний откос канавы; 2 – краевая укрепительная полоса; 3 – ось дороги; 4 – кромка проезжей части; 5 – бровка насыпи; 6 – внутренний откос; 7 – обочина; 8 – проезжая часть; 9 – земляное полотно; 10 – ось проезжей части; 11 – откос насыпи; 12 – разделительная полоса.

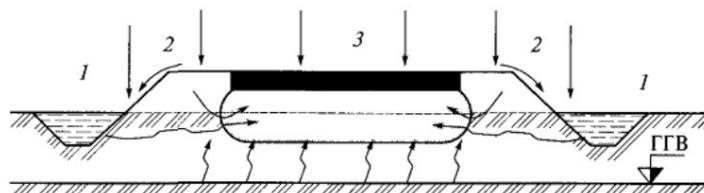
Разницу между высотой (отметкой) поверхности земли по оси дороги и высотой (отметкой) бровки земляного полотна, определяющую высоту насыпи или глубину выемки, называют **рабочей отметкой**. На участках закруглений в плане при устройстве виражей рабочие отметки обычно исчисляют по внутренней бровке земляного полотна.

8.5. Система дорожного водоотвода

Земляное полотно отделяется от прилегающей местности откосами или боковыми канавами, которые служат для осушения земляного полотна и отвода поверхностной воды. При устройстве земляного полотна в насыпи необходимый грунт подвозят из находящихся вблизи выемок или при его недостатке берут из закладываемых около дороги неглубоких выработок, называемых резервами. Избыточный грунт из выемок укладывают в валы, называемые кавальерами.



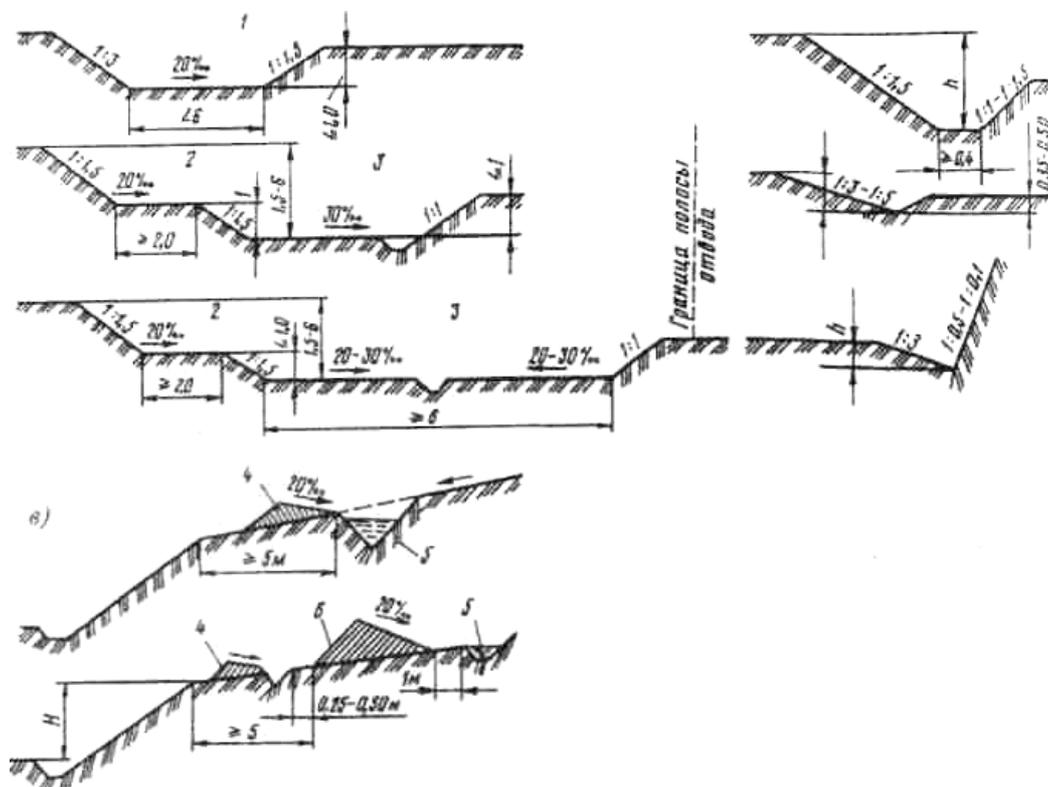
Водой, проникающей в земляное полотно дороги, осуществляется размягчение грунта, сильно снижающее способность земляного полотна к восприятию нагрузок. На рисунке показаны источники увлажнения земляного полотна.



Источники увлажнения земляного полотна: 1 – подземная грунтовая вода; 2 – вода в кюветах; 3 – атмосферные осадки; ГГВ – горизонт грунтовых вод

Для защиты земляного полотна от разрушительного действия поверхностного стока или от капиллярного поднятия грунтовых вод устраивают водоотводные сооружения. Совокупность сооружений для сбора, задержания, отвода воды от земляного полотна и пропуска ее через полотно составляет **систему дорожного водоотвода**.

Для отвода поверхностных вод с верхней части земляного полотна предусматривают следующее: дорожному покрытию и обочинам придают поперечные уклоны; устраивают боковые водоотводные каналы (кюветы) и резервы; устраивают нагорные каналы, перехватывающие воду, которая стекает по склонам местности к дороге; сооружают водопропускные трубы и мосты для пропуска водотоков и воды из боковых каналов. Виды водоотводных каналов приведены на рисунке: а – каналы, совмещенные с боковыми резервами; б – трапециевидальные и треугольные боковые каналы (кюветы); в – нагорные каналы у выемок; 1 – кювет-резерв; 2 – берма; 3 – резерв; 4 – банкет; 5 – нагорная канава; б – отвал

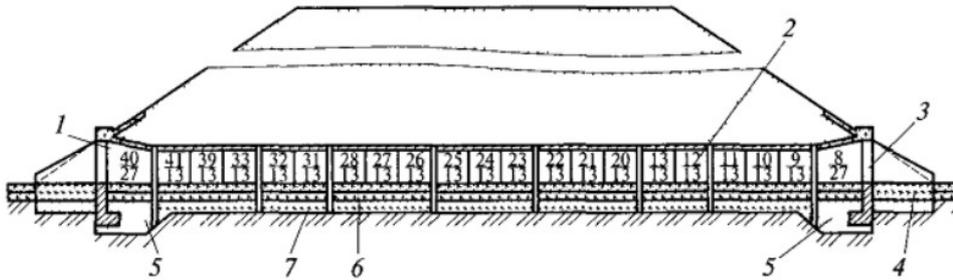


Во избежание заиливания водоотводным каналам придают продольный уклон не менее 3–5 ‰.

Для предотвращения вредного воздействия грунтовых вод на земляное полотно и дорожную одежду в дорожных конструкциях предусматривают специальные дренирующие слои из песка, гравия и других крупнозернистых материалов для сбора и быстрого отвода воды, проникающей через обочины, швы и трещины в покрытиях. Вода выводится на откосы через сплошные

дренажные прорезы, либо при благоприятных гидрологических условиях через дренажные воронки.

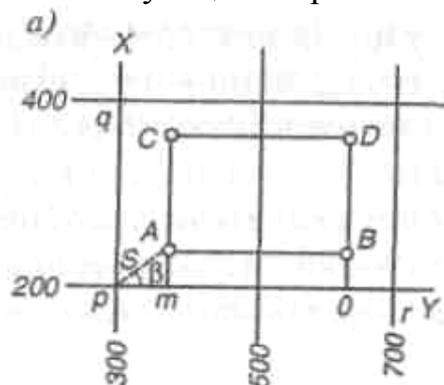
При высоких уровнях грунтовых вод для их снижения под боковыми канавами (кюветами) устраивают подземный дренаж в виде уложенной в грунт водопропускной трубы. Устройство бетонной трубы следующее: 1 – коническое звено трубы; 2 – звенья; 3 – порталный блок оголовка; 4 – лоток из монолитного бетона; 5 – песчано-гравийная подготовка; 6 – щебеночная подготовка; 7 – блоки фундамента.



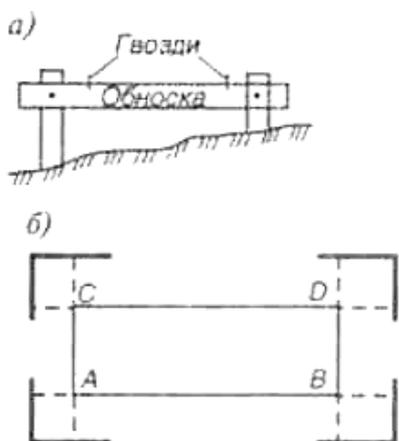
8.6. Искусственные сооружения на автомобильных дорогах

Разбивку зданий и сооружений, сопутствующих строительству автодорог, ведут с соблюдением основного принципа геодезии «от общего к частному». Поэтому вначале определяют на местности положение главных разбивочных осей и только после этого приступают к детальной разбивке, сводящейся к определению на местности положения в плане и по высоте частей и элементов сооружения.

Как правило, основой для перенесения проекта здания в натуру служит строительная сетка, нанесенная на план и разбитая на местности. При этом для удобства выполнения разбивочных работ стороны сетки разбивают параллельно главным осям сооружения. В этом случае разбивочные работы сводятся к промерам от соответствующих сторон сетки.



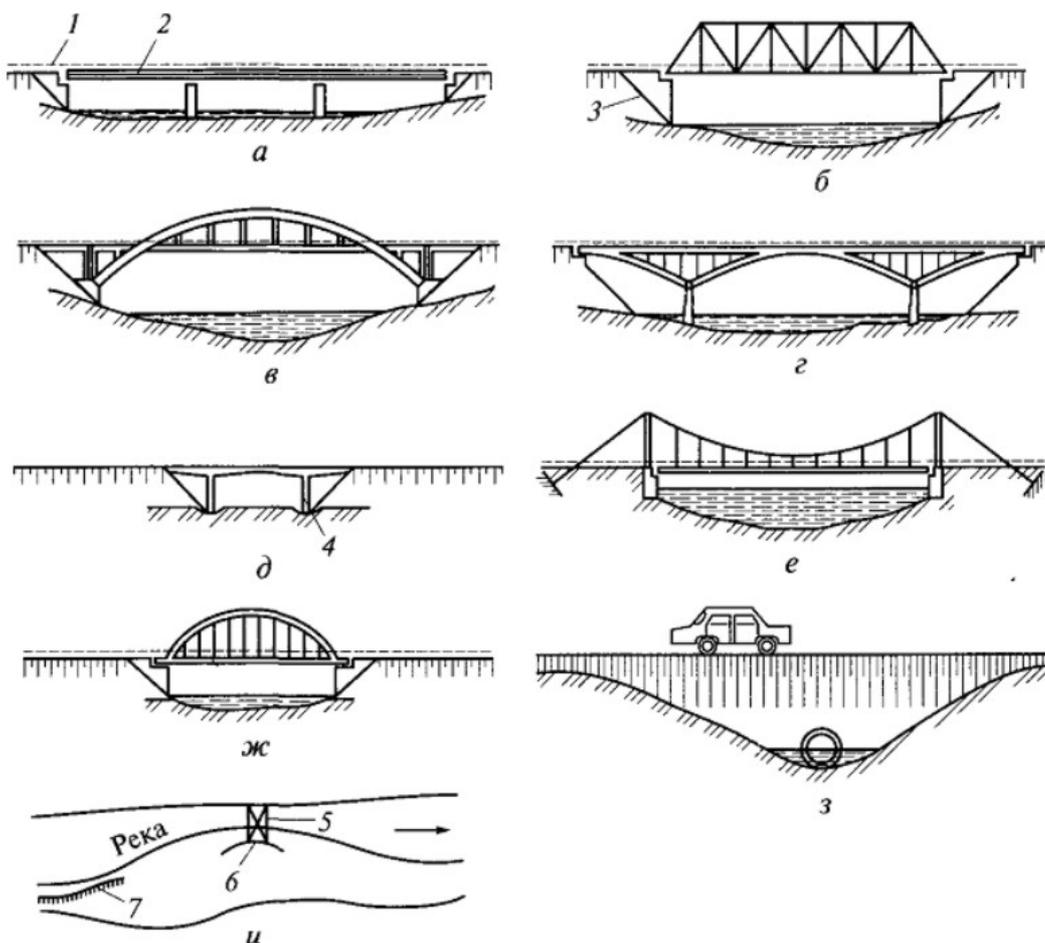
Для этого в системе координат строительной сетки вычисляют и наносят на чертеж координаты угловых точек сооружения. Выполняют расчеты и выносят точки известными способами (тема 8.2).



Для закрепления осей сооружения устраивают строительную обноску, для чего устанавливают столбы и к ним по уровню прибивают доску таким образом, чтобы верхний ее край был горизонтален.

Строительная обноска может быть сплошной вокруг сооружаемого объекта, а может быть только по его углам, как показано на рисунке.

Примеры искусственных сооружений на автомобильных дорогах приведены на рисунке: а) балочный мост с ездой поверху; б) мост со сквозной фермой (езда понизу); в) арочный мост; г) арочно-консольный мост; д) рамный мост; е) висячий мост; ж) мост комбинированной системы (безраспорная арка с балкой жесткости затяжкой); з) водопропускная труба; и) схема мостового перехода; 1 – настил (подход к мосту); 2 – пролетное строение; 3 – устой; 4 – опора; 5 – мост; 6 – струенаправляющая дамба; 7 – регуляционное сооружение.



8.7. Пересечения и примыкания автомобильных дорог

Транспортные развязки на пересечениях и примыканиях автомобильных дорог в разных уровнях являются сложнейшими узлами автомобильных дорог с точки зрения проектирования и выноса их на местность. При строительстве развязок требуется уметь выносить точки, линии, плоскости в плане и по высоте.



8.8. Геодезические работы при вертикальной планировке

Проекты вертикальных планировок входят составной частью в проекты городских улиц и дорог, автомобильных дорог, строительных площадок, аэродромов и т. д.

Основными задачами вертикальной планировки являются:

- отвод поверхностных ливневых, талых и хозяйственных вод за пределы площадки, либо в систему подземной ливневой канализации;
- приведение земной поверхности по направлению городских улиц и дорог, площадей, автомобильных дорог, взлетно-посадочных полос аэродромов к допустимым уклонам, обеспечивающим их нормальную эксплуатацию;
- организация земной поверхности, определение и устранение дефектов рельефа для удобства размещения инженерных сооружений и их последующего функционирования;
- проектирование всех наземных инженерных сооружений и подземных коммуникаций в их взаимной увязке.

Топографической основой для разработки проекта вертикальной планировки являются топографические планы и цифровые модели местности (ЦММ) различных масштабов. В зависимости от категории рельефа, характера проектируемого объекта и стадии проектирования масштабы топографических съемок принимают в пределах 1:2000 – 1:200 с высотой сечения горизонталей 1–0,25 м.

Топографические планы и ЦММ обычно получают в результате выполнения комплекса наземных полевых геодезических работ, включающего выполнение различного вида топографических съемок: тахеометрических, нивелирования по квадратам, комбинированных и т. д. Особое место в комплексе геодезических работ для обоснования проектов вертикальной планировки занимает топографическая съемка методом нивелирования по квадратам, обеспечивающая необходимую точность получаемой информации и быстроту подготовки регулярной ЦММ в узлах правильных прямоугольных сеток.

Обязательными элементами проекта вертикальной планировки являются вычисление объемов земляных работ и составление схемы перемещения грунта.

При переносе проекта вертикальной планировки в натуру выполняют следующий комплекс геодезических работ:

- проверка существующих и восстановление утраченных знаков плано-высотного обоснования, созданного на этапе предпостроечных изысканий;
- создание разбивочной основы строительства;
- разбивка основных осей и элементов инженерных сооружений;
- геодезический контроль за работой строительных машин и механизмов;
- производство исполнительных съемок.

В современном строительном процессе при вертикальной планировке площадок совершенно необходимым является использование автоматизированных приборов и систем для контроля производства земляных работ и геодезического управления работой строительных машин и механизмов.

8.9. Системы управления строительной техникой

Здесь представлены системы управления строительной техникой, разработанные компанией TOPCON. Они включают в себя управление автогрейдерами, бульдозерами, асфальтоукладчиками, экскаваторами. Всех их характеризуют такие преимущества, как:

- снижение доли инженерных работ (вынос в натуру, полевой контроль);
- экономия топлива и моторесурса техники;

– увеличение эффективности и продуктивности производства земляных работ за счет значительного снижения количества проходов при подготовке проектной поверхности;

Системы управления автогрейдером



определенного вида работ.

Представляют собой универсальный инструмент, объединяющий возможности контроля отвала по высоте и поперечному уклону, в единый комплекс, обеспечивающий профилирование дорожного покрытия и подготовку сложных поверхностей в автоматическом режиме. Модульность систем управления автогрейдером позволяет подобрать оптимальный комплект и впоследствии его модернизировать для выполнения

По способу задания проекта на местности системы подразделяются на 2D и 3D. Использование 2D систем требует закрепления на местности проектных направлений и отметок. Для этого используются монтажные струны, фиксирующие направление работ и копирующие положение проектного профиля, или лазерные построители плоскости, создающие на объекте ровные опорные поверхности: горизонтальные или с уклонами по двум направлениям.

Грейдер, оснащенный системой 3D, может свободно перемещаться по всему рабочему объекту, автоматически создавая проектную поверхность на местности с точностью 1–2 см в плане и по высоте с выдержкой проектных уклонов. При этом работа может выполняться в любое время суток. В настоящий момент компанией *TOPCON* предлагаются два типа систем 3D: *3D LPS* и *3D GPS*, использующих в качестве основных измерительных средств соответственно роботизированные электронные тахеометры *GRT-2000* и приемники сигналов спутников *GPS+ГЛОНАСС*.

Системы управления бульдозерами



Позволяют выполнять предварительные земляные работы в автоматическом режиме с контролем поперечного уклона и высоты отвала с беспрецедентной точностью ± 2 см.

Системы 2D управления бульдозерами, состоящие из лазерного датчика, блока управления и гидроклапанов, наиболее эффективны при подготовке ровных поверхностей. А комплект простейшей индикаторной системы с ручным управлением отвала состоит всего из одного лазерного датчика, что уже дает значительное увеличение эффективности и качества земляных работ.

Для реализации больших и сложных проектов идеально подходит система 3D GPS. Во время работы координаты отвала постоянно сравниваются с загруженными в бортовой компьютер проектными данными. Управление отвалом полностью берет на себя автоматика. Информация о работе системы и о положении бульдозера на объекте выдается на дисплей, размещенный в кабине машиниста. **Особенности и преимущества:** быстрый монтаж и простая настройка модулей; возможность переустановки системы на другую машину.

Системы управления асфальтоукладчиками



Полностью бесконтактные системы управления асфальтоукладчиками, разработанные компанией *TOPCON*, предназначены для выполнения асфальтирования с автоматическим контролем поперечного уклона, ровности и толщины покрытия с точностью ± 1.5 мм по высоте. При подготовке ровной поверхности, в качестве источника формировать лазерную плоскость на большие расстояния.

На рабочем органе асфальтоукладчика устанавливается датчик на специальной штанге, постоянно передающий на бортовой компьютер информацию о своем положении относительно лазерной плоскости, связанной с проектом. При обнаружении вертикального смещения датчика вместе с рабочим органом бортовой компьютер вырабатывает корректирующий сигнал в систему гидропривода для возвращения рабочего органа в проектное положение. В других случаях используются акустические датчики, работающие по принципу дальномера. С их помощью выполняется точное копирование проектного профиля, закрепленного на местности с помощью монтажных струн. С помощью датчика наклона выполняется контроль поперечного уклона подготавливаемого покрытия. Бортовой компьютер исполняет роль блока управления и настройки системы, аккумулирует информацию, получаемую со всех датчиков, выполняет мгновенный анализ соответствия текущего полотна проекту и необходимую корректировку в положение рабочего органа машины.

Особенности и преимущества: непрерывность работы (без остановки); жесткий контроль над расходом материалов; исключение постоянного полевого контроля укладки; улучшение сглаженности профиля дороги.

Системы управления экскаваторами



Позволяют выполнять выемку грунта до заданной глубины и уклона с сантиметровой точностью. Возможны три режима работы: с заданным уклоном, с заданной глубиной и комбинированный (с лазерным построителем плоскости). Режим уклона обеспечивает ви-

зуальный контроль положения ковша при создании поверхностей с уклоном до $\pm 100\%$. Значение уклона задается оператором на панели управления бортового компьютера, расположенного в кабине машины. Режим фиксированной глубины обеспечивает выемку грунта до заданной отметки относительно поверхности земли или опорной высотной точки (репера). Это идеальный режим при подготовке площадок под фундаменты строений. При использовании лазерного построителя плоскости (комбинированный режим) TOPCON в качестве источника постоянной опорной плоскости экскаватор может свободно перемещаться по всему рабочему объекту, формируя поверхность, параллельную лазерной и не превышая заданной глубины и уклона.

Особенности и преимущества: подготовка поверхности, строго соответствующей проекту; исключение необходимости в сложном выносе проектного уклона в натуру; исключение времени на полевой контроль выполненных работ; возможность работы при полном отсутствии видимости ковша.

Список литературы

1. Бузук, Р. В. Геодезия: учеб. пособие / Р. В. Бузук, В. А. Горбунова; Гос. учреждение Кузбас. гос. техн. ун-т. Ч.1: Топографическое обеспечение городского кадастра. – Кемерово, 2002. – 166 с.
2. Бузук, Р.В. Геодезия. Комплект лекций / Кузбасс. гос. техн. ун-т: – Кемерово, 1997. – 122 с.
3. Булгаков, Н.П. Прикладная геодезия. / Н.П. Булгаков, Е.Н. Рытвина, Г.А. Федотов. – М.: Недра, 1990. – 415 с.
4. Дементьев, В. Е. Современная геодезическая техника и ее применение: учеб. пособие для вузов. – М.: Академический проект, 2008. – 591 с.
5. Инженерная геодезия : учебник для вузов ж.-д. транспорта / Г. С. Бронштейн [и др.]; под ред. С. И. Матвеева. – М., 1999. – 455 с.
6. Инженерная геодезия: учебник / Е. Б. Ключин [и др.]; под ред. Д. Ш. Михелева. – М.: Академия. – 2008. – 480 с.
7. Климов, О. Д. Практикум по прикладной геодезии. Изыскания, проектирование и возведение инженерных сооружений: учеб. пособие / О. Д. Климов, В. В. Калугин. В. К. Писаренко. – М.: Альянс, 2008. – 271 с.
8. Куштин, И. Ф. Инженерная геодезия. / И. Ф. Куштин, В. И. Куштин. – Ростов-на Дону: Изд. ФЕНИКС, 2002 – 416 с.
9. Левчук, Г. П. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ: учебник для вузов / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов. – М.: Недра, 1981. – 304 с.
10. Маслов, А. В. Геодезия / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – М.: КолосС, 2006. – 598 с.
11. Митин, Н. А. Таблицы для разбивки кривых на автомобильных дорогах / Н. А. Митин. – М.: Недра, 1978. – 469 с.
12. Перфилов, В. Ф. Геодезия: учеб. для вузов / В.Ф. Перфилов, Р.Н. Скогорева, Н. В. Усова. – 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Высш. шк., 2008. – 350 с.
13. Проверка геодезических приборов / А. И. Спиридонов, Ю. Н. Кулагин, М. В. Кузьмин – М.: Недра, 1981 – 159с.
14. Поклад, Г. Г. Геодезия: учебное пособие для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – М.: Академический Проект, 2008. – 592 с.
15. Седун, А. В. Практические работы по геодезии и разбивочным работам при строительстве автомобильных дорог: учеб. пособие для техникумов / А. В. Седун, В. И. Лиманов. – М.: Недра, 1991. – 205 с.
16. Справочная энциклопедия дорожника. т. 1: Строительство и реконструкция автомобильных дорог / под ред. А. П. Васильева. – М.: Информавтодор, 2005. – 646 с
17. Справочник современного изыскателя / под общ. ред. Л. Р. Майляна. – Ростов н/Д.: Феникс, 2006. – 590 с.

- 18.Справочное пособие по прикладной геодезии / В.Д. Большаков, Г.П. Левчук, Е.Б. Ключин и др. – М.: Недра, 1987.
- 19.Сироткин, М. П. Справочник по геодезии для строителей. – М.: Недра, 1975.
- 20.Соловицкий, А. Н. Основы инженерной геодезии: учеб. пособие / Кубас. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1991. – 69 с.
- 21.Федоров, В. И. Инженерная геодезия / В. И. Федоров, П. И. Шиллов.. – М.: Недра, 1982. – 200 с.
- 22.Федотов, Г. А. Инженерная геодезия: учебник / Г. А. Федотов. – 2 изд., исправл. – М.: Высш. шк., 2007. – 463 с.
- 23.Фельдман, В. Д. Основы инженерной геодезии: учебник / В. Д. Фельдман, Д. Ш. Михелев. – М.: Высш. шк.: Академия, 1999. – 300 с.
- 24.Хаметов, Т. И. Геодезическое обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации зданий, сооружений: учебное пособие. – М.: АСВ, 2002. – 200 с.
- 25.Чекалин, С. И. Основы картографии, топографии и инженерной геодезии: учеб. пособие для вузов. – М.: Академический проект, 2009. – 393 с.
- 26.Инструкция по нивелированию 1, 2, 3, 4 классов. М.: Недра, 2003. – 158 с.
- 27.Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – ГКИНП–02–033–82. Введен 01.01.1983. – М.: Недра, 1985. – 151 с.
- 28.Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах (ПТБ-88): Утв. Гл. упр. геодезии и картографии при Совете Министров СССР 09.02.1989. – М.: Недра, 1991. – 302 с
- 29.Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. Высотные сети. М.: Недра, 1976. – 208 с.
- 30.Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – М.: Недра, 1989. – 286 с.
- 31.ВСН 5–81. Ведомственные строительные нормы. Инструкция по разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог и искусственных сооружений. 1983–10–01.
- 32.СНиП 3.01.03–84 Геодезические работы в строительстве. Постановление Госстроя СССР от 04.02.1985 № 15. СНиП от 04.02.1985 N 3.01.03–84.
- 33.ГОСТ Р 51872–2002 Документация исполнительная геодезическая. Правила выполнения. Постановление Госстроя России от 21.11.2001 № 120.
- 34.ГОСТ Р 21.1207–97. Условные графические обозначения на чертежах автомобильных дорог / Госстрой России. – М.: ГП ЦНС Госстроя России, 1997. – 14 с.
- 35.ГОСТ Р 21.1701–97. Правила выполнения рабочей документации автомобильных дорог / Госстрой России. – М.: ГП ЦНС Госстроя России,

1997. – 29 с.

36. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 г. № 102–ФЗ.

Интернет-ресурсы

37. Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

38. Информационная система «Технонорматив»

39. Информационная система «Стройконсультант»

40. <http://www.geoprofi.ru> – Электронный журнал по геодезии, картографии и навигации

41. <http://www.2gis.ru> – Электронная карта города «Дубль–ГИС»

42. <http://www.gisa.ru> – сайт ГИС–Ассоциации, межрегиональной общественной организации содействия развитию рынка геоинформационных технологий и услуг

43. <http://journal.miiigaik.ru/> – официальный сайт Московского государственного университета геодезии и картографии, электронный журнал «Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка»

44. <http://ru.wikipedia.org> – свободная энциклопедия

45. <http://www.navgeocom.ru> – компания по продаже геодезического оборудования Навгеоком

46. <http://www.laserpribor.ru/> – Интернет–магазин по продаже геодезического оборудования.