



**МИНИСТЕРСТВО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

М.Ф. Карлович, Е.Ю. Мысливчик

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
для студентов специальности 1-70 03 01
«Автомобильные дороги»**



Минск
БНТУ
2020

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современное строительное производство невозможно без широкого использования современных геодезических методов разбивки инженерных сооружений на местности, обеспечивающих высокую точность и исключающих грубые просчеты; методов оперативного контроля строительных работ и геодезического управления работой строительных машин и механизмов. Для этих целей при строительстве инженерных объектов широко применяют лазерную технику, приборы систем спутниковой навигации и т.д.

Инженерно-геодезическое обеспечение проектно-изыскательских работ, строительства и эксплуатации автомобильных дорог, мостов, транспортных тоннелей, аэродромов, имеет свои специфические особенности. Методы инженерно-геодезических работ в изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации указанных объектов нашли отражение в электронном учебно-методическом комплексе (ЭУМК).

Изложение материала в ЭУМК построено таким образом, чтобы максимально облегчить самостоятельную работу студентов при изучении основ инженерной геодезии.

В структуру ЭУМК входят: теоретический раздел, практический раздел, раздел контроля знаний, вспомогательный раздел.

РАЗДЕЛ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ЛЕКЦИЯ №1 Общие сведения о геодезии и ее научных дисциплинах.

Краткие исторические сведения о геодезии.

Геодезия (от греческого geo - земля и desio - разделяю) - наука, занимающаяся определением фигуры и размеров Земли, изображением земной поверхности на планах и картах и точными измерениями на местности при осуществлении различных инженерных мероприятий. Название "геодезия" ("землеразделение") указывает на те первоначальные практические задачи, которые обусловили возникновение этой науки, но уже не характеризует современного многостороннего содержания геодезии и не раскрывает сущности ее научных проблем и практических задач, связанных с разнообразными потребностями человеческой деятельности.

Геодезия возникла в глубокой древности, когда появилась необходимость землеизмерения и изучения земной поверхности для хозяйственных целей. В Древнем Египте еще в 18 в. до н.э. существовало руководство по решению арифметических и геометрических задач, связанных с землеизмерением и определением площадей земельных участков. Геодезия развивалась в тесной связи с задачами составления планов и карт земной поверхности. Планами и картами отдельных местностей и даже больших стран также пользовались в глубокой древности. Имеются сведения, что в Китае уже около 10 в. до н.э. существовало особое учреждение для топография, съёмок страны. В 7 в. до н.э. в Вавилоне и Ассирии на глиняных дощечках составлялись общегеографические и специальные карты, на которых давались сведения также и экономического характера.

Методы геодезии уже на ранней ступени её развития получили применение при решении различных инженерных задач. В 6 в. до н.э. существовали такие инженерные сооружения, как канал между Нилом и Красным морем, оросительные системы в долине Нила и т.д. Эти сооружения не могли быть осуществлены без соответствующих геодезических измерений, явившихся началом инженерной геодезии.

В 6 в. до н.э. появились предположения о шарообразности Земли и высказаны и некоторые из известных нам доказательств, что Земля имеет форму шара. В это время геодезия получила своё современное название и стала выделяться в самостоятельную науку о методах измерения на земной поверхности и определения размеров земного шара. Знание размеров Земли было необходимо для составления географических карт, в которых нуждались торговля, мореплавание, военное дело и вообще развивающаяся хозяйственная и культурная жизнь народов.

Первое в истории науки определение размеров Земли, как шара, было произведено в Древнем Египте греческим учёным Эратосфеном в 3 в. до н.э. Оно было основано на правильном геометрическом методе, который получил название градусных измерений.

Эратосфену было известно, что в городе Сиене (современный Асуан) в день летнего солнцестояния – 22 июня в 12 часов дня – солнце освещает дно очень глубокого колодца, т.е. бывает над головой - в зените. Все объекты, расположенные на этой широте, тени не дают. Колодец отвесный; следовательно, если продолжить направление солнечного луча в земные недра, то эта линия пройдет через центр Земли. В этот же момент в городе Александрии солнце в полдень не стоит в зените и не освещает дно колодца. Вертикальные предметы – столбы, башни и др. дают тень. Будучи уверен, что оба города расположены на одном меридиане, а солнце находится в бесконечности и его лучи могут считаться параллельными. Эратосфен решил очень интересную и важную задачу.

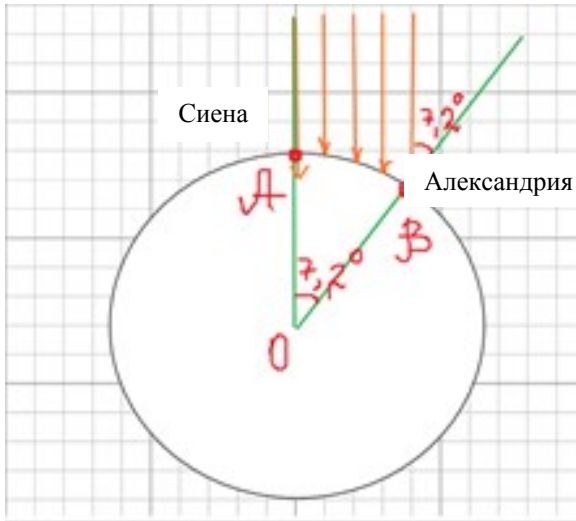


Рис. 1. Определение размеров Земли

Отвесную линию от столба в Александрии он мысленно продолжил к центру Земли, до пересечения с отвесной линией идущей от колодца в Сиене (рис. 1.). Угол, образованный пересекающимися лучами в центре Земли, равен углу, образованному солнечным лучом со столбом в городе Александрии, так как эти углы внутренние накрест лежащие. Эратосфен измерил данный угол в Александрии специальным прибором скафисом, который оказался равным $7,2^\circ$. Следовательно, центральный угол также равен $7,2^\circ$, что составляет $1/50$ часть окружности. Расстояние от Александрии до Сиены, т.е. длину дуги центрального угла в линейной мере, Эратосфен определил по времени прохождения каравана верблюдов – приблизительно. Она оказалась равной 5000 стадий (одна стадия равна 157,5 м). Если произвести расчет то расстояние равно: $5\ 000 \text{ стадий} \times 157,5 \text{ м} = 787\ 500 \text{ м}$.

Так как центральному углу $\text{AOB} = 7,2^\circ$ соответствует дуга $\text{AB} = 787500 \text{ м}$, то можно составить пропорцию: $\frac{360}{7,2} =$

$$\frac{L}{787500},$$

где, L – длина всей окружности.

Решив эту пропорцию, получаем длину всей окружности

$$L = \frac{360 \times 787500}{7,2} = 39375000 \text{ м.}$$

Помня о том, что длина всей окружности $L = 2\pi R$,

где R – радиус окружности, находим:

$$R = \frac{39375000}{2\pi} = \frac{39375000}{2 \times 3.14} = 6269904,4586 \text{ м.}$$

Сравним полученные данные с размерами Земли, рассчитанными другими, более современными способами, где минимальный радиус Земли у полюсов 6 356 863 м, максимальный радиус на экваторе 6 378 245 м, а средний радиус Земли – 6 371 302 м.

Рассчитаем погрешность вычисления в опыте Эратосфена:

$$(6371 \text{ 302 м} - 6269 \text{ 904 м}) / 6 \text{ 371 302 м} = 0,0159 = 1,59 \text{ \%}.$$

Применение геодезии и выполнение геодезических работ в России относится к глубокой древности. Еще в 1068 по приказанию князя Глеба было измерено расстояние между городами Тамань и Керчь по льду Керченского залива. В сборнике законов Древней Руси "Русская Правда", относящемся к 11 - 12 вв., содержатся постановления о земельных границах, которые устанавливались путём измерений на местности. Одна из первых карт Московского государства, т. н. "Большой чертёж", время составления которой неизвестно (оригинал и сделанная в 1627 копия не сохранились), основывалась на маршрутных съёмках и опросных данных. В царствование Ивана IV служилые люди были обязаны производить съёмку и составлять описание тех местностей, куда они направлялись. Таким образом был собран большой описательный и картографический материал для создания карт Московского государства и прилегающих к нему территорий.

Развитие современной геодезии и методов геодезических работ началось только в 17 в. В начале 17 в. была изобретена зрительная труба, которая имела большое значение для геодезических работ. В то же время была изобретена триангуляция, превратившаяся впоследствии в один из основных методов определения опорных геодезических пунктов для топографических съёмок. Появление угломерного инструмента, называемого теодолитом, и сочетание его со

зрительной трубой, снабжённой сеткой нитей, сильно повысило точность угловых измерений, ставших важнейшей частью работ по триангуляции. В середине 17 в. был изобретён барометр, явившийся одним из инструментов для определения высоты точек земной поверхности. Были разработаны графические методы топографической съёмки, упростившие задачи составления топографических карт. На рубеже 16 и 17 вв. было установлено, что на Земле действуют силы, которые позднее получили название сил тяготения, или гравитационных сил. Во второй половине 17 в. была открыта центробежная сила и обнаружена зависимость периода колебания физического маятника от его длины и ускорения силы тяжести. К этому же времени относится установление фактов изменения длины секундного маятника с изменением широты места. Обобщение и объяснение этих явлений и фактов привело к открытию закона всемирного тяготения и обоснованию взгляда о сфероидичности Земли, т.е. сплюснутости её в направлении полюсов.

Развитие геодезии и геодезических работ в России усилилось при Петре I. В 1701 он основал в Москве одну из первых в России астрономических обсерваторий и Школу математических и навигационных наук, готовившую астрономов, геодезистов, географов, гидрографов и навигаторов. В 1715 такая же школа, названная Морской академией, была открыта в Петербурге. В 1703 была издана "Арифметика" Л.Ф. Магницкого, в которой содержались основные сведения по геодезии и астрономии.

Первые топографические съёмки в России были начаты в 1696 на р. Дон, а в 1715 на р. Иртыш. В 1718-1722 геодезисты И.М. Евреинов и Ф.Ф. Лужин выполнили топографические и географические работы на Камчатке и Курильских о-вах. В 1720 "для сочинения ланд-карт", т.е. для топографических съёмок, геодезисты были направлены в губернии. Пётр I подчинил картографические работы непосредственно Сенату, подчеркнув тем самым их большое государственное значение. В 1720 была издана первая инструкция для ведения астрономо-геодезических работ в России.

В 1816 под руководством русского военного геодезиста К.И. Теннера было начато построение триангуляции в западных

пограничных губерниях России (современная территория Беларуси), а в прибалтийских губерниях России - градусное измерение по меридиану, которое возглавлялось известным астрономом В.Я. Струве. Эти работы имели очень большое значение в развитии теории геодезия и методов геодезических работ. Теннер впервые ввёл деление триангуляции на классы и наметил научные принципы её построения. Он сконструировал один из типов базисного прибора, который позволял измерять базисы с точностью до $1/300000$. Струве разработал названный его именем способ измерения углов триангуляции, исследовал влияние рефракции на результаты измерения углов и создал наилучший для того времени базисный прибор, применявшийся в течение всего 19 в. Работы Струве и Теннера завершились в 1855. Было закончено измерение огромной дуги меридиана, простирающейся от устьев Дуная до берегов Ледовитого океана и имеющей протяжённость более 25° по широте. Это градусное измерение, называемое "дугой Струве", которое являлось выдающейся работой по геодезии в 19си в. и для того времени имело наивысшую точность, оказало решающее влияние на развитие теорий и методов геодезических и астрономических работ во всём мире. Оно неоднократно использовалось и до сих пор не потеряло значения для определения размеров Земли.

В 1836-37 В.Я. Струве, А.Н. Савич и др. определили разности уровней Азовского и Каспийского морей. При этом отечественные учёные усовершенствовали метод геодезического нивелирования и разработали один из методов базисной полигонометрии. Для развития теорий и методов геодезических и астрономических работ во всём мире выдающееся значение имела деятельность организованной в 1839 Пулковской астрономической обсерватории, которая вплоть до первой мировой войны являлась центром научного руководства этими работами в России. Два способа, разработанные русскими геодезистами, получили общее признание в астрономических работах на пунктах градусных измерений и при определениях положений опорных пунктов для топографич. съёмок. Это способ определения времени, предложенный Н.Я. Цингером в 1874, и способ определения 'широты из астрономич. наблюдений, предложенный М.В.

Певцовым в 1887. Русский астроном О.А. Баклунд и др. в 1888 выполнили первое исследование базисного прибора Едерина, который стал применяться в России значительно раньше, чем в др. странах.

На рубеже 18 и 19 вв. возросли запросы и требования на топографические карты. Войны того периода показали значение и ценность топографических карт для военного дела. Во многих странах Европы были созданы военно-географические институты и военно-топографические управления, производившие основные астрономо-геодезические и съёмочные работы на территории своих государств и колоний. При выполнении этих работ совершенствовались методы и инструменты геодезических измерений. В 1-й половине 19 в. стал применяться теодолит с микроскопами-микрометрами, сильно повысивший точность измерения углов, и были сконструированы различные типы жезловых базисных приборов. К этому же времени относится разработка современных методов измерения углов в триангуляции.

В годы Советской власти основные геодезические работы и топографические съёмки на территории СССР развернулись на основе новых программных установок, принятых с учётом их значения для народного хозяйства страны и для решения важнейших научных проблем геодезии. В ходе развития геодезических работ в СССР непрерывно совершенствовались теории и методы геодезии и складывалась самобытная советская геодезическая наука, достигшая выдающихся успехов, которые выдвинули её на первое место в мире.

В процессе развития геодезии выделился ряд связанных между собой научных дисциплин. Среди них следует назвать те, которые в определенной мере учитываются или используются в геодезическом обеспечении строительства:

космическая (спутниковая) геодезия, рассматривающая методы координатных описаний движения искусственных спутников Земли в режиме реального времени для решения геодезических задач методами, основанными на определении расстояний от наземных приемников до спутников, излучающих специальные радиосигналы;

высшая геодезия изучающая методы определения формы и размеров планеты Земля, методы координатных определений на ее поверхности, современные движения земной коры и их прогнозирование с использованием астрономических, гравиметрических, геодезических измерений и спутниковых систем позиционирования;

топография, рассматривающая методы производства измерений на земной поверхности, аэрокосмические методы дистанционного зондирования земной поверхности, их обработки и представления для создания топографических карт и планов;

фотограмметрия, рассматривающая методы расчета параметров аэрофотосъемки земной поверхности для получения стереографического изображения и пространственной модели местности, на основе которой аналитическими методами создаются топографические карты; в настоящее время внедряются технологии цифровой и космической фотограмметрии на основе сканерных съемок местности;

картография, изучающая теоретические основы картографических проекций и технологию создания карт различных масштабов и назначения для отображения земной поверхности, различных природных и техногенных объектов на ней, обеспечения рациональных методов природопользования; в настоящее время развиваются методы создания и практического использования цифровых и электронных карт;

маркшейдерское дело, рассматривающее применение методов геодезии при строительстве подземных сооружений (например, тоннелей) и для обеспечения геометрических задач горнодобывающей промышленности, решаемых при разведке и съемке залежей полезных ископаемых, строительстве горных сооружений, проходке и съемке горных выработок, определении их объема и положения, а также др.;

инженерная геодезия, рассматривающая методы производства геодезических измерений в условиях строительства различных объектов. Основными задачами инженерной геодезии являются:

топографо-геодезические изыскания, в ходе которых выполняется создание на объекте работ съемочной

геодезической сети, топографическая съемка, геодезическая (координатная) привязка точек инженерно-геологических, гидрологических и других изысканий;

инженерно-геодезическое проектирование, включающее разработку генеральных планов сооружений и их цифровых моделей; геодезическую подготовку проекта по выносу сооружений в натуру в плане и по высоте, расчеты по горизонтальной и вертикальной планировке территории застройки, определению площадей, объемов земляных работ и др.;

геодезические разбивочные работы, включающие создание на объекте геодезической разбивочной сети и последующий вынос ее в натуру плановых и высотных опорных точек сооружения, необходимых для придания объекту заданной геометрической формы;

геодезическая выверка конструкций и технологического оборудования при установке их в проектное положение;

наблюдения за деформациями сооружений в виде определения неравномерности их осадки и плановых смещений, а также крена.

2. Определение положения точек земной поверхности

Точное определение положения точек земной поверхности связано с наиболее правильным определением размера и формы Земли. Как известно планета Земля имеет близкую к шарообразной фигуру, поверхность которой представляет собой рельеф, выраженный сочетаниями неровностей различной величины и формы.

В геодезии, как и в любой другой науке, одним из основополагающих принципов является принцип перехода от общего к частному. Исходя из него, для решения научных и инженерных задач по изучению физической поверхности Земли, а также других геодезических задач, сначала необходимо определиться с математической моделью поверхности Земли.

Математическая поверхность Земли

За математическую поверхность Земли принимают уровенную поверхность, которая представляет собой поверхность воды океанов в ее спокойном состоянии, мысленно продолженную под материи.

Уровенная поверхность - в геодезии, поверхность, во всех точках которой потенциал силы тяжести имеет одинаковую величину. Направление нормали к уровенной поверхности совпадает с направлением силы тяжести, т. е. с линией отвеса. Примером уровенной поверхности является поверхность жидкости, находящейся в равновесии. Уровенная поверхность гравитационного поля Земли, совпадающая со средним уровнем воды в океанах, называется геоидом и принимается за математическую поверхность Земли, или «уровень моря», от которого отсчитывают высоты точек земной поверхности. Форма уровенной поверхности весьма сложна и зависит от внутреннего строения Земли.

Геоид - фигура, которую образовала бы поверхность Мирового океана и сообщаемых с ним морей при некотором среднем уровне воды, свободной от возмущений приливами, течениями, разностями атмосферного давления и т. д. Для понимания математической поверхности Земли рассмотрим любую материальную точку A на физической поверхности Земли (рис. 2).

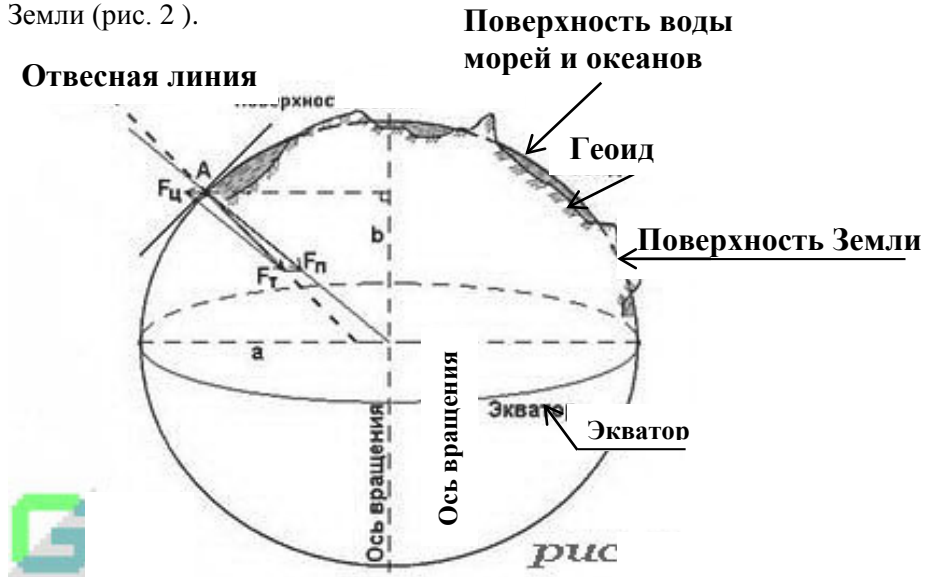


Рис. 2. Математическая поверхность Земли

На эту точку оказывают влияние две силы: сила притяжения F_p , направленная к центру Земли, и центробежная сила вращения Земли вокруг своей оси F_c , направленная от оси вращения по перпендикуляру. Равнодействующая этих сил называется силой тяжести F_t . В любой точке земной поверхности направление силы тяжести, называемое ещё вертикальной или отвесной линией, можно легко и просто определить с помощью уровня или отвеса. Оно играет очень большую роль в геодезии. По направлению силы тяжести ориентируется одна из осей пространственной системы координат.

Если через точку A построить замкнутую поверхность, которая в каждой своей точке будет перпендикулярна отвесной линии (направлению силы тяжести), то данную поверхность можно принять в качестве математической при решении некоторых частных задач в геодезии. Такая поверхность получила название уровенной или горизонтальной. Её недостаток в том, что она содержит элемент неопределенности, т. е. через любую точку можно провести свою уровенную поверхность, и таких поверхностей будет бесчисленное множество.

Для устранения этой неопределенности при решении общих геодезических задач принимается так называемая общая математическая поверхность, т. е. уровенная поверхность, которая в каждой своей точке совпадает со средним уровнем морей и океанов в момент полного равновесия всей массы воды под влиянием силы тяжести. Такая поверхность носит название общей фигуры Земли или поверхности геоида.

Геоид – выпуклая замкнутая поверхность, совпадающая с поверхностью воды в морях и океанах в спокойном состоянии и перпендикулярная к направлению силы тяжести в любой её точке. Фигура геоида зависит от распределения масс и плотностей в теле Земли. Из-за неравномерного распределения масс внутри Земли геоид не имеет правильной геометрической формы, и в математическом отношении его поверхность характеризуется слишком большой сложностью. Поэтому там, где это допустимо, поверхность геоида заменяется приближенными математическими моделями, в качестве

которых принимается в одних случаях земной сфероид, в других – земной шар, а при топографическом изучении незначительных по размеру территорий – горизонтальная плоскость, т. е. плоскость, перпендикулярная к вертикальной линии в данной точке.

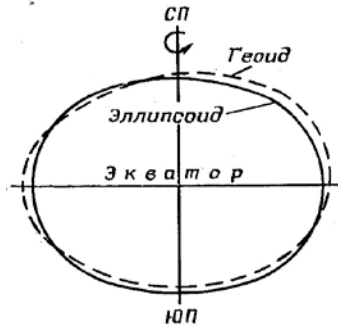


Рис. 3. Земной сфероид – эллипсоид вращения

Земной сфероид – эллипсоид вращения получается вращением эллипса вокруг его малой оси b (см. рис. 3), совпадающей с осью вращения Земли, причем центр эллипсоида совмещается с центром Земли. Размеры эллипсоида подбирают при условии наилучшего совпадения поверхности эллипсоида и геоида в целом (общеземной эллипсоид) или отдельных его частей (референц-эллипсоид). Фигура референц-эллипсоида наилучшим образом подходит для территории отдельной страны или нескольких стран. Размеры референц- эллипсоида в разное время определялись многими учеными по материалам градусных измерений. В США, Канаде, Мексике, Франции при создании карт пользуются размерами референц-эллипсоида Кларка, в Финляндии и некоторых других странах – размерами референц- эллипсоида Хейфорда, в Австрии - размерами референц-эллипсоида Бесселя .

Наиболее удачная математическая модель Земли в виде референц-эллипсоида была предложена проф. Ф. Н. Красовским с большой полуосью $a=6378245$ м, малой – $b=6356863$ м и коэффициентом сжатия у полюсов $a = (a-b)/a = 1/298.3 \sim 1/300$. Отклонения эллипсоида Красовского от геоида на территории СНГ не превышают 150 м. Постановлением Совета Министров

СССР № 760 от 7 апреля 1946 года эллипсоид Красовского принят для территории нашей страны в качестве математической поверхности Земли.

В инженерной геодезии для практических расчетов за математическую поверхность Земли принимают шар со средним радиусом $R=6371.11$ км. Объем шара равен объему земного эллипсоида

Учет кривизны Земли при измерении высот.

Пусть точки T_0 и C_0 - вертикальные проекции точек T и C на поверхность Земли на сферу по радиусам $R = TO$ и $R = CO$ (рис. 4).

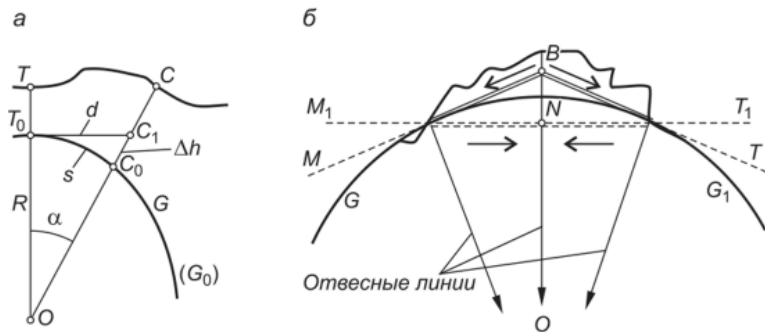


Рис. 4. Учет кривизны уровенной поверхности

В точке T_0 проведем горизонтальную линию T_0C_1 - касательную к сфере. Точка C_1 представляет вертикальную проекцию точки C на касательную T_0C_1 , а вертикальное расстояние $C_0C_1 = \Delta h$ выражает влияние фактора кривизны на измерения высот точек, определяемых относительно горизонтальных линий:

$$\Delta h = C_1O - C_0O = \sqrt{R^2 + d^2} - R \approx d^2 / 2R,$$

или $\Delta h = d^2 / 2R$ (1)

Для различных расстояний d при $R = 6371$ км по формуле (1.1) вычислим значения Δh и получим следующие результаты (табл. 1).

Величины поправок Δh в зависимости от расстояния D

Таблица 1

D (км)	0,1	0,2	0,3	1	2	10
Δh (мм)	0,78	3,1	7	78	314	7800

Величина Δh учитывается как поправка при расчете высоты точки C относительно поверхности C_0 сферы или практически относительно основной уровенной поверхности C . Несовпадение между уровенной поверхностью C и горизонтальной плоскостью $To C_1$ необходимо учитывать при строительстве ряда сооружений, например тоннелей (рис. 5, б). Если тоннель проектировать в вертикальном разрезе прямолинейным по оси MT то после его строительства подземные и дождевые воды будут стекать относительно уровенной поверхности GG_1 (и отвесных линий) к средней его зоне N . Для обеспечения естественного стока тоннели строят с подъемом их средней части, например по профилю MBT .

Учет фактора кривизны Земли при измерении расстояний.

Согласно рис. 4, a расстояния d и s между проекциями точек T и C на плоскость (точки To и C_1) и на сферу (точки To и Co) различаются за счет фактора кривизны Земли на абсолютную величину

$$\Delta d = d - s = Rtg\alpha - s, \quad (2)$$

где угол $\alpha = \frac{s}{R}$ выражен в радианах.

Значение Δd вычисляется и по приближенной формуле:

$$\Delta d = d^3 / 3R^2 \quad (3)$$

Относительная величина $\Delta d/d$ разности длин d и s получается из формулы (2):

$$\Delta d/d = d^2 / 3R^2 \quad (4)$$

Из формулы (4) рассчитываются на сферической поверхности размеры участка, в пределах которого можно не учитывать влияние фактора кривизны при условии, что допускается относительная величина искажения длины

$$\Delta d / d = 1 / 1\,000\,000 \text{ (1 мм / 1 км).}$$

Решив уравнение (4), получаем $d = 11$ км - радиус участка, который отвечает поставленному условию. Если принять иную величину допуска, например $\Delta d / d = 1 / 200\,000$ (5 мм / 1 км), то плоским можно считать участок на сферической и уральной поверхности радиусом 25 км

Метод ортогональной проекции на горизонтальную плоскость.

Иначе этот метод называется методом горизонтальной проекции и применяется при выполнении геодезических работ для отображения их данных на горизонтальной плоскости в виде числовых величин и картографических чертежей. Точки контура ABCM земной поверхности (рис. 5, а) проецируют на урную поверхность P_u отвесными линиями. На уральной поверхности точки a', b', c', m' линии $m'a', m'c', a'b', b'c', a'm'$, а также контур $a'b'c'm'$ представляют отвесные проекции соответствующих элементов контура ABCM. Для ограниченной территории на горизонтальной плоскости P_g ортогональная проекция осуществляется практически параллельными

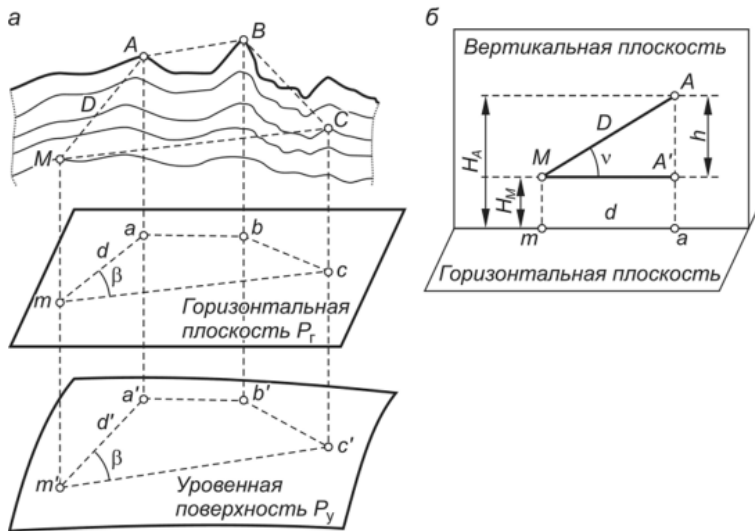


Рис. 5. Ортогональные проекции:

вертикальными лучами: получаются точки a, b, c, m ; линии ma, mc, ab, bc , а также контур $abcm$.

В инженерной практике горизонтальную плоскость P_2 приближают к уровенной поверхности на территории города, промышленного предприятия.

Отрезок прямой линии MA длиной D (см. рис. 5, б) принадлежит вертикальной плоскости $mMAa$. Угол наклона прямого отрезка MA измеряется относительно горизонтальной плоскости или параллельной ей прямой линии MA (рис. 5, б). Длина d проекции ma отрезка MA на горизонтальную плоскость называется *горизонтальным проложением* наклонной прямой линии и вычисляется по формуле:

$$d = D \cos \alpha \quad (5)$$

Горизонтальные углы. В соответствии с методом ортогональной проекции на горизонтальную плоскость (горизонтальной проекции) в геодезии измеряют *горизонтальный угол* между направлениями MA и MC (см. рис. 5, а), который определяется как двугранный угол β между вертикальными плоскостями $AMm'a'$ и $CMm'c'$, проходящими через общую отвесную линию Mm' и заданные точки местности A и C . Поскольку горизонтальная плоскость P_H и уровенная поверхность P_u в точках m и m' перпендикулярны отвесной линии Mm' , то горизонтальный угол β будет одинаков на малых площадках уровенной поверхности и горизонтальной плоскости.

ЛЕКЦИЯ № 2. Системы координат применяемые в геодезии

Системы координат.

Координаты – это величины, определяющие положение любой точки на поверхности или в пространстве в принятой системе координат. Система координат устанавливает начальные (исходные) точки, линии или плоскости для отсчета необходимых величин – начало отсчета координат и единицы их исчисления. В топографии и геодезии наибольшее применение получили системы географических, прямоугольных, полярных и биполярных координат.

Географические координаты применяются для определения положения точек поверхности Земли на эллипсоиде (шаре). В этой системе координат исходными являются плоскость начального меридиана и плоскость экватора.

Меридианом называют линию сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через данную точку и ось вращения Земли.

Параллелью называют линию сечения эллипсоида плоскостью, проходящей через данную точку и перпендикулярную земной оси.

Параллель, плоскость которой проходит через центр эллипсоида, называется **экватором**. Через каждую точку, лежащую на поверхности земного шара, можно провести только один меридиан и только одну параллель.

Геодезические координаты

Геодезические координаты определяют положение точки земной поверхности на референц-эллипсоиде (рис.б).

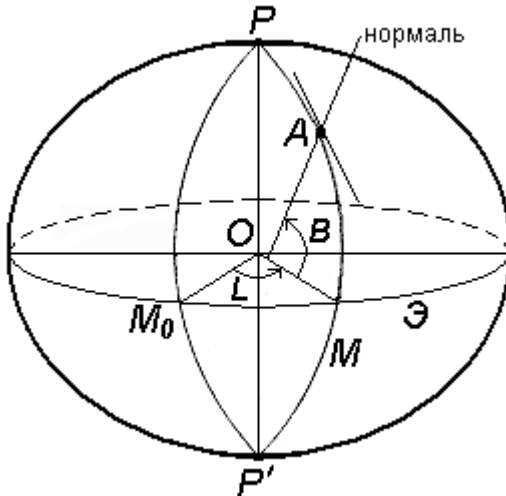


Рис. 6. Система геодезических координат

Геодезическая широта B – угол, образованный нормалью к поверхности эллипсоида в данной точке и плоскостью его экватора. Широта отсчитывается от экватора к северу или югу от 0° до 90° и соответственно называется северной или южной широтой.

Геодезическая долгота L – двугранный угол между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического Гринвичского меридиана.

Долготы точек, расположенных к востоку от начального меридиана, называются восточными, а к западу – западными.

Астрономические координаты (для геодезии)

Астрономическая широта φ и долгота λ определяют положение точки земной поверхности относительно экваториальной плоскости и плоскости начального астрономического меридиана (рис.7).

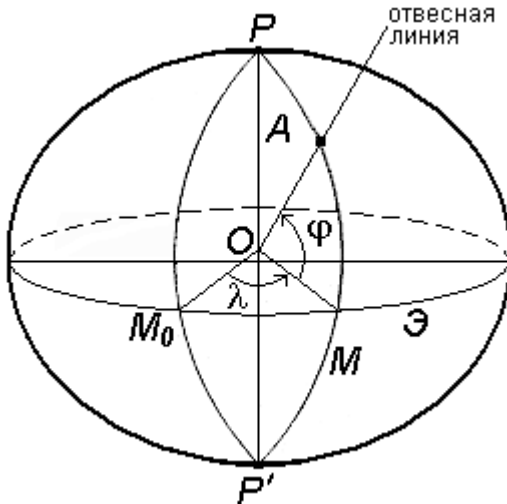


Рис. 7. Система астрономических координат

Астрономическая широта φ – угол, образованный отвесной линией в данной точке и экваториальной плоскостью.

Астрономическая долгота λ – двугранный угол между плоскостями астрономического меридиана данной точки и начального астрономического меридиана.

Плоскостью астрономического меридиана является плоскость, проходящая через отвесную линию в данной точке и параллельная оси вращения Земли.

Астрономическая широта φ и долгота λ определяются астрономическими наблюдениями.

Геодезические и астрономические координаты отличаются (имеют расхождение) из-за отклонения отвесной линии от нормали к поверхности эллипсоида. При составлении географических карт этим отклонением пренебрегают.

Географические координаты

Географические координаты – величины, обобщающие две системы координат: геодезическую и астрономическую, используют в тех случаях, когда отклонение отвесных линий от нормали к поверхности не учитывается (рис.8).

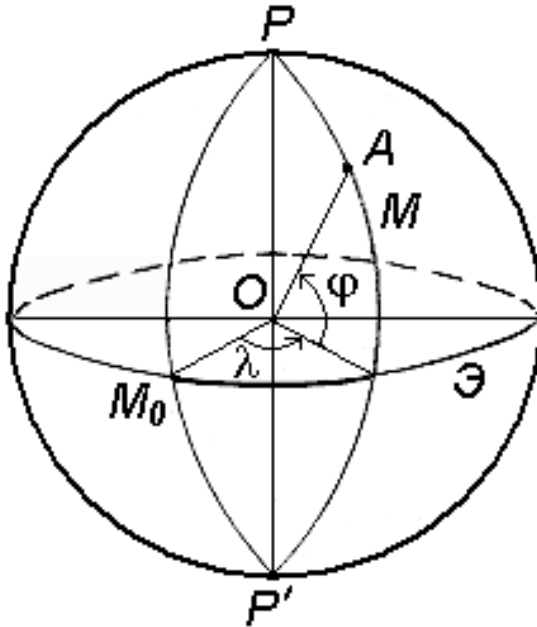


Рис. 8. Система географических координат

Географическая широта φ – угол, образованный отвесной линией в данной точке и экваториальной плоскостью.

Географическая долгота λ – двугранный угол между плоскостями меридиана данной точки с плоскостью начального меридиана.

Плоские прямоугольные координаты (зональные).

Система географических координат проста, но неудобна для практического применения, т.к. географические координаты выражают в угловых величинах, а их линейные значения в различных частях земного эллипсоида неодинаковы. Поэтому в геодезии широко распространена система плоских прямоугольных координат.

При решении инженерно-геодезических задач в основном применяют плоскую прямоугольную и полярную системы координат.

Прямоугольными координатами называются линейные величины – абсцисса и ордината, определяющие положение точки на плоскости относительно исходных направлений.

В геодезии и топографии принята правая система прямоугольных координат. Это отличает ее от левой системы координат, используемой в математике.

Для определения положения точек в плоской прямоугольной системе координат используют горизонтальную координатную плоскость XOY (рис. 9), образованную двумя взаимно перпендикулярными прямыми. Одну из них принимают за ось абсцисс X , другую – за ось ординат Y , точку пересечения осей O – за начало координат.

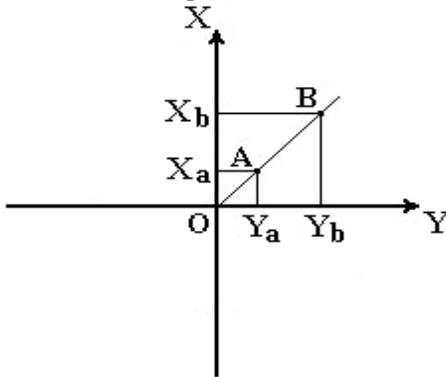


Рис.9. Плоская прямоугольная система координат

Изучаемые точки проектируют с математической поверхности Земли на координатную плоскость XOY . Так как сферическая поверхность не может быть спроектирована на плоскость без искажений (без разрывов и складок), то при построении плоской проекции математической поверхности Земли принимается неизбежность данных искажений, но при этом их величины должным образом ограничивают. Для этого применяется равноугольная картографическая проекция Гаусса – Крюгера (проекция названа по имени немецких ученых, предложивших данную проекцию и разработавших формулы для её применения в геодезии), в которой математическая поверхность Земли проектируется на плоскость по участкам –

зонам, на которые вся земная поверхность делится меридианами через 6° или 3° , начиная с начального меридиана (рис. 10).

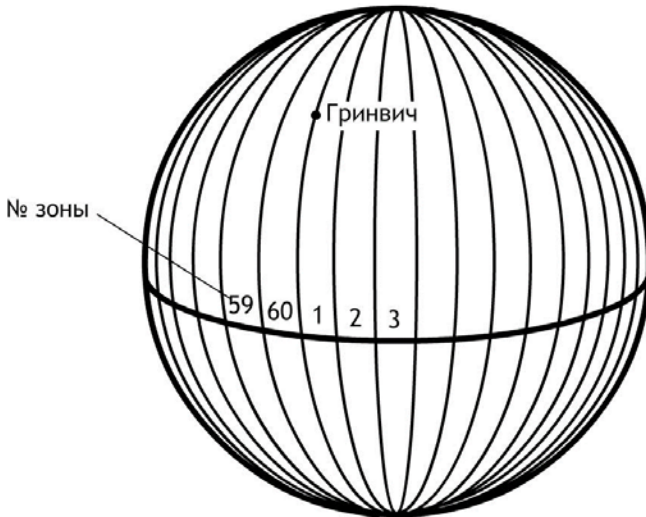


Рис. 10. Деление математической поверхности Земли на шестиградусные зоны

В пределах каждой зоны строится своя прямоугольная система координат. С этой целью все точки данной зоны проецируются на поверхность цилиндра (рис. 11, а), ось которого находится в плоскости экватора Земли, а его поверхность касается поверхности Земли вдоль среднего меридиана зоны, называемого осевым. При этом соблюдается условие сохранения подобия фигур на земле и в проекции при малых размерах этих фигур.

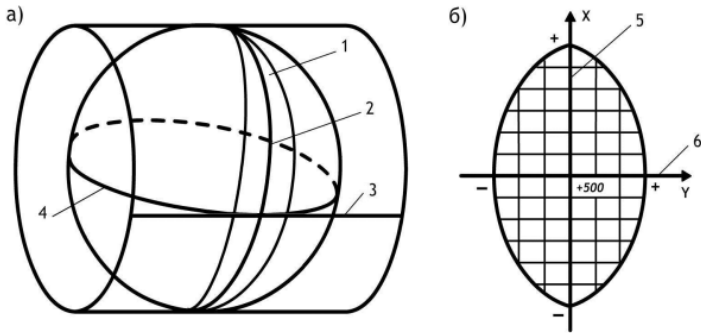


Рис. 11. Равноугольная картографическая проекция Гаусса – Крюгера

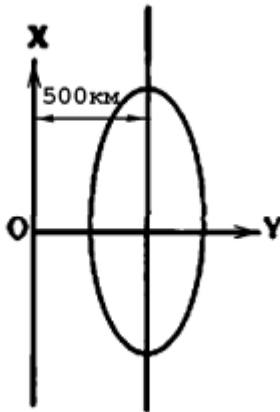


Рис. 12. Зональная система координат (б):

1 – зона, 2 – осевой (средний) меридиан зоны, 3 – проекция экватора на поверхность цилиндра, 4 – экватор, 5 – ось абсцисс – проекция осевого меридиана, 6 – ось ординат – проекция экватора

После проектирования точек зоны на цилиндр, он разворачивается на плоскость, на которой изображение проекции осевого меридиана и соответствующего участка экватора будет представлена в виде двух взаимно перпендикулярных прямых (рис. 12). Точка пересечения их принимается за начало

зональной плоской прямоугольной системы координат, изображение северного направления осевого меридиана – за положительную ось абсцисс, а изображение восточного направления экватора – за положительное направление оси ординат.

Для всех точек на территории нашей страны абсциссы имеют положительное значение. Чтобы ординаты точек также были только положительными, в каждой зоне ординату начала координат принимают равной 500 км. Таким образом, точки, расположенные к западу от осевого меридиана, имеют ординаты меньше 500 км, т.к. наибольшая ширина шестиградусной зоны не превышает 385 км, а к востоку – больше 500 км и менее 900 км. Эти ординаты называют преобразованными.

На границах зон в пределах широт от 30° до 70° относительные ошибки, происходящие от искажения длин линий в этой проекции, колеблются от 1 : 1000 до 1 : 6000. Когда такие ошибки недопустимы, прибегают к трехградусным зонам.

На картах, составленных в равноугольной картографической проекции Гаусса – Крюгера, искажения длин в различных точках проекции различны, но по разным направлениям, выходящим из одной и той же точки, эти искажения будут одинаковы. Круг весьма малого радиуса, взятый на ровной поверхности, изобразится в этой проекции тоже кругом. Поэтому говорят, что рассматриваемая проекция конформна, т. е. сохраняет подобие фигур на сфере и в проекции при весьма малых размерах этих фигур. Таким образом, изображения контуров земной поверхности в этой проекции весьма близки к тем, которые получаются.

Четверти прямоугольной системы координат нумеруются. Их счет идет по ходу стрелки от положительного направления оси абсцисс (рис.13).

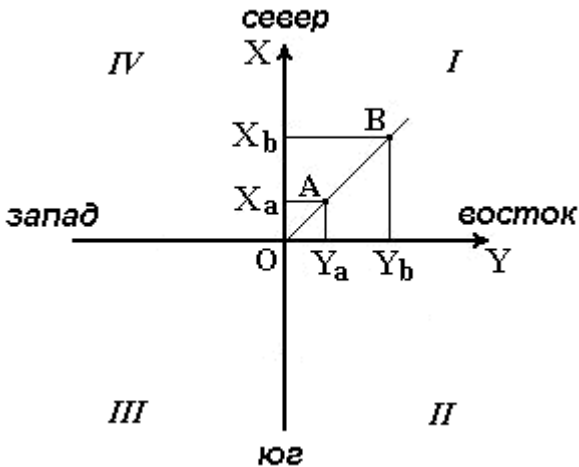


Рис. 13. Четверти прямоугольной системы координат

Если за начало плоской прямоугольной системы координат принять произвольную точку, то она будет называться относительной или условной.

Система плоских прямоугольных координат применяется на ограниченных участках земной поверхности, которые могут быть приняты за плоские.

Полярные координаты

Координаты, началом отсчета которых является какая-либо точка местности, называются полярными. В данной системе координат производится измерение углов ориентирования. На горизонтальной плоскости (рис. 13) через произвольно выбранную точку O , называемую полюсом, проводят прямую OX – полярную ось.

При выполнении съемочных и разбивочных геодезических работ часто применяют полярную систему координат (рис.14). Она состоит из полюса O и полярной оси OP , в качестве которых принимается прямая с известным началом и направлением.

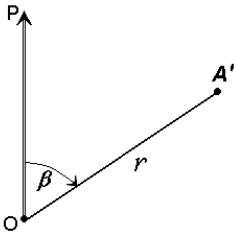


Рис. 14. Полярная система координат

Для определения положения точек в данной системе используют линейно-угловые координаты: угол β , отсчитываемый по часовой стрелке от полярной оси OP до направления на горизонтальную проекцию точки A' , и полярное расстояние r от полюса системы O до проекции A' .

Биполярные координаты

Система биполярных координат (рис. 15б) представляет собой два выбранных неподвижных полюса O_1 и O_2 , соединенные прямой – полярной осью. Данная система координат позволяет определить положение точки M относительно полярной оси на плоскости при помощи двух углов β_1 и β_2 , двух радиусов-векторов r_1 и r_2 или их комбинаций. Если известны прямоугольные координаты точек O_1 и O_2 , то положение точки M можно вычислить аналитическим способом.

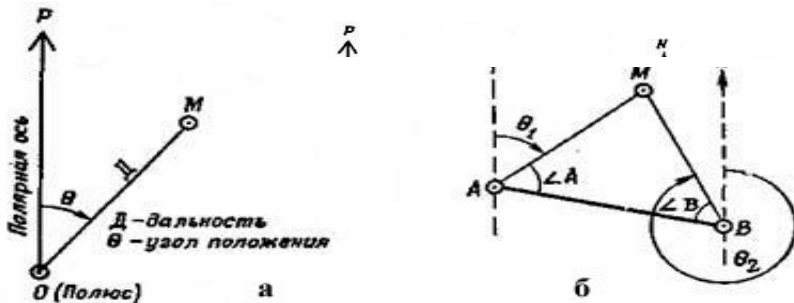


Рис. 15. Биполярные координаты

Всемирная геоцентрическая Система координат WGS 84

Аббревиатура, означающая World Geodetic System, что в переводе соответствует понятию глобальная опорная система, принятая на момент 1984 года с целью геодезического обеспечения ориентирования в мировом пространстве: космической, воздушной, морской и наземной навигации.

С конца пятидесятих годов прошлого столетия, когда практически происходило становление космической эры и в СССР, и в США возникла потребность в точном проведении, сопровождении космических запусков и полетов. Для обеспечения этой деятельности необходимо было создать единую планетарную геодезическую сеть, с помощью которой возможно было вести геодезические, гравиметрические и астрономические наблюдения.

Основные параметры WGS 84

Мировая система WGS-84 представляет собой астрономо-геодезическую-гравиметрическую систему отсчета, вписанную в фигуру Земли. Для любой такой системы характерными являются установление определенных параметров. К таким параметрам в системе отсчета WGS-84 относятся:

- геоцентрическая прямоугольная система координат с началом в точке геометрического центра масс Земли (показана на рис.16);

- математическая основа, за которую принята форма эллипсоида вращения с конкретными геометрическими и физическими величинами;

- гравитационная модель Земли, с определенными на конкретную дату величинами и их значениями.

Ориентирование оси OZ прямоугольной системы координат представлено в сторону условного направления на полюс, установленного в соответствии с данными международного бюро времени (ВИН) на дату 1984 года. В пересечении плоскости нулевого меридиана (Гринвичского) с отклонением в 5,31 секунды к востоку и экваториальной плоскости ориентирована ось OX . Правосторонне направленная и перпендикулярная к оси OX в плоскости экватора, если можно

так выразиться вторая плановая ось OY , завершает формирование геометрии отсчетной системы. Для исключения плавающего эффекта из-за движения земной коры, тектонических плит ориентация осей X , Y , Z остается неизменной.

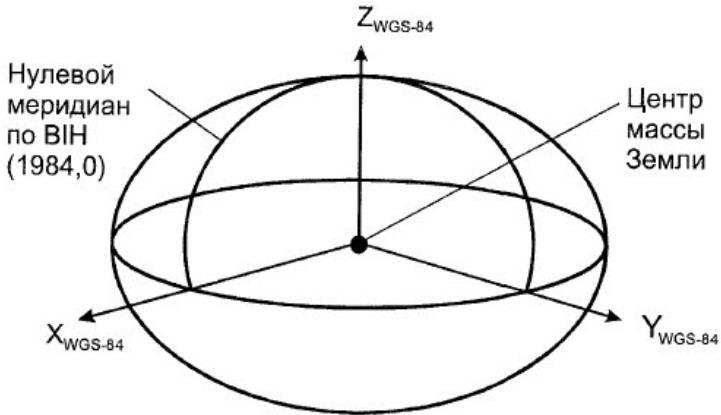


Рис.16. Геоцентрическая World Geodetic System 84.

Системы высот

Для определения положения точек физической поверхности Земли недостаточно знать только плановые координаты X , Y необходима третья координата – высота точки H . Высота точки является третьей координатой, определяющей её положение в пространстве. Высотой точки H (рис. 17) называется расстояние по отвесному направлению от данной точки (A) до принятой основной уровенной поверхности. Числовое значение высоты точки называется отметкой.

В геодезии для определения отметок точек применяются следующие системы высот (рис.17):

- ортометрическая (абсолютная);
- геодезическая;
- нормальная (обобщенная);
- относительная (условная).

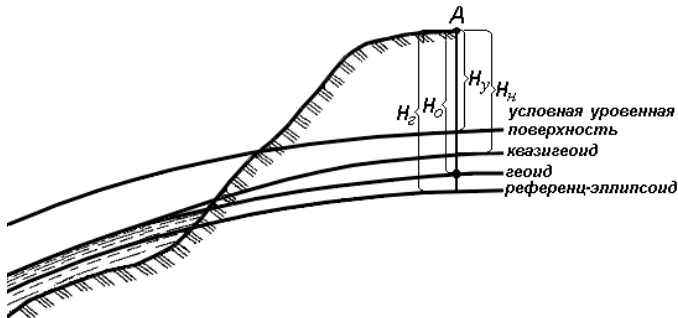


Рис. 17. Системы высот в геодезии

Ортометрическая (абсолютная) высота H_0 – расстояние, отсчитываемое по направлению отвесной линии от поверхности геоида до данной точки.

Геодезическая высота H_2 – расстояние, отсчитываемое по направлению нормали от поверхности референц-эллипсоида до данной точки.

Высоты, отсчитываемые от основной уровенной поверхности называют абсолютными высотами, а определяемые относительно произвольно выбранной уровенной поверхности – условными высотами. Разность высот двух точек или расстояние по отвесному направлению между уровенными поверхностями, проходящими через две любые точки Земли называется относительной высотой или превышением этих точек h .

В Республике Беларусь принята Балтийская система высот 1977 г. Счет высот ведется от уровенной поверхности, совпадающей со средним уровнем воды в Финском заливе, от нуля Кронштадтского футштока.

В нашей стране все высоты реперов государственной нивелирной сети определены в нормальной системе высот. Это связано с тем, что положение геоида под материками определить сложно. Поэтому с конца 40-х годов в СССР было принято решение не применять ортометрическую систему высот.

В нормальной системе высот отметка точки H_n отсчитывается по направлению отвесной линии от поверхности

квазигеоида, близкой к поверхности геоида. Отличие реального среднего уровня моря от геоида может достигать 1 м.

Квазигеоид («якобы геоид») – фигура, предложенная в 1950-х г.г. советским учёным М.С. Молоденским в качестве строгого решения задачи определения фигуры Земли путем тщательных измерений гравитационного поля Земли. Квазигеоид определяется по измеренным значениям потенциалов силы тяжести согласно положениям теории М.С. Молоденского.

Относительная высота H_y – измеряется от любой другой поверхности, а не от основной уровенной поверхности.

Ориентирование линий

Ориентировать линию значит определить ее направление относительно какого-либо исходного направления. В геодезии за исходные направления принимают географический меридиан, магнитный меридиан и осевой меридиан зоны. Ориентирование линий осуществляют при помощи ориентирующих углов: географического и магнитного азимутов, а также дирекционного угла.

Плоскость, проходящая в данной точке через ось вращения Земли, называется плоскостью географического или истинного меридиана. Направление истинного меридиана определяется из астрономических наблюдений. Географическим азимутом A линии BC в точке B называется горизонтальный угол (рис 18), отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана до данного направления BC , изменяющийся от 0 до 360°

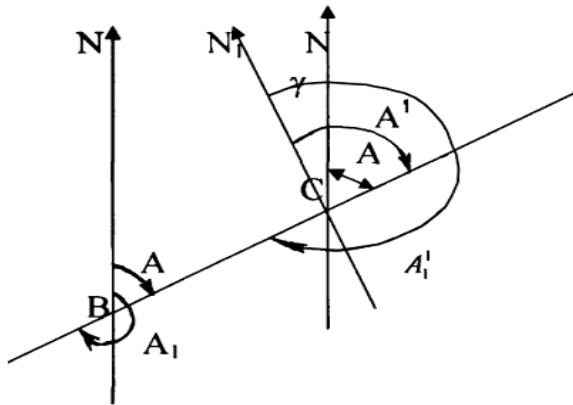


Рис. 18. Географические (истинные) азимуты линии BC

Так как меридианы в различных точках не параллельны, то азимут одной и той же линии в каждой ее точке имеет разное значение. Например, азимут (A) в точке B не равен азимуту (A1) в точке C.

Сближение меридианов - это угол (γ) в данной точке между ее меридианом и линией, параллельной оси абсцисс или осевому меридиану (рис. 19).

Направлению геодезического меридиана на топографической карте соответствуют боковые стороны ее рамки, а также прямые линии, которые можно провести между одноименными минутными делениями долгот.

Счет сближения меридианов ведется от геодезического меридиана. Сближение меридианов считается положительным, если северное направление оси абсцисс отклонено к востоку от геодезического меридиана (см. рис. 19), и *отрицательным*, если это направление отклонено к западу.

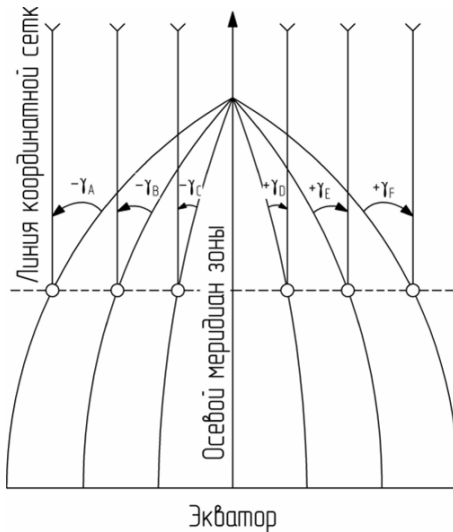


Рис. 19. Сущность сближения меридианов

Величина сближения меридианов, указанная на топографической карте в левом нижнем углу, относится к центру листа карты.

При необходимости величину сближения меридианов можно вычислить по формуле:

$$\gamma = (L - L_0) \sin B \quad (6)$$

где L — долгота данной точки;

L_0 — долгота осевого меридиана зоны, в которой расположена точка;

B — широта данной точки.

Широту и долготу точки определяют по карте с точностью до $30'$, а долготу осевого меридиана зоны рассчитывают по формуле:

$$L_0 = 6^\circ N - 3^\circ \quad (7)$$

Сближение меридианов равно нулю, если точка находится на осевом меридиане зоны или на экваторе.

Для любой точки в пределах одной координатной шестиградусной зоны сближение меридианов по абсолютной величине не превышает трех градусов.

Магнитное склонение — это угол между меридианом данной точки (O) и магнитным меридианом данной точки. Обозначается буквой δ (рисунок 20). Магнитное склонение может быть как западным — со знаком «-», так и восточным — со знаком «+».

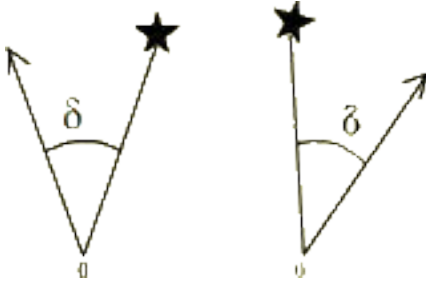


Рис. 20. Магнитное склонение.

Магнитное поле Земли — пространство вокруг земной поверхности, в котором обнаруживаются действия магнитных сил.

Плоскостью магнитного меридиана называется вертикальная плоскость, проходящая через магнитную ось стрелки, свободно помещенной на острие иглы.

Магнитные меридианы сходятся на Земле в двух точках, называемых северным и южным магнитными полюсами (N и S), которые не совпадают с географическими полюсами. Северный магнитный полюс находится на северо-западе Канады и перемещается в северо-западном направлении со скоростью около 16 миль в год. Южный магнитный полюс находится в Антарктиде и тоже перемещается.

Направлению геодезического меридиана на топографической карте соответствуют боковые стороны ее рамки, а также прямые линии, которые можно провести между одноименными минутными делениями долгот.

Величина магнитного склонения подвержена суточным, годовым и вековым колебаниям, а также временным возмущениям под действием магнитных бурь. Величина

магнитного склонения и его годовые изменения указаны на каждом листе топографической карты масштабов 1:25 000-1:200 000. Например: *Склонение на 2002 г. восточное 10°15' (1-71)*.

Проведя через точку С линию CN параллельную меридиану BN точки В получим при точке С угол γ , который называется сближением меридианов. Азимут А линии ВС в точке В – прямой азимут, а A^1 – обратный азимут той же линии в точке В (направление линии противоположно). Азимуты в точке С связаны с азимутами в точке В зависимостями

$$A^1 = A + \gamma \text{ и } A^1 + 180^\circ + \gamma \quad (8)$$

где γ – сближение меридианов (восточное сближение принято считать положительным, а западное отрицательным).

Магнитный азимут – это горизонтальный угол (A_m), отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана до данного направления, изменяющийся от 0 до 360° (рис.21). Магнитный меридиан совпадает с направлением свободно подвешенной магнитной стрелки.

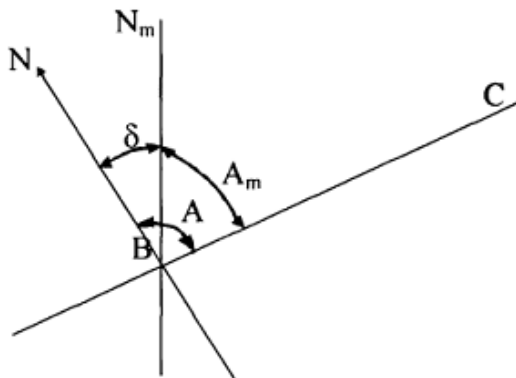


Рис. 21. Связь между истинными и магнитными азимутами

Географический и магнитный меридианы в каждой точке земной поверхности между собой образуют угол δ , называемый склонением магнитной стрелки. Северный конец магнитной стрелки под действием земного магнетизма может отклоняться к востоку или к западу от северного направления

географического (устаревшее название истинный) меридиана, т.е. склонение магнитной стрелки может быть восточным или западным. Отклонение магнитной стрелки вызвано несовпадением магнитного и географического полюсов Земли. Восточное склонение считается положительным, западное – отрицательным. Географический и магнитный азимуты связаны между собой зависимостью

$$A = A_m \begin{matrix} +\delta_g \\ -\delta_z \end{matrix}, \quad (9)$$

Склонение не постоянно во времени и меняется в разных точках местности. Например в Забайкалье оно изменяется от -7° до $+14^\circ$. В средних широтах ($45 - 60^\circ$) географический азимут изменяется на $1'$ через каждые $1 - 2$ км вдоль параллели, что усложняет ориентирование по азимутам.

Дирекционный угол α - это горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана данной зоны (положительного направления оси абсцисс OX), или линии параллельной ему до данного направления. В отличие от азимуты дирекционный угол линии в каждой ее точке постоянен и может принимать значения от 0 до 360° .

Это позволяет легко использовать их в практике (рис. 22).

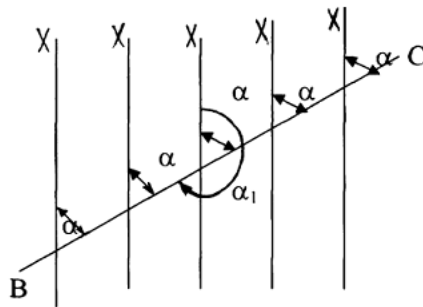


Рис. 22. Дирекционный угол

Прямой α и обратный α_1 дирекционный углы одной и той же линии отличаются друг от друга на 180°

$$\alpha = \alpha_1 + 180^\circ$$

Все ориентирующие углы связаны между собой, что очевидно из рис. 23 нижеприведенными формулами

$$A = A_m \begin{matrix} +\delta_6 \\ -\delta_3 \end{matrix}, \quad (10)$$

$$A = \alpha \begin{matrix} +\gamma_6 \\ -\gamma_3 \end{matrix}, \quad (11)$$

$$\alpha = A_m + (\pm\delta) - (\pm\gamma). \quad (12)$$

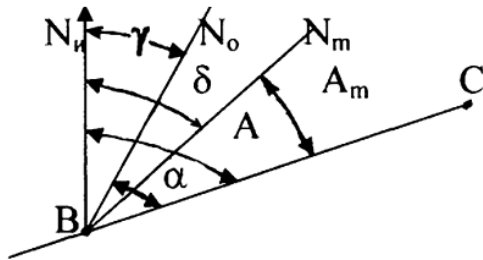


Рис. 23. Связь ориентируемых углов

BC – направление линии, BNи – истинный (географический) меридиан, BNo – линия параллельная осевому меридиану (линия координатной сетки), BNm – магнитный меридиан

Горизонтальные углы между направлением данной линии и ближайшими (северного или южного) направлениями географического, магнитного или осевого меридиана и заданным направлением называют румбами (рис. 24). Румбы являются острыми углами, изменяются от 0 до 90° и сопровождаются названием четвертой относительно стран света (СВ – северо-восток, ЮЗ – юго-запад и др.). Румбы удобно применять при использовании тригонометрических таблиц.

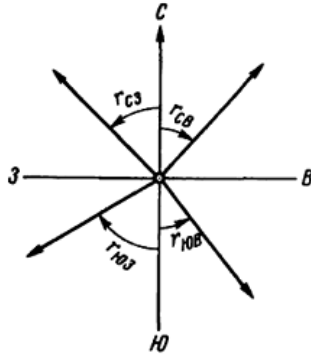


Рис. 24 . Румбы

Ориентировать план или карту значит расположить их так, чтобы направление линий на плане и карте были параллельны направлениям горизонтальных проекций соответствующих линий на местности. Для ориентирования обычно используют компас или буссоль и координатную сетку. Направление С – Ю компаса совмещают с координатной сеткой, затем поворачивают карту вместе с компасом, чтобы по северному концу стрелки получился отсчет равный $(\delta - \gamma)$ с учетом знаков этих величин.

ЛЕКЦИЯ № 3. Прямая и обратная геодезические задачи

При вычислительной обработке результатов измерений на местности, связанной с составлением плана, перед перенесением проекта в натуру часто приходится решать прямую и обратную геодезические задачи.

Прямая геодезическая задача состоит в том, что зная исходные координаты данной точки, горизонтальное проложение ее до другой точки и направление линии соединяющей эти точки (азимут, дирекционный угол, румб) можно определить координаты другой точки. В такой постановке вычисление координат называется прямой геодезической задачей. Эта задача представляет значительные трудности при решении ее для точек расположенных на сфероиде, для точек на плоскости она решается следующим образом.

Пусть 1-2 – одна из сторон какого-то полигона, для которой известны: ее горизонтальная проекция d и α дирекционный угол. Координаты точки 1 (x_1, y_1) даны. Требуется найти координаты второй точки 2 (x_2, y_2).

Непосредственно из рис. 25 имеем:

$$X_2 - X_1 = \Delta X \quad (13)$$

$$Y_2 - Y_1 = \Delta Y \quad (14)$$

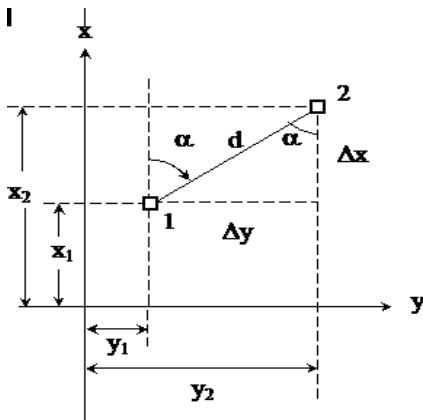


Рис. 25 Прямая геодезическая задача

Разности ΔX и ΔY координат точек последующей и предыдущей называются *приращениями координат*. Они представляют собой проекции отрезка АВ на оси координат. Из прямоугольного треугольника АВС находим

$$\Delta X = d \cos a \quad (15)$$

$$\Delta Y = d \sin a \quad (16)$$

Особое внимание уделяют на знаки приращения координат, знаки приращений определяют название румба и следовательно величину дирекционного угла.

Так как в этих формулах проложение d всегда число положительное, то знаки приращений координат ΔX и ΔY зависят от значения румба r . Для различных значений углов a знаки приращений ($\Delta X \Delta Y$) представлены в таблице 1.

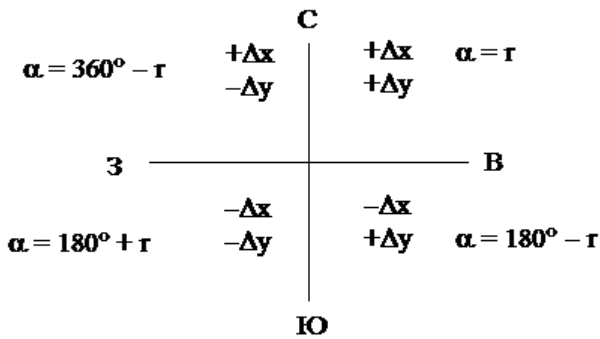


Таблица 1

Величина дирекционного угла	Название румба	Четверть	Знаки приращений координат	
			ΔX	ΔY
0 - 90	СВ	I	+	+
90 - 180	ЮВ	II	-	+
180 - 270	ЮЗ	III	-	-
270 - 360	СЗ	IV	+	-

При помощи румба приращения координат вычисляют по формуле:

$$\Delta X = d \cos r \quad (17)$$

$$\Delta Y = d \sin r, \quad (18),$$

а знаки приращений дают в зависимости от названия румба.

Вычислив по приведенным формулам приращения координат, находят искомые координаты другой точки

$$X_2 = X_1 + \Delta X \quad (19)$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y \quad (20)$$

Этим способом можно найти координаты любого числа точек по правилу: *координата последующей точки равна координате предыдущей точки плюс соответствующее приращение.*

Обратная геодезическая задача состоит в том, что по координатам концов линии АВ вычисляют дирекционный угол и горизонтальное проложение этой линии. Если, например, надо продолжить по линии АВ просеку через лес или тоннель через гору, то, рассчитав длину и направление линии АВ по координатам точек А и В, можно уверенно и с необходимой точностью проложить требуемое направление. С этой целью, имея координаты точек А (X_A, Y_A) и В (X_B, Y_B), находят приращения координат ΔX и ΔY , а из равенства – их отношение

$$\operatorname{tg} a = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} \quad (21)$$

или

$$\operatorname{tg} r = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (22)$$

Из формулы находят величину угла a , а по знакам приращений определяют четверть, в которой он располагается, и название румба, вычисленного по приведенной формуле. Найдя a или r вычисляют дважды (для контроля) расстояние d при помощи формул:

$$d = \frac{\Delta X}{\cos a} \quad (23)$$

$$d = \frac{\Delta Y}{\sin a} \quad (24)$$

Расстояние d можно определить также по формуле

$$d = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (25)$$

2. Уравнивание приращений координат

Для производства топографической съемки местности между двумя пунктами полигонометрии пп 512 и пп 513 создается съемочное обоснование посредством прокладки теодолитного хода пп 512 – 1 – 2 – 513. Землемерной лентой ЛЗ-20 дважды измеряются длины линий и их углы наклона, превышающие $1,5^\circ$. Теодолитом 2Т30 на каждой точке измеряется правый по ходу горизонтальный угол.

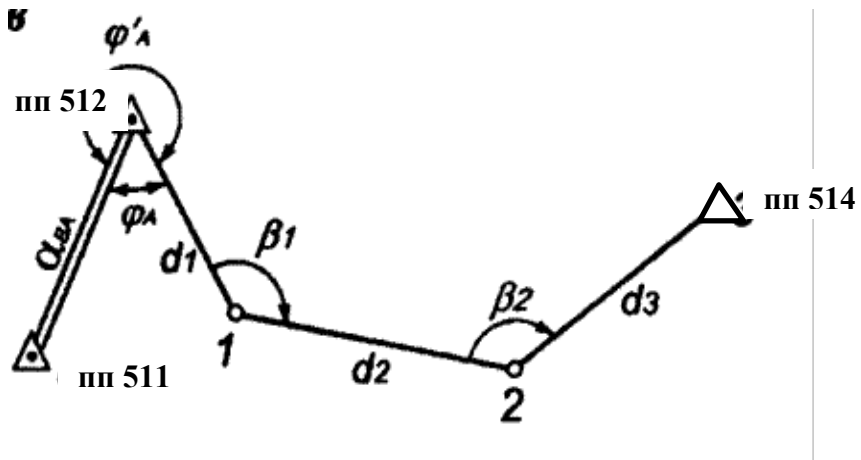


Рис. 26. Схема теодолитного хода

Журнал
измерения горизонтальных углов и длин линий
Теодолитный ход 1 (пп 512, 1, 2, пп 513)

Номер станции	круг	Номер точки	Отсчет по гориз. кругу	Горизонтальный угол		Длина линии (м)	Угол наклона
				измеренный	средний		Гор.проложение (м)
пп 512	кл	511 1	324° 15' ¹ 117° 10' ¹	207° 05' ¹	207° 05,5' ¹	96,78	
	кп	511 1	146 46 299 40	207° 06' ¹		96,82	96,80
1	кл	512 2	176 58 16 27			105,80	
	кп	512 2	358 22 197 52			105,81	
2	кл	1 513	33 55 239 23			90,22	2 00
	кп	1 513	215 11 60 39			90,21	90,16
пп 513	кл	2 514	153 32 50 36				
	кп	2 514	335 40 232 45				

Координаты полигонометрического пункта пп 512 и дирекционные углы берутся из каталога координат: $X_{512} = +4701,43$ м, $Y_{512} = -2692,27$ м, $\alpha_{511-512} = 14^{\circ}23,5^1$, $\alpha_{513-514} = 109^{\circ}21^1$

Уравнивание (увязка) горизонтальных углов хода

Значения измеренных горизонтальных правых по теодолитному ходу из полевых журналов переписывают в графу 2 ведомости вычисления координат в соответствии с номером точки съемочного обоснования.

В графе 5 записывают начальный дирекционный угол $\alpha_{\text{исх}}$ (в верхней строке) и конечный дирекционный угол $\alpha_{\text{кон}}$ (в нижней строке).

Вычисляют сумму измеренных углов хода: $\sum \beta_{\text{изм}}$, определяют теоретическую сумму углов: $\sum \beta_{\text{т}} = \alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{кон}} + 180^\circ \times n$, где n – число измеренных правых горизонтальных углов.

После этого находят угловую невязку хода f_β и ее допустимую величину $f_{\beta \text{ доп}} = 1' \sqrt{n}$, где n - количество углов теодолитного хода.

Если угловая невязка f_β не превышает допустимой величины $f_{\beta \text{ доп}}$, то ее распределяют в виде поправок во все углы хода с округлением значений поправок до десятых долей минут, причем знак поправки противоположен знаку невязки, а сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком. В углы с более короткими сторонами можно ввести большую поправку, так как их измеряют менее точно. Исправленные горизонтальные углы записывают в графу 4 ведомости. Контроль: сумма исправленных углов должна равняться теоретической сумме углов.

Вычисление дирекционных углов и румбов сторон хода

От исходного (начального) дирекционного угла $\alpha_{\text{нач}}$ по исправленным значениям горизонтальных углов хода последовательно вычисляют и записывают в графе 5 дирекционные углы всех сторон: дирекционный угол последующей стороны, который равен дирекционному углу предыдущей стороны плюс 180° и минус правый (исправленный) угол хода, образованный этими сторонами. Если в процессе вычислений получается отрицательное значение дирекционного угла, то к этому значению прибавляют 360° .

Например: при $\alpha_{\text{нач}} = 14^\circ 23,5^1$ и $\beta_{512} = 207^\circ 05^1$ вычисляют:

$$\alpha_{512-1} = \alpha_{\text{нач}} + 180^\circ - \beta_{512} = 14^\circ 23,5^1 + 180^\circ - 207^\circ 05^1 = 194^\circ 23,5^1 - 207^\circ 5^1,$$

отрицательного значения угла быть не должно, поэтому $(194^\circ 23,5^1 + 360^\circ) - 207^\circ 5^1 = 347^\circ 18,5^1$

Для контроля следует вычислить и конечный дирекционный угол $\alpha_{\text{кон}}$. Результат должен совпасть с исходным значением $\alpha_{513-514}$.

При переходе от дирекционных углов к румбам (графы 6, 7) необходимо сначала определить название четверти румба (СВ, ЮВ, ЮЗ, СЗ) в прямоугольной геодезической системе координат, в которой положительное направление оси абсцисс северное.

Вычисление приращений координат

Приращения координат вычисляют по формулам:

$$\Delta X = d \cos \alpha \quad (26)$$

$$\Delta Y = d \sin \alpha \quad (27)$$

где d – горизонтальное проложение соответствующей линии;

α – дирекционный угол этой же линии.

Вычисленные значения приращений ΔX и ΔY выписывают в графы 9 и 10 ведомости с округлением до сотых долей метра.

Знаки приращений устанавливают в зависимости от знаков $\cos \alpha$ и $\sin \alpha$ либо по названию румбов. В каждой из граф складывают все вычисленные значения ΔX и ΔY , находят практические суммы приращений координат $\Delta X_{\text{пр}}$ и $\Delta Y_{\text{пр}}$.

Уравнивание (увязка) приращений координат

Невязка приращений координат вычисляется по формулам:

$$f_{\Delta x} = \sum \Delta X_{\text{пр}} - \sum \Delta X_{\text{т}} \quad (28)$$

$$f_{\Delta y} = \sum \Delta Y_{\text{пр}} - \sum \Delta Y_{\text{т}} \quad (29)$$

Сумма приращений координат практическая нам известна, а сумму приращений координат теоретическую вычисляют по формулам:

$$\sum \Delta X_{\text{т}} = X_{\text{кон}} - X_{\text{нач}} \quad (30)$$

$$\sum \Delta Y_{\text{т}} = Y_{\text{кон}} - Y_{\text{нач}} \quad (31)$$

Вычисленная невязка приращений координат $(f_{\Delta x}, f_{\Delta y})$ с обратным знаком равномерно распределяется по всем

вычисленным приращениям (см. графы 9-10 в ведомости вычисления координат точек теодолитного хода).

С учетом распределенной невязки вычисляются исправленные приращения.

Вычислив исправленные приращения координат ($\Delta X_{\text{исп}}$ и $\Delta Y_{\text{исп}}$) вычисляются координаты точек теодолитного хода по формулам:

$$X = X_{\text{нач}} + \Delta X_{\text{исп}} \quad (32)$$

$$Y = Y_{\text{нач}} + \Delta Y_{\text{исп}} \quad (33)$$

В графы 13 и 14 ведомости записывают вычисленные координаты X , Y , точек теодолитного хода.

Контролем правильности вычислений служит полное совпадение вычисленных координат конечной точки с ее исходными координатами.

ЛЕКЦИЯ № 4. Государственные геодезические сети

Государственная геодезическая сеть представляет собой сеть закрепленных точек земной поверхности, относящейся к территории Республики Беларусь, положение которых определено в общих для них системах координат.

ГГС предназначена для:

- распространения единых установленных систем координат на территории Республики Беларусь;
- геодезического обеспечения картографирования территории Республики Беларусь;
- геодезического обеспечения изучения земельных ресурсов и землепользования, создания кадастров, строительства, разведки и освоения природных ресурсов Республики Беларусь;
- обеспечения исходными геодезическими данными средств наземной и аэрокосмической навигации, аэрокосмического мониторинга природной и техногенной сред Республики Беларусь;
- изучения поверхности и гравитационного поля Земли и их изменений во времени;
- изучения геодинамических явлений.

ГГС является носителем геодезической системы координат и высот Республики Беларусь.

Началом единого отсчета плановых координат служит центр круглого зала Пулковской обсерватории в Санкт-Петербурге.

При производстве геодезических и картографических работ государственного назначения на территории Республики Беларусь применяется единая система геодезических координат 1942 года и Балтийская система высот 1977 года.

ГГС состоит из взаимосвязанных геодезических сетей различных классов точности, создаваемых по принципу от общего к частному.

ГГС включает:

- фундаментальную астрономо-геодезическую сеть (ФАГС);

- высокоточную геодезическую сеть (ВГС);
- спутниковую геодезическую сеть 1-го класса (СГС-1);
- геодезические сети сгущения (ГСС).

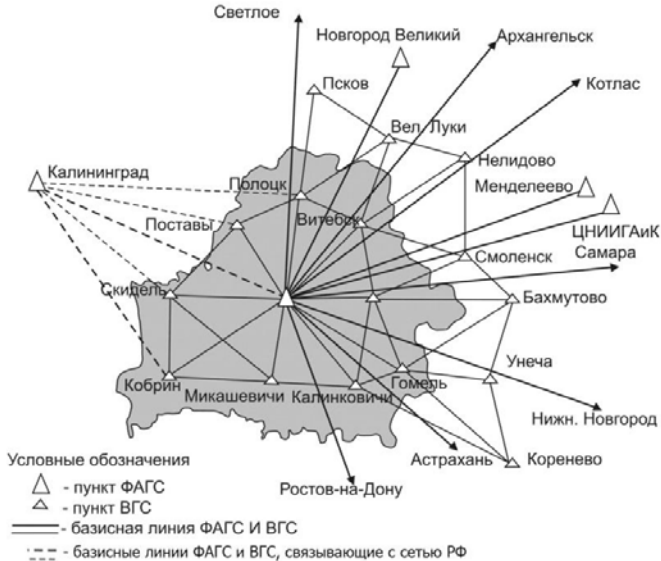


Рис. 27. Связь фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) Российской Федерации и высокоточной геодезической сети (ВГС) Республики Беларусь



Рис. 28. Схема высокоточной геодезической сети (ВГС)

Плотность пунктов ГГС должна составлять не менее одного пункта на 30 кв. км земной поверхности.

В основу создания ГГС РБ положен принцип сохранения единства геодезических сетей Беларуси и России (рис. 27).

На первом этапе развития и модернизации ГГС в течение 2000 г. создан один пункт ФАГС «Минск».

Пункт ФАГС должен иметь связь не менее чем с четырьмя пунктами астрономо-геодезической сети (АГС).

Следующим этапом модернизации ГГС стало создание ВГС, представленной пунктами Поставы, Полоцк, Витебск, Могилев, Гомель, Калинковичи, Микашевичи, Кобрин и Скидель (рис. 28).

ВГС представляет собой пространственное геодезическое построение, опирающееся на пункт ФАГС и геодезические пункты других государств. Расстояние между пунктами ВГС должно составлять 150–300 км.

Спутниковая геодезическая сеть 1 класса (СГС-1) представляет собой пространственное геодезическое построение, опирающееся на пункты ФАГС и ВГС (рис. 29).

Расстояние между пунктами СГС-1 должно составлять 15–25 км, а на территориях городов, больших промышленных объектов – 8–12 км.

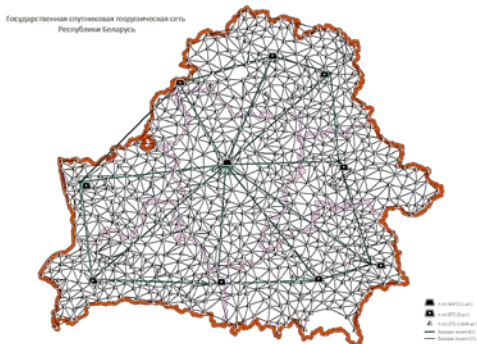


Рис. 29. Государственная спутниковая геодезическая сеть (СГС - 1

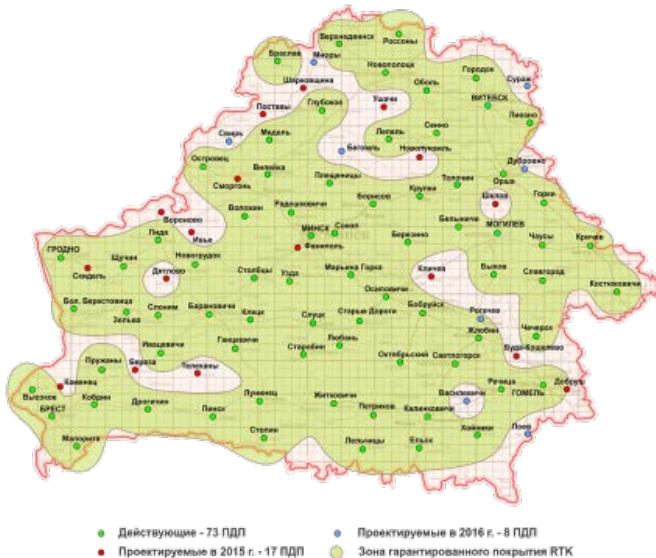


Рис. 30. Постоянно действующие пункты спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь

Геодезическая сеть сгущения (ГСС) построены в соответствии с требованиями стандарта.

Новые пункты ГСС определяются относительными методами космической геодезии, а также традиционными геодезическими методами: триангуляции, полигонометрии, трилатерации и с применением астрономических измерений.

Сети сгущения и съёмочные сети.

Геодезические сети сгущения создаются на основе государственной сети для обоснования топографических съёмок масштабов 1:5000– 1:500. При этом в основном применяются те же методы, как и в государственных сетях.

Они подразделяются на аналитические сети триангуляции 1 и 2 разрядов, полигонометрические сети 1 и 2 разрядов и сети технического нивелирования. В настоящее время сети сгущения включены в ГГС.

Триангуляция 1 и 2 разряда обычно строится в виде типовых фигур

Минимальный угол в сплошной сети 1 и 2 разрядов – 20° , в цепочке треугольников – 30° . Число треугольников между исходными пунктами не более 10. Минимальная длина выходной стороны 1 км.

Плановые сети сгущения можно создавать также методом трилатерации, полярно-лучевым методом и др.

Высотные сети сгущения создаются техническим нивелированием. Длины визирного луча допускается до 150 м.

Съемочные сети являются непосредственной основой съёмок всех масштабов и других геодезических работ. Они могут строиться на основе государственных сетей, сетей сгущения или в условной системе координат.

Точность съёмочных сетей устанавливаются соответствующими инструкциями.

При создании плановых съёмочных сетей применяется метод *триангуляции, трилатерации, теодолитные хода, полярно-лучевой метод, различные засечки и др.*

Государственные геодезические сети делятся на плановые и высотные.

Геодезические сети являются важнейшим элементом системы технических мероприятий, связанных с изучением и освоением территорий. Закрепленные на местности пункты, составляющие геодезические сети различных классов по точности измерения их элементов, отличающиеся по своему назначению, обеспечивают возможность выполнения широкого круга топографо-картографических и технических задач.

Используя координаты или отметки пунктов геодезических сетей, можно решать как вопросы общегосударственного значения (такие, как освоение малоизученных, труднодоступных регионов, наблюдение за глобальными тектоническими процессами), так и конкретные задачи инженерной практики (такие, как съемка небольших участков в крупных масштабах, прокладка трасс инженерных коммуникаций и т.п.).

Геодезическая сеть - это совокупность закрепленных и обозначенных на местности геодезических пунктов, плановое положение и высоты которых определены в единой системе координат и высот путем геодезических измерений.

Систему геодезических пунктов, положение которых определено в общей для них системе геодезических координат, называют *плановой геодезической сетью*.

Для определения координат пунктов сети между ними измеряют расстояния и углы. Отрезки линий, ограниченные геодезическими пунктами, вдоль которых измеряется длина или направление, называют *сторонами сети*.

Каждый следующий пункт геодезической сети, начиная со второго, должен быть связан с предшествующими пунктами не менее чем двумя измеренными элементами (горизонтальными углами, длинами сторон, дирекционными углами).

Носителем координат геодезического пункта служит метка в металлической пластине верхнего центра, которая заложена в пилоне – подземном центре пункта. Верхний центр дублируется нижним центром, который заложен на дне котлована под плитой. Глубина заложения нижнего центра – не менее 2 м (рис. 31.).

После закладки центр окапывают и устанавливают опознавательный столбик. Над центром строят металлическую пирамиду или высотный сигнал.

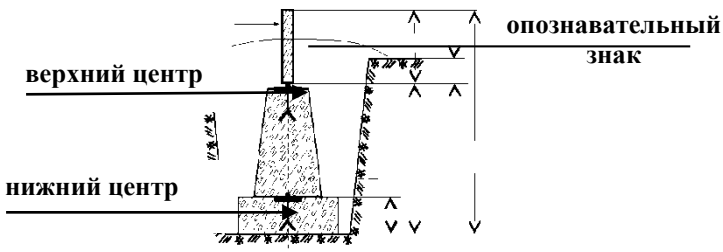


Рис. 31. Центр геодезического пункта

Плановые координаты пунктов государственных геодезических сетей в прошлом определялись геометрическими методами триангуляции и полигонометрии, в некоторых

случаях методом трилатерации. В настоящее время координаты существующих геодезических пунктов уточняются, а координаты новых пунктов определяются при помощи спутниковых геодезических приборов.

Главной геодезической основой территории Республики Беларусь служит спутниковая высокоточная геодезическая сеть (ВГС), созданная в 1998 г., координаты ее центрального пункта «Минск» определены также в системе фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС) Российской Федерации. Согласно СТБ 1653-2006 пространственное положение пунктов ВГС Беларуси должно определяться методами космической геодезии, обеспечивающими точность их взаимного положения со средними квадратичными погрешностями не превышающими:

в плане $m_D = + 3 \text{ мм} + 5 \times 10^{-8}D$

по высоте $m_H = + 5 \text{ мм} + 7 \times 10^{-8}D$

где D - расстояние между пунктами

Геодезические сети строятся в научных целях, а также для изучения и освоения территории страны, в том числе для съемки и изысканий для проектирования и проведения хозяйственных мероприятий: строительства, мелиорации и т.д.

Геодезические сети подразделяются:

по виду определяемых координат - плановые и высотные;

по виду построения – триангуляция, полигометрия, трилатерация и их сочетания;

по назначению - государственные, местные - сети сгущения и съемочные, сети специального назначения.

Сети специального назначения создаются для геодезического обеспечения строительства, как правило, уникальных энергетических, гидротехнических, мелиоративных и других сооружений. Методы создания таких сетей могут быть любыми из рассмотренных, но при этом определения взаимного положения пунктов может существенно превосходить любые из ранее рассмотренных. Этого добиваются применением специальных методик и приборов для производства измерений. Для закрепления координированных точек используют

специальные типы центров, обеспечивающие их стабильное пространственное положение на период строительства и эксплуатации объекта.

Каталоги координат и высот геодезических пунктов.

Плановые и высотные координаты пунктов геодезической сети приводятся в отдельных каталогах координат или высот пунктов, которые хранятся в организациях, ведущих геодезические работы, и в районных, областных и республиканских органах геодезического надзора Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь.

Геодезическую сеть создают таким образом, чтобы ее стороны образовывали простые геометрические фигуры, удобные для решения, т.е. определения всех их элементов, а по ним — координат вершин. Различают три основных *метода построения плановых геодезических сетей*.

1. *Триангуляция* - построение геодезической сети в виде системы треугольников, в которых измерены углы и некоторые стороны, называемые базисными, или просто базисами (рис. 32).

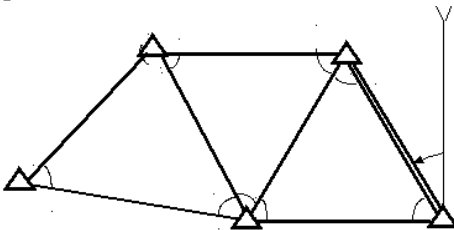


Рис. 32. Триангуляция

В основе метода триангуляции лежит решение треугольника по стороне и двум углам - теорема синусов.

2. *Полигонометрия* - построение геодезической сети путем измерения расстояний и углов между пунктами хода (рис. 33).

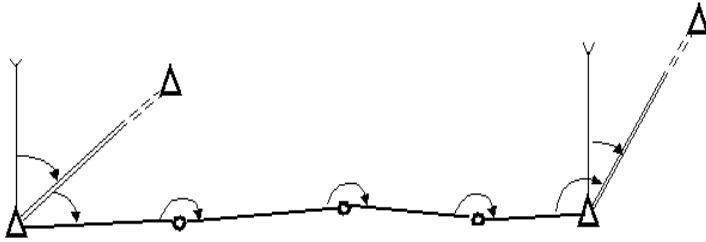


Рис. 33. Полигонометрия

В полигонометрии система геодезических пунктов образует полигон-многоугольник, который может быть замкнутым или разомкнутым (рис. 4). Измеряемыми элементами являются стороны полигона и его углы или дирекционные углы.

3. *Трилатерация* - построение геодезической сети в виде системы треугольников, в которых измерены все их стороны (рис. 34).

Метод трилатерации основан на возможности решения треугольника по трем его сторонам a , b , c . Углы при этом определяются по теореме косинусов.

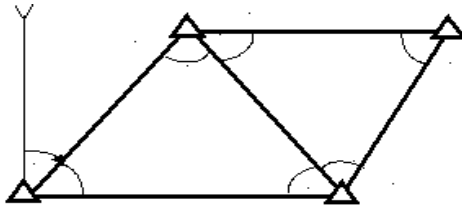


Рис. 34. Трилатерация

Возможно построение плановой геодезической сети комбинированием всех трех методов.

При построении и развитии геодезических сетей выполняют целый комплекс работ. Начинаются они с разработки проекта геодезической сети, который выполняют по топографическим картам и планам крупных масштабов. При

этом в каждом районе, в зависимости от местных условий, построение геодезической сети планируется вести теми методами, которые дают наибольшую экономию сил и денежных средств. Исключение из этого правила допускается лишь в некоторых случаях, например, при особой срочности работ, в целях охраны окружающей среды и т.д.

Составленный проект геодезической сети уточняют на местности в отношении расположения пунктов, высот знаков и т.д. Этот вид работы называется *рекогносцировкой*.

Затем закрепляют пункты на местности - закладывают *центры* и строят *знаки*. Знак геодезического пункта имеет двойное назначение: во-первых, на его столике устанавливают прибор для измерения углов (расстояний); во-вторых, верхняя часть знака (визирная цель) служит для наблюдения с других пунктов. Сложность этой работы усугубляется тем, что центры визирного приспособления и столика должны лежать на отвесной линии, проходящей через метку марки центра знака.

После завершения строительных работ наступает наиболее ответственный этап полевых работ: выполняют измерения углов и длин сторон.

Заканчиваются работы по построению геодезических сетей математической обработкой результатов измерений и составлением каталога координат пунктов геодезической

Общие сведения о высотных геодезических сетях

Основное назначение *высотных (нивелирных) сетей* — задание с высокой точностью высот (отметок) пунктов земной поверхности, относительно которых в дальнейшем производятся высотные измерения.

На всей территории страны вычисление высот производится в *нормальной* системе высот от нуля Кронштадтского футштока. Эта система называется Балтийской.

За ноль Кронштадтского футштока принята горизонтальная черта на медной пластине, которая укреплена на устое моста через обводный канал в Кронштадте. Ноль Кронштадтского футштока в качестве начала высот используется не только по исторической традиции в связи со

сравнительно хорошей изученностью уровня Балтийского моря в районе футштока, небольшой скоростью современных вертикальных движений земной поверхности в этом районе, а также из-за незначительных изменений среднего уровня Балтийского моря во времени относительно нуля Кронштадтского футштока.

Основным назначением пунктов высотной сети является сохранение неизменным своего высотного положения относительно уровенной поверхности, т.е. своей абсолютной отметки.

Геодезический знак, специально предназначенный для долговременного и надежного закрепления на местности высоты (отметки), называют *репером*. На репер могут быть переданы и плановые координаты, но основное назначение репера - сохранение высоты относительно уровня моря. Таким образом, *геодезическая высотная сеть* есть совокупность реперов и геодезических пунктов, для которых определены высоты.

Высотная геодезическая сеть состоит, как правило, из системы пересекающихся высотных ходов, пункты пересечения которых называются *узловыми точками*. Отметки на точки высотного хода передают от предыдущей точки к последующей методами геометрического или тригонометрического нивелирования.

ЛЕКЦИЯ № 5. Топографические карты и планы

Карта – уменьшенное обобщенное условно-знаковое изображение поверхности Земли (ее части), других планет или небесной сферы, построенное в масштабе и проекции (т.е. по математическому закону).

Различие карт по масштабу. В зависимости от масштаба карты делят на три группы: крупномасштабные, среднемасштабные, и мелкомасштабные. Крупномасштабные карты имеют масштаб 1:200 000 и крупнее. К этой группе относятся топографические карты. Среднемасштабные имеют масштаб мельче 1:2 000 000 и до 1:1 000 000 включительно. К мелкомасштабным картам относят карты, построенные в масштабе мельче 1:1 000 000.

При создании карты производится строгий отбор того, что на ней будет изображено и написано. Этот отбор называется *картографической генерализацией*. Как правило, чем мельче масштаб карты, тем меньше на ней показано объектов, т. е. тем строже ее генерализация. Важную роль в картографической генерализации играет назначение карты и ее тематика.

План местности – чертеж местности, выполненный в условных знаках и в крупном масштабе (1:5000 и крупнее). Построение планов осуществляется в ходе глазомерной, инструментальной или комбинированной съемок непосредственно на местности или на основе расшифровывания аэрофотоснимков. Планы отражают небольшую по площади территорию (несколько километров), и поэтому при их построении кривизна земной поверхности не учитывается.

Отличие плана от карты:

1) на планах изображаются небольшие участки местности, поэтому они строятся в крупных масштабах (например, в 1 см – 5 м). Карты показывают значительно большие территории, их масштаб мельче;

2) план изображает местность подробно, сохраняя точные очертания изображаемых объектов, но только в уменьшенном виде. Крупный масштаб плана позволяет отразить

на нем практически все объекты, находящиеся на местности. На карту, имеющую более мелкий масштаб, все объекты нанести не удастся, поэтому при создании карт производится генерализация объектов. Точные очертания всех объектов на карте также показать нельзя, поэтому они искажаются в той или иной мере. Многие объекты на карте, в отличие от плана, изображаются внемасштабными условными знаками;

3) при построении плана кривизна земной поверхности не учитывается, т. к. изображается небольшой участок местности. При построении карты она учитывается всегда. Карты строят в определенных картографических проекциях;

4) на планах нет градусной сети. На карту обязательно наносят параллели и меридианы;

5) на плане направление на север считается направлением вверх, направление на юг – вниз, на запад – влево, на восток – вправо (иногда на плане направление север – юг показано стрелкой, которая не совпадает с направлением вверх – вниз). На картах направление север – юг определяется по меридианам, запад – восток – по параллелям.

Масштабы планов и топографических карт

При создании планов и топографических карт спроектированные на ровную поверхность линейные размеры всех объектов местности уменьшают в определенное количество раз. Степень такого уменьшения называется масштабом карты (плана). *Упрощенно масштаб – это отношение длины линии на карте (плане) к длине соответствующей линии на местности.*

Масштаб может быть выражен в числовой форме (численный масштаб) или в графической – в виде графика (линейный, поперечный масштабы).

Численный масштаб – это масштаб карты, выраженный дробью, числитель которой – единица, а знаменатель – число, показывающее, во сколько раз уменьшены на карте горизонтальные проложения линий местности.

Расстояние на местности в метрах и километрах, соответствующее 1 см на карте, называется величиной

масштаба. Величина масштаба указывается на карте под численным масштабом.

Линейный масштаб представляет собой графическое выражение численного масштаба. Для построения линейного масштаба на прямой откладывают несколько раз какой-нибудь отрезок, равный, например, 1 или 2 см. Откладываемый отрезок называется основанием масштаба.

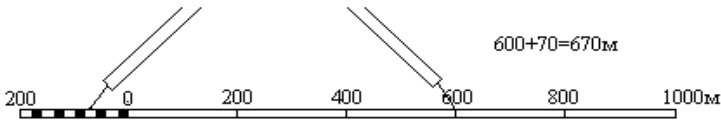


Рис. 35. Линейный масштаб

На рис. 35 за основание масштаба взято 2 см. Крайний левый отрезок обычно делят на 10 равных частей. Отрезки, отложенные от нулевой черточки вправо в масштабе 1 : 10 000, представляет на местности 200, 400, 600, 800 и 1000 м, а влево – 20, 40, 60, ..., 200 м. Если раствор циркуля-измерителя равен отрезку измеренному на карте приложить к линейному масштабу, то ему соответствует 670 м. Наименьший отрезок по такому масштабу соответствует 20 м на местности. С помощью линейного масштаба можно измерять и откладывать расстояния с точностью до 0,5 мм. Для более точного определения расстояний используют поперечный масштаб.

Поперечный масштаб – это специальный график, выгравированный на металлической пластинке (рис. 36.).

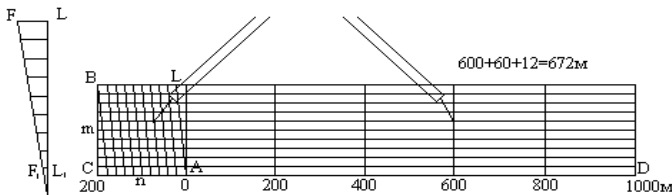


Рис. 36. Поперечный масштаб

Построение поперечного масштаба основано на пропорциональности отрезков параллельных линий, пересекающих стороны угла.

Стандартный (нормальный) поперечный масштаб имеет большие значения, равные 2 см, и малые деления (слева на графике), равные 0,2 см. Кроме того, на графике имеются отрезки между вертикальной и наклонной линиями, равные 0,02 см. С помощью поперечного масштаба можно измерять и откладывать расстояния на картах любого масштаба.

Разграфка и номенклатура топографических карт

Система деления карты на отдельные листы называется разграфкой карты, а система обозначения (нумерации) листов – их номенклатурой.

Разграфка листа карты на части предусматривает получение листов карт различных масштабов примерно одинаковых размеров.

Чаще всего применяются два вида разграфки карт: *прямоугольная разграфка* – когда карта делится на прямоугольные или квадратные листы одинакового размера и *трапецевидная разграфка* – при которой границами листов служат меридианы и параллели. Такое деление удобно тем, что рамки листов точно указывают положение на земном эллипсоиде участка местности, изображаемого на данном листе, и его ориентировку относительно сторон горизонта. В некоторых случаях, для удобства пользования разграфка карт может даваться с более или менее значительными перекрытиями листов, например, для морских навигационных карт. Государственные топографические и тематические карты обычно имеют стандартную разграфку, которая закладывается в основу системы номенклатуры карт.

Номенклатура каждого листа карты указана над северной стороной его рамки. Рядом с номенклатурой, кроме того, подписывается название наиболее крупного из показанных на нем населенных пунктов.

На каждом листе указывается также номенклатура смежных с ним листов, что обеспечивает их подбор при склейке

карты. Эти подписи помещены посредине сторон внешней рамки листа.

В нашей стране лист карты масштаба 1: 1 000 000 является исходным для установления номенклатуры листов карт более крупного масштаба (рис. 37).

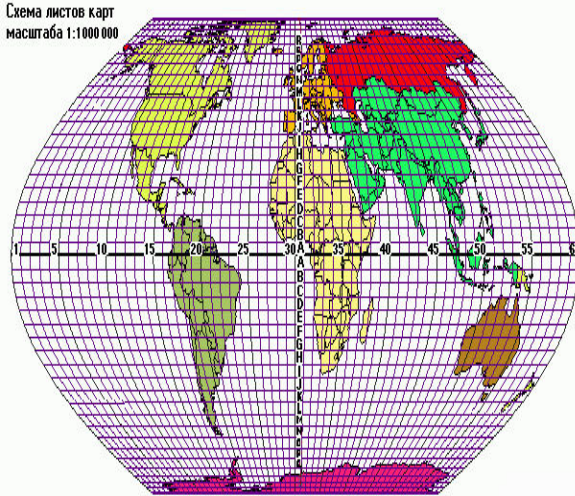


Рис. 37. Система листов карт масштаба 1: 1000000

Для получения карты масштаба 1: 500 000 лист карты масштаба 1: 1 000 000 делят на 4 части, которые обозначают прописными буквами русского алфавита (рис. 38). Номенклатура листа карты масштаба 1: 500 000 складывается из номенклатуры листа исходного масштаба 1: 1 000 000 с добавлением индекса листа масштаба 1: 500 000, например N-37-A.

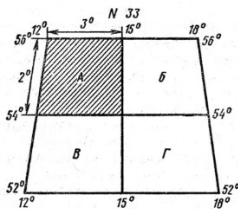


Рис. 38. Номенклатура листов карты масштаба 1: 500000

Если миллионный лист карты разделить на 36 частей, то каждая часть будет составлять лист карты масштаба 1:200 000. Каждый лист нумеруется римскими цифрами от I до XXXVI, начиная с северо-западного угла. Номенклатура листа карты масштаба 1: 200 000 складывается из номенклатуры миллионного листа с добавлением к ней соответствующей римской цифры, например N-37-XXXVI (рис. 39).

Лист карты масштаба 1: 100 000 получается при делении листа карты масштаба 1: 1 000 000 на 144 части, которые нумеруются арабскими цифрами от 1 до 144. Его номенклатура складывается из номенклатуры миллионного листа с добавлением к ней соответствующей арабской цифры, например N-37-144 (рис. 40).

N-37

I	II	III	IV	V	VI
VII					XII
XIII					XVIII
XIX					XXIV
XXV					XXX
XXXI	XXXII	XXXIII	XXXIV	XXXV	XXXVI

○ - N-37-I

Рис. 39. Номенклатура листов карты масштаба 1:200000

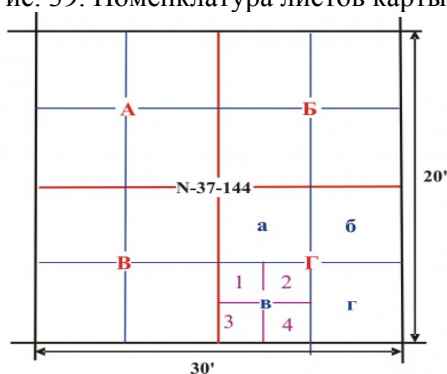


Рис. 40. Номенклатура листов карты 1:100000

Листы карт масштабов от 1: 50 000 до 1: 10 000 получают последовательным делением листа карты более мелкого предыдущего масштаба на 4 части. Так, если разделить лист карты масштаба 1: 100 000 на 4 части, обозначив каждую из них прописными буквами русского алфавита А, Б, В, Г, то получим 4 листа карты масштаба 1: 50 000. Номенклатура листа Г масштаба 1: 50 000 будет N-37-56-A (рис. 40). Лист карты масштаба 1: 50 000 делится на 4 листа масштаба 1: 25 000, обозначаемые строчными буквами русского алфавита. Например, лист масштаба 1: 25 000 имеет номенклатуру N-37-56-A-б (рис. 37).

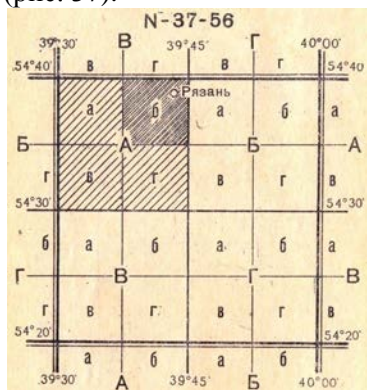


Рис. 41. Номенклатура листов карты 1:50000, 1:25000

Лист карты масштаба 1: 25 000 делится на 4 листа масштаба 1: 10 000, которые обозначаются арабскими цифрами 1, 2, 3, 4. Номенклатура листа карты данного масштаба получается добавлением справа к номенклатуре листа карты масштаба 1: 25 000 соответствующей арабской цифры; например, лист 4 имеет номенклатуру N-37-144-Г-Г-4 (рис. 42).

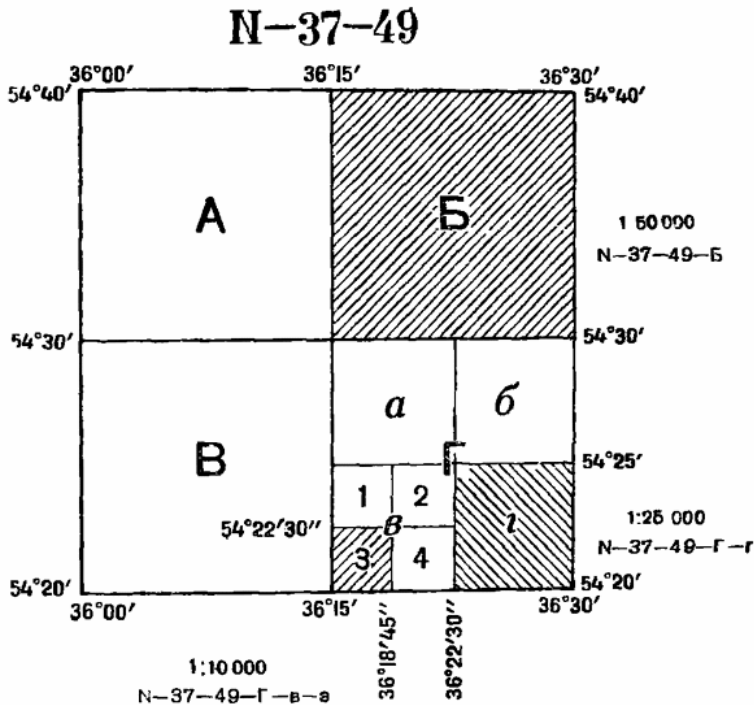


Рис. 42. Номенклатура листов карты 1:25000 и 1:10000

Номенклатура позволяет легко отыскать не только нужный лист карты данного масштаба, но и найти его положение на земном шаре, используя географические координаты (широту и долготу) углов рамок трапеций. С увеличением широты изображаемой территории листы карт всех масштабов сужаются, оставаясь неизменного размера по направлению с юга на север. Поэтому, начиная с 60° -й параллели листы карты вычерчиваются сдвоенными, а с 76° -й параллели – счетверенными по долготу.

На участки местности с площадью менее 20 км^2 применяется прямоугольная разграфка планшетов. В основу этой разграфки положен планшет масштаба 1: 5000 с размерами

рамок 40x40 см, обозначаемый арабскими цифрами. Ему соответствуют 4 листа планов масштаба 1: 2000, каждый из которых обозначается присоединением к номеру планшета масштаба 1: 5000 одной из прописных букв русского алфавита (А, Б, В, Г). Листу масштаба 1: 2000 соответствуют 4 листа масштаба 1: 1000, обозначаемых римскими цифрами (I, II, III, IV), и 16 листов масштаба 1:500, обозначаемых арабскими цифрами (1, 2, 3, 16). Такая разграфка приводит к образованию планшетов масштабов 1: 2000, 1: 1000 и 1: 500 с размерами 50x50 см.

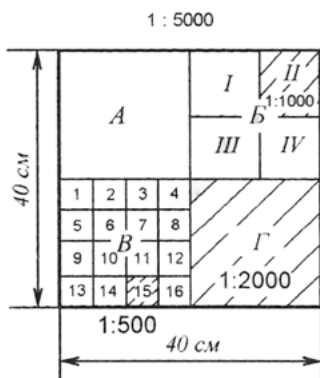


Рис. 43. Планшеты масштабов 1:2000, 1:1000, 1:500

Номенклатура листов планов масштабов 1: 1000 и 1: 500 складывается из номенклатуры листа масштаба 1: 2000 и соответствующей римской цифры для листа масштаба 1: 1000 или арабской цифры для листа масштаба 1: 500. Показанные на рисунке заштрихованные планшеты масштабов 1: 2000, 1: 1000 и 1: 500 имеют соответственно номенклатуру: 7-Г, 7-Б-II и 7-В-15.

Основные формы рельефа

Несмотря на большое разнообразие неровностей земной поверхности, можно выделить основные формы рельефа: гора, котловина, хребет, лощина, седловина.

Гора (или холм) — это возвышенность конусообразной формы. Она имеет характерную точку — вершину, боковые

скаты (или склоны) и характерную линию — линию подошвы. Линия подошвы — это линия слияния боковых скатов с окружающей местностью. На скатах горы иногда бывают горизонтальные площадки, называемые уступами.

Котловина — это углубление конусообразной формы. Котловина имеет характерную точку — дно, боковые скаты (или склоны) и характерную линию — линию бровки. Линия бровки — это линия слияния боковых скатов с окружающей местностью.

Хребет — это вытянутая и постепенно понижающаяся в одном направлении возвышенность. Он имеет характерные линии: одну линию водораздела, образуемую боковыми скатами при их слиянии вверху, и две линии подошвы.

Лощина — это вытянутое и открытое с одного конца постепенно понижающееся углубление. Лощина имеет характерные линии: одну линию водослива (или линию тальвега), образуемую боковыми скатами при их слиянии внизу, и две линии бровки.

Седловина — это небольшое понижение между двумя соседними горами; как правило, седловина является началом двух лощин, понижающихся в противоположных направлениях. Седловина имеет одну характерную точку — точку седловины, располагающуюся в самом низком месте седловины.

Равнины — значительные по площади участки поверхности суши, дна морей и океанов, для которых характерны: незначительный уклон местности (до 5°) и небольшое колебание высот (до 200 м); которое если и достигает сотен метров, то эти изменения имеют место на большом протяжении. Что ведёт к тому, что высоты соседних точек мало отличаются друг от друга.

Существуют разновидности перечисленных основных форм, например, разновидности лощины: долина, овраг, каньон, промоина, балка и т.д. Иногда разновидности основных форм характеризуют особенности рельефа конкретного участка местности, например, в горах бывают пики — остrokонечные вершины гор, ущелья, теснины, щеки, плато, перевал и т.д.

Вершина горы, дно котловины, точка седловины являются характерными точками рельефа; линия водораздела хребта, линия водослива лощины, линия подошвы горы или хребта, линия бровки котловины или лощины являются характерными линиями рельефа.

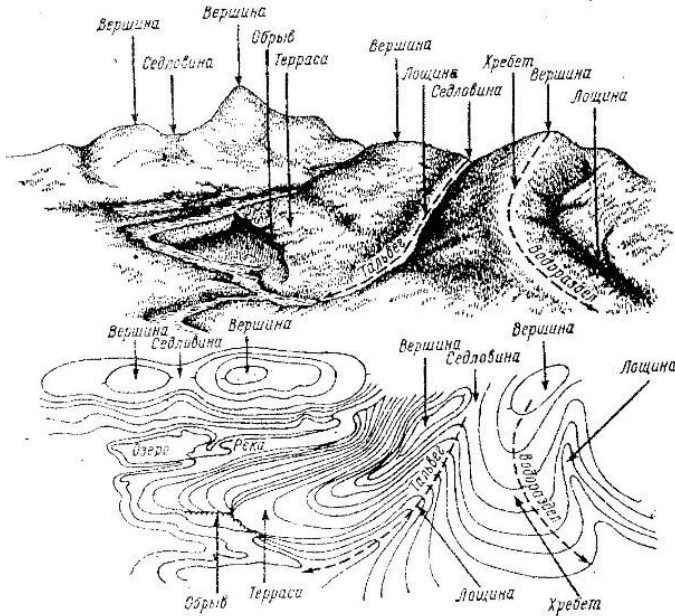


Рис. 44. Формы рельефа

Условные знаки – обозначения, применяемые на картах для изображения различных объектов и их качественных и количественных характеристик. С помощью условных знаков обозначают как реальные объекты (например, населенные пункты), так и абстрактные (например, плотность населения). Условные знаки предназначены для того, чтобы указать вид и некоторые характеристики изображенных на карте объектов (явлений) и определить их положение в пространстве.

Условные знаки бывают:

– *внемасштабными* (используются для того, чтобы изобразить объекты, которые не могут быть выражены в масштабе карты). Это рисунки или геометрические фигуры,

форма которых обычно напоминает изображаемый объект (рис. 45). Буквенные символы также относятся к немасштабным условным знакам.

–*линейными* (используются для изображения объектов линейного характера – рек, дорог, границ, трубопроводов и др.). В масштабе они передают только длину и форму объекта, ширина их преувеличена, поэтому ее измерить нельзя (рис. 46);

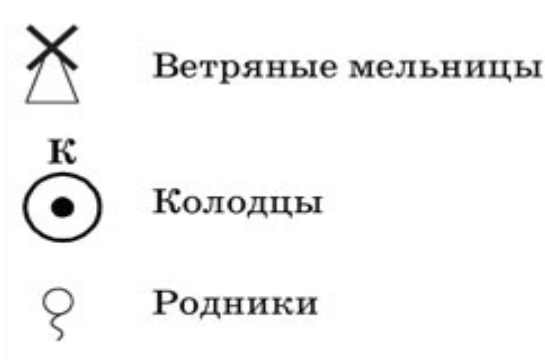


Рис. 45. Немасштабные условные знаки

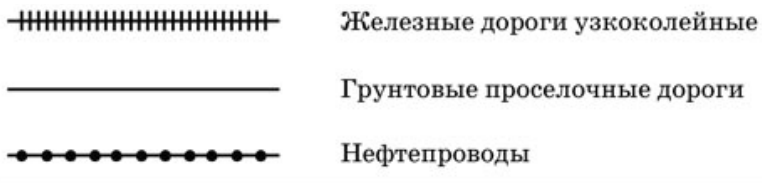


Рис. 46. Линейные условные знаки

– *площадными*, или *контурными* (используются для изображения географических объектов, занимающих некоторую площадь – озеро, массив леса и т. д.). Передают действительную величину объектов (рис. 47).

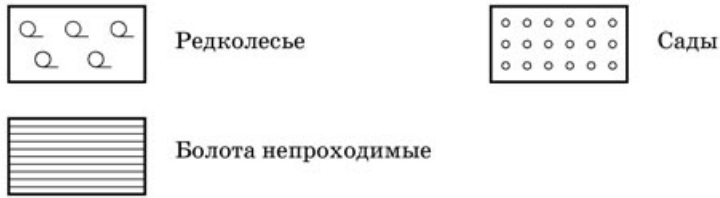


Рис. 47. Площадные (контурные) условные знаки

Площадные (контурные) условные знаки состоят из контура (леса, болота и т. п.) и его заполнения (цвет, штриховка).

Пояснительные условные знаки (например, стрелки, показывающие направление течения реки, фигурки лиственных и хвойных деревьев и др.), подписи, буквенные и цифровые обозначения также несут определенную информацию на карте.

На крупномасштабных картах чаще используются площадные и линейные условные знаки, на мелкомасштабных – внемасштабные.

Определение площади участков.

Существует три способа определения площади участков: аналитический, графический и механический.

Аналитический способ - площади участков вычисляют по результатам измерений линий и углов на местности с применением формул геометрии, тригонометрии и аналитической геометрии. Например, при вычислении площадей участков под строениями, их разбивают на простейшие геометрические фигуры, треугольники, прямоугольники, трапеции и площадь участка определяют как сумму площадей отдельных фигур, вычисляемых по линейным измерениям (высотам и основаниям) по общеизвестным формулам геометрии. Площади больших участков, целых землепользований вычисляют по результатам измерений линий и углов на местности (при помощи формул тригонометрии) или

по их функциям – приращениям координат и координатам вершин. Для этого применяются следующие формулы:

$$2P = \sum [X_i (Y_{i+1} - Y_{i-1})] \quad (34)$$

или

$$2P = \sum [Y_i (X_{i-1} - X_{i+1})] \quad (35)$$

Графический способ – площади вычисляют по результатам измерений линий по плану (карте), когда участок на пане разбивают на простейшие геометрические фигуры, преимущественно треугольники, реже прямоугольники и трапеции. В каждой фигуре измеряют высоту и основание, по которым вычисляют площадь. Сумма площадей фигур дает площадь участка. К графическому способу относится определение площади участка при помощи палетки.

Механический способ – площади участков определяют по плану при помощи специальных приборов (планиметр). Иногда способы определения площадей применяют комбинированно. Например, часть линейных величин для вычисления площади определяют по плану, а часть – по результатам измерений на местности.

Полярный планиметр ПП-М состоит из двух рычагов — полюсного и обводного. В нижней части груза, закрепленного на одном из концов полюсного рычага, имеется игла — полюс планиметра. На втором конце полюсного рычага находится штифт с шарообразной головкой, вставляемый в гнездо каретки обводного рычага. На конце обводного рычага имеется линза, на которой нанесена окружность с обводной точкой в центре.

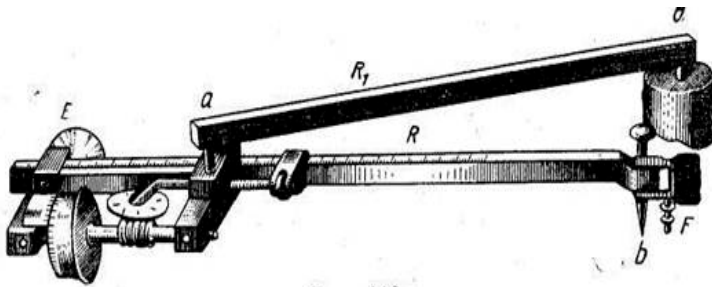


Рис. 48. Полярный планиметр

Наиболее точным способом определения площадей является аналитический, так как на точность определения площади при этом способе влияют только погрешности измерений на местности. При графическом и механическом способах, помимо погрешностей измерений на местности, влияют погрешности составления плана, определения площадей по плану и деформации бумаги. Графический способ выгодно применять, когда граница участка – ломаная линия с небольшим числом поворотов.

ЛЕКЦИЯ № 6. Элементы теории погрешностей геодезических измерений

Общие понятия об измерениях

Все величины встречающиеся в геодезической практике, можно разделить на *измеренные*, приближенные значения которых получают в результате измерений, и *вычисленные*, т.е. найденные путем вычислений как функции измеренных величин.

Измерением называют процесс сравнения некоторой физической величины с другой одноименной величиной, принятой за единицу меры.

Единица меры – значение физической величины, принятой для количественной оценки величин того же рода. Совокупность единиц физических величин, принятых в государстве для измерения, называют *системой мер*.

За единицу линейных измерений в геодезии принят метр. Первое определение метра как одной десятиmillionной части четверти Парижского меридиана было дано в 1791 году при установлении метрической системы мер. В результате этих измерений в 1799 году был изготовлен первый эталон метра и передан на хранение в Национальный архив Франции. В связи с этим он получил название «архивного метра».

В 1875 в соответствии с Метрической конвенцией, принятой Международной дипломатической конвенцией, по метрической системе единиц, был изготовлен 31 метр-прототип в виде платино-иридиевых жезлов. Метр № 6 вместе с двумя контрольными копиями хранится в Международном бюро мер и весов в Севре (Франция). Остальные копии метра распределены по жребью между другими государствами. Россия получила два метра – прототипа _ № 11 (хранится в Академии наук СССР) и № 28 (хранится в Вsesоюзном научно-исследовательском институте метрологии).

В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам приняла решение о введении единой универсальной системы – Международной системы единиц – СИ, в которой в качестве основной единицы длины принят метр. Повышение требований

к точности линейных измерений привело к тому, что Генеральная конференция по мерам и весам отменила определение метра, действовавшее с 1889 г. и основанное на международном платиноиридиевом эталоне, и ввела определение «светового метра», выраженное в длинах световых волн.

На XVII Генеральной конференции по мерам и весам в октябре 1983 г. принято новое определение метра. Установлено, что метр равен расстоянию, проходимому в вакууме плоской электромагнитной волной за $1/299\,792\,458$ долей секунды. Кратными и дольными единицами метра являются: 1000 метров, составляющих 1 километр (км), (0,1 метра – дециметр (дм), 0,01 метра – сантиметр (см), 0,001 метра – миллиметр (мм).

СИ в качестве единицы измерения плоского угла рекомендуется радиан (рад), равный углу, заключенному между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу. СИ допускает также применение градусной единицы угловых измерений: градуса (1°) – величина, которую получают в результате деления прямого угла на 90 равных частей, минуты ($1'$) и секунды ($1''$); $1^\circ = 60' = 3600''$, $1' = 60''$. Зависимость между радианами и угловыми единицами имеет вид: $1 \text{ рад} = 57,3^\circ = 3438' = 206\,265''$.

За единицу измерения площади принят квадратный метр (м^2). Кратными и дольными единицами квадратного метра являются: квадратный километр, квадратный дециметр, квадратный сантиметр, квадратный миллиметр. Для измерения площади земельных участков допускается применять гектар (га).

При производстве геодезических работ различают следующие виды измерений:

1. Линейные, в результате которых получают наклонные и горизонтальные расстояния между заданными точками. Для этой цели применяют мерные ленты, рулетки, проволоки, оптические, свето- радиодальномеры.

2. Угловые, определяющие величины горизонтальных и вертикальных углов. Для выполнения таких измерений

применяют угломерные инструменты: теодолиты, буссоли, эклиметры.

3. Высотные, в результате которых получают разности высот отдельных точек. Для производства этих измерений применяют нивелиры, теодолиты-тахеометры, барометры и др.

При математической обработке результатов геодезических измерений очень важное значение имеют понятия необходимых и избыточных измеренных величин. Например, для определения всех шести элементов плоского треугольника нужно измерить не менее трех его элементов, в числе которых должна быть хотя бы одна сторона. В общем случае для решения любой геодезической задачи следует определить некоторое минимальное число величин. Число минимально необходимых для решения поставленной задачи измеренных величин называют числом необходимых величин. Разность числа всех измеренных и числа необходимых величин называют числом избыточных величин.

В геодезической практике избыточно измеренные величины обязательны. Они позволяют обнаруживать ошибки в измерениях и вычислениях и повышает точность определения искоемых величин.

Погрешности измерений

Всякое измерение производят при наличии факторов: 1) объект измерения; 2) субъект измерения – наблюдатель; 3) мерный прибор; 4) метод измерений – совокупность правил и действий при измерениях; 5) внешняя среда, в которой производят измерение.

В зависимости от условий измерения могут быть равноточными и неравноточными. Если в процессе измерений сохраняются неизменными все пять факторов, то такие измерения называют равноточными. При неодинаковых условиях, т.е. когда изменяется хотя бы одно из пяти условий (например наблюдатели были разной квалификации), производимые измерения будут неравноточными.

Каждый из перечисленных факторов в процессе измерений порождает целый ряд элементарных погрешностей.

Суммарное действие этих погрешностей образует погрешность результата измерений, в связи с чем результат измерений никогда не совпадает с истинным значением измеряемой величины.

Различают три основных вида погрешностей: грубые, систематические и случайные.

Грубые погрешности измерений возникают в результате грубых промахов, просчётов исполнителя, его невнимательности, незамеченных неисправностях технических средств. Грубые погрешности совершенно недопустимы и должны быть полностью исключены из результатов измерений путем проведения повторных, дополнительных измерений.

Систематические погрешности измерений – постоянная составляющая, связанная с дефектами: зрение, неисправность технических средств, температура. Систематические погрешности могут быть как одностороннего действия, так и переменного (периодические погрешности). Их стремятся по возможности учесть или исключить из результатов измерений при организации и проведении работ.

Случайные погрешности измерений неизбежно сопутствуют всем измерениям. Погрешности случайные исключить нельзя, но можно ослабить их влияние на искомый результат за счет проведения дополнительных измерений. Это самые коварные погрешности, сопутствующие всем измерениям. Могут быть разные как по величине, так и по знаку.

На практике создают условия для устранения и минимизации систематических и грубых погрешностей в результатах измерений. При этом принимают, что остаются лишь случайные погрешности, которые и учитывают при оценках качества измерений и точности конечных геодезических данных.

Свойства случайных погрешностей измерений

Случайной погрешностью называют разность между измеренным значением l величины и ее истинным значением X , т.е.

$$\Delta = l - X \quad (36)$$

Приняв это условие, основные свойства случайных погрешностей можно сформулировать следующим образом:

Статистические свойства случайных погрешностей

Каждая отдельная случайная погрешность большого ряда равноточных измерений одной и той же величины (или сходных величин) в статистическом отношении принадлежит множеству случайных погрешностей, которые в совокупности описываются определенными математическими законами. Множество однородных случайных погрешностей, как правило, подчиняются закону нормального распределения, графически отображаемому графиком нормального распределения случайных погрешностей

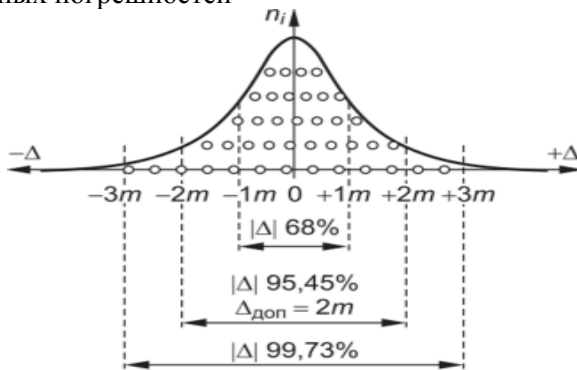


Рис. 49. График нормального распределения случайных погрешностей

Свойство ограниченности выражается в том, что в данных условиях измерений случайные погрешности Δ не могут превзойти по модулю некоторую предельную погрешность, например $3m$.

Свойство унимодальности.

Малые по модулю погрешности появляются чаще чем большие.

Свойство симметричности и компенсации

Равные по модулю отрицательные и положительные погрешности возникают одинаково часто, поэтому при

неограниченном числе n измерений одной и той же величины среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю.

Свойство предела рассеивания

Для неограниченного числа измерений среднее арифметическое из квадратов случайных погрешностей стремится к пределу m^2

Предел m^2 называется дисперсией и представляет собой одну из важнейших характеристик разброса случайных погрешностей Δ_i , как и другая характеристика разброса – стандарт m , или стандартная средняя квадратическая погрешность равная

$$m = \sqrt{m^2}$$

Значения m используют как один из статистических показателей погрешностей результатов множества однородных измерений и каждого отдельного из них.

Свойство независимости Если произведены два ряда однородных измерений и получены два ряда независимых случайных погрешностей: $\Delta_1, \Delta_2 \dots \Delta_n$ и $\Delta_1^1, \Delta_2^1 \dots \Delta_n^1$, то попарные произведения их величин Δ_i, Δ_i^1 тоже обладают всеми свойствами случайных погрешностей и в соответствии со свойством симметричности и компенсации сумма таких произведений стремится к нулю.

Вероятнейшее значение измеряемой величины при равноточных измерениях

Пусть имеется ряд равноточных измерений величины X :

$$l_1, l_2, \dots, l_n.$$

Вычислим арифметическую середину $X_0 = [l]/n$ и образуем разности:

$$l_1 - X_0 = V_1;$$

$$l_2 - X_0 = V_2;$$

$$\dots$$

$$l_n - X_0 = V_n. \quad (37)$$

Сложим все разности и получим $[V] - n \cdot X_0 = [V]$. По определению арифметической середины $n \cdot X_0 = [l]$, поэтому:

$$[V] = 0. \quad (38)$$

Величины V называют вероятнейшими ошибками измерений; именно по их значениям и вычисляют на практике среднюю квадратическую ошибку одного измерения, используя для этого формулу Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{[V^2]}{n-1}} \quad (39)$$

Под точностью измерений понимается степень близости результата измерения к истинному значению измеряемой величины. Точность результата измерений зависит от условий измерений.

Для равноточных результатов измерений мерой точности является средняя квадратическая ошибка m , определяемая по формуле Гаусса:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} \quad (40)$$

Средняя квадратическая ошибка обладает устойчивостью при небольшом числе измерений.

Предельная ошибка.

Вследствие третьего свойства случайные ошибки, превышающие по абсолютной величине значение $2m$, встречаются редко (5 на 100 измерений). Еще реже погрешности больше $3m$ (3 из 1000 измерений). Поэтому утроенную погрешность называют *предельной ошибкой*

$$\Delta_{пред} \leq 3m \quad (41)$$

Для особо точных измерений в качестве предельной ошибки принимают

$$\Delta_{пред} \leq 2m \quad (42)$$

Все вышеперечисленные ошибки называют *абсолютными*. В геодезии в качестве специальных характеристик точности измерений используется *относительная ошибка* – отношение абсолютной ошибки к среднему значению измеряемой величины, которое выражается в виде простой дроби с единицей в числителе, например

$$f_{\text{отн}} = \frac{m_s}{S} = \frac{1}{1500} \quad (43)$$

Интервальные характеристики точности результатов измерений

Стандарт m , с некоторым приближением и СКП m , позволяют дать общую вероятностную оценку погрешностей данного ряда измерений и погрешности окончательного результата L . Как показано на графике, в интервале от $-m$ до $+m$ концентрируются случайные погрешности Δ_i не превышающие по модулю значения $|m|$, т.е. $\Delta_i \leq |m|$, а число таких величин составляет 68% от всего множества Δ_i при $n \rightarrow \infty$. В интервале от $-2m$ до $+2m$ распределяется 95,45% общего числа случайных погрешностей, а в интервал от $-3m$ до $+3m$ попадают 99,73% всех значений.

Предельная погрешность

В качестве допустимых погрешностей для ряда равноточных измерений часто принимают удвоенное $2m$ или утроенное $3m$ значение стандарта. В геодезических работах предельную (допустимую) погрешность обычно устанавливают из условия

$$\Delta_{\text{пред}} = 2m \quad (44)$$

а превосходящие этот допуск погрешности считают грубыми.

Абсолютные и относительные погрешности

Погрешность, определяемая по формуле $\Delta = l - X$, называется абсолютной. В практике геодезических измерений точность наблюдений принято характеризовать не только абсолютным значением погрешности (истинной, средней квадратической), но и относительной ее величиной. В качестве относительной погрешности принимают отношение абсолютной погрешности к значению измеряемой величины:

$$\Delta_{\text{отн}} = \frac{m}{X} = \frac{1}{X/m} \quad (45)$$

где X – значение измеряемой величины.

Относительная погрешность применяется для характеристики точности измерения длины линий.

ЛЕКЦИЯ № 7. Угловые измерения

Угловые измерения подразделяются на горизонтальные и вертикальные. Горизонтальный угол, это двухгранный угол, образованный вертикальными плоскостями, построенными на сторонах угла.

На местности имеется два направления АВ и АС необходимо определить

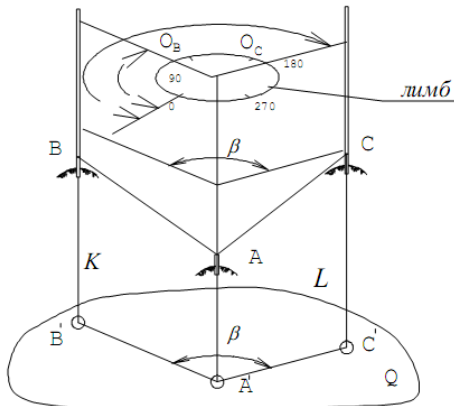


Рис. 50. Сущность угловых измерений

угол β между этими направлениями, рис. 50. Так как в геодезии все линии проектируются на плоскость, то горизонтальным углом β будет угол В А С, образованный, проекциями линий АВ и ВС на плоскость Q.

Для измерения данного угла необходима мера, которой будет круг с градусными делениями, называемый лимбом. Лимб горизонтально устанавливается над вершиной угла (точка А). Линия пересечения вертикальной плоскости К с лимбом образуют отсчет O_B , а линия пересечения плоскости L - даст отсчет O_C . Разность данных отсчетов будет равна измеряемому горизонтальному углу $\beta = O_C - O_B$.

Таким образом, горизонтальный угол между двумя направлениями АВ и АС будет двухгранный угол, образованный

двумя вертикальными плоскостями, проходящими через данные направления.

Принцип измерения горизонтальных углов

Пусть на местности имеются три точки – А, В, С, расположенные на разных высотах (рис. 51). Действительный угол при вершине **В** будет образован направлениями **ВА** и **ВС**. Но при решении многих инженерных задач, в том числе построении карт, надо знать не реальный наклонный угол **АВС**, а его проекцию на горизонтальную плоскость, т.е. угол **авс**.

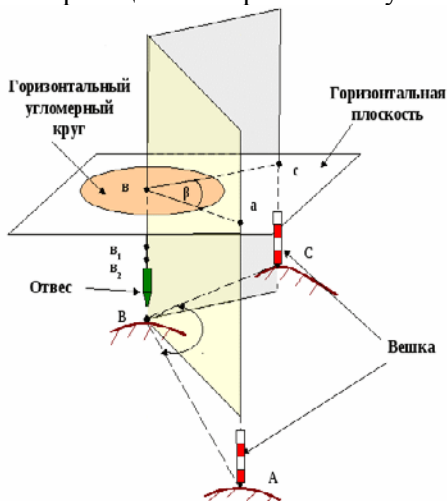


Рис. 51 Измерение горизонтальных углов

Горизонтальным углом называется угол, лежащий в горизонтальной плоскости и выражающий величину двугранного угла, образованного вертикальными плоскостями, проходящими через отвесную линию в вершине угла В и через две отвесные линии в заданных точках визирования - А и С.

Вертикальный угол, (рис. 52), это угол, образованный горизонтальной плоскостью Н Н' и заданным направлением А.

Горизонтальная плоскость формируется цилиндрическим уровнем. Мерой измерений вертикальных углов является лимб вертикального круга.

Угол v равен $v = O_A - M_0$ (44)

где O_A - отсчет по лимбу вертикального круга;

M_0 - место нуля вертикального круга (угол между нулевым диаметром лимба и линией горизонта при горизонтальном положении линии визирования).

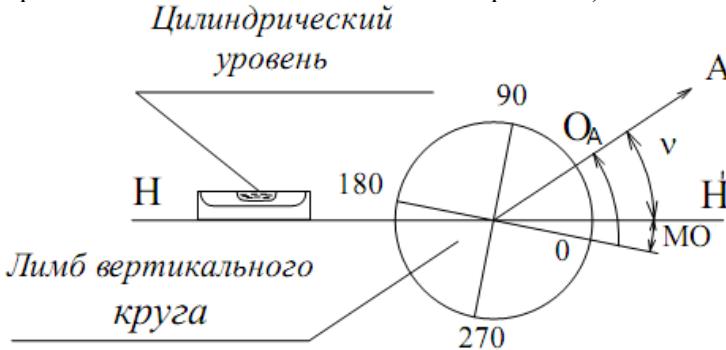


Рис. 52. Сущность измерения вертикальных углов

Типы теодолитов

Для обозначения модели теодолита используется буква "Т" и цифры, указывающие угловые секунды средней квадратической ошибки однократного измерения горизонтального угла.

По точности теодолиты подразделяются на три группы:
технические Т30, предназначенные для измерения углов со средними квадратическими ошибками до $\pm 30''$;

точные Т2 и Т5 – до $\pm 2''$ и $\pm 5''$;

высокоточные Т05 и Т1 – до $\pm 1''$

Устройство теодолита.

Конструктивно теодолит Т30 состоит из 2-х частей: нижней неподвижной, называемой **подставка** (иногда называют *трегер*), и верхней несъемной подвижной части, называемой *алидада*. Обе части соединены друг с другом посредством вертикальной осевой системы.

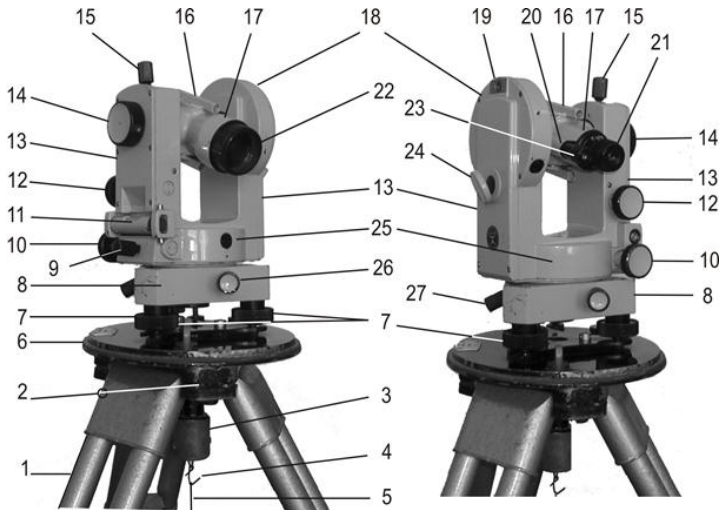


Рисунок 53 Теодолит Т30 и его основные конструктивные элементы:

А) штатив и его элементы: 1 – ножка штатива; 2 – головка штатива; 3 – становой винт; 4 – крючок для нитяного отвеса; 5 – нитяный отвес; Б) теодолит и его элементы: 6 – основание подставки (футляра) теодолита; 7 – подъемные винты подставки; 8 – подставка теодолита; 9 – закрепительный винт алидады горизонтального круга; 10 – наводящий винт алидады горизонтального круга; 11 – установочный цилиндрический уровень; 12 – наводящий винт зрительной трубы; 13 – несущие колонки; 14 – рукоятка винта фокусировки зрительной трубы (кремальера); 15 – закрепительный винт зрительной трубы; 16 – коллиматорные визиры; 17 – зрительная труба; 18 – корпус вертикального круга; 19 – посадочный паз для буссоли; 20 – отсчетный микроскоп; 21 – диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы; 22 – объектив зрительной трубы; 23 – диоптрийное кольцо окуляра отсчетного микроскопа; 24 – зеркальце иллюминатора для подсветки оптической системы внутри теодолита; 25 – корпус горизонтального круга; 26 – наводящий винт лимба горизонтального круга; 27 – закрепительный винт лимба горизонтального круга.

Алидада – это часть геодезического прибора, расположенная соосно с *лимбом* и несущая элементы отсчетного устройства.

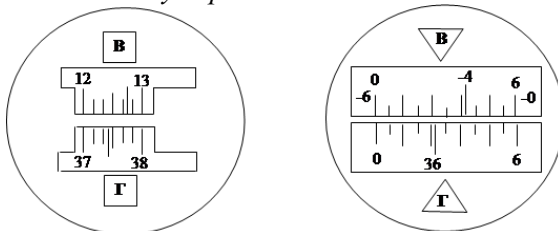
Лимб – это *рабочая мера* геодезического прибора в виде круговой шкалы, предназначенная для воспроизведения единицы плоского угла.

Основные штрихи сетки используются для наведения зрительной трубы в горизонтальной и вертикальной плоскости на наблюдаемую точку или объект. Система двух вертикальных штрихов называется *биссектором*. Точка пересечения основных штрихов сетки называется *перекрестием сетки нитей*. Перекрестие сетки нитей используется для визирования на наблюдаемые точки.



Рисунок 54 Сетка нитей зрительной трубы теодолитов Т30, 2Т30

Отсчетные устройства



а) штриховой микроскоп

б) шкаловый микроскоп

Рис. 55. Поле зрения штрихового и шкалового микроскопов.

Штриховой микроскоп является наиболее простым отсчетным устройством используемым в теодолитах Т30,

2Т30П. Отсчитывание ведется относительно неподвижного индекса, видимого в поле зрения микроскопа совместно с изображением штрихов лимбов горизонтального и вертикального кругов с точностью до десятых долей их цены деления, равной $10'$ (рис.55, а).

В шкаловом микроскопе применяется шкала с ценой деления $5''$, выделены деления $10''$. Отсчет берется по оцифрованному штриху горизонтального лимба относительно штрихов шкалы. и т

Подготовка прибора к работе

Приведение теодолита в рабочее положение предусматривает его центрирование и горизонтирование.

Центрирование - угломерный прибор располагают в вершине измеряемого угла так, чтобы вертикальная ось вращения прибора, проходящая через центр горизонтального угломерного круга, с необходимой точностью проектировалась на вершину измеряемого угла.

Горизонтирование - установка лимба горизонтального угломерного круга в строго горизонтальное положение по цилиндрическому уровню прибора.

Проверки и юстировки теодолитов

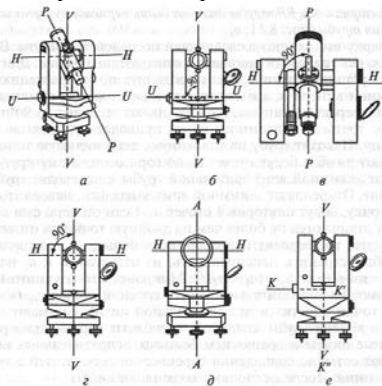


Рис. 56. Схемы (а, б, в, г, д) геометрических осей теодолита.

Ось UU цилиндрического уровня горизонтального круга должна быть перпендикулярна оси VV вращения прибора (рис. 56, б).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Теодолит устанавливают на штативе так, чтобы уровень был расположен по направлению двух любых подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня в нуль-пункт, затем поворачивают горизонтальный круг теодолита на 180° . Если пузырек остался на середине или отклонился не более чем на одно деление, то уровень исправен, если более чем на одно деление — неисправен.

Для устранения неисправности пузырек перемещают исправительными винтами уровня к нуль-пункту на одну половину дуги отклонения, а подъемными винтами — на вторую.

После выполнения поверки удостоверяются, что теодолит сохраняет рабочее положение. Для этого горизонтальный круг поворачивают на 90° , приводят пузырек цилиндрического уровня на середину и поворачивают горизонтальный круг в произвольном направлении. Если при различных положениях круга относительно подъемных винтов пузырек остался на середине, то поверка считается выполненной.

2. Визирная ось PP трубы должна быть перпендикулярна оси NN вращения трубы (рис. 56, в).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Вертикальную ось теодолита приводят в отвесное положение. Для этого сначала устанавливают уровень теодолита по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек на середину ампулы. Поворачивают теодолит на 90° и вращением третьего подъемного винта приводят пузырек снова на середину. Наводят трубу на удаленную, ясно видимую точку, закрепляют лимб и берут отсчет a_1 по горизонтальному кругу. Отпускают зажимной винт зрительной трубы и переводят трубу через зенит. Открепляют зажимной винт алидады и, наводя трубу на ту же точку, берут повторный отсчет a_2 . Если отсчеты a_1 и a_2 равны или

отличаются не более чем на двойную точность отсчетного устройства, то теодолит исправен, если больше — неисправен.

Чтобы устранить неисправность, из отсчетов a_1 и a_2 находят среднее значение: $a_{cp} = (a_1 + a_2)/2$. Микрометренным винтом устанавливают на горизонтальном круге средний отсчет a_{cp} (изображение точки сместится от вертикальной нити). Снимают с окулярного колена трубы колпачок, ослабляют вертикально расположенные винты и вращением боковых исправительных винтов смещают сетку до совпадения перекрестия сетки нитей с точкой визирования. После юстировки закрепляют винты.

Можно измерять угол и при нарушенном соотношении осей. В этом случае отсчеты берут при двух положениях трубы — левом (Л) и правом (П) и из этих отсчетов определяют среднее.

3. Ось НН вращения трубы должна быть перпендикулярна оси VV вращения прибора (рис. 56, г).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Теодолит устанавливают на расстоянии 10 - 15 м от стены здания. Вертикальную ось вращения приводят в отвесное положение. Трубу наводят на точку, высоко расположенную на здании, и закрепляют горизонтальный круг. Трубу плавно опускают до горизонтального положения. На стене отмечают проекцию точки. Переводят трубу через зенит, опускают закрепительный винт алидады и снова наводят на ту же точку. Проецируют точку на тот же уровень и закрепляют. Если проекции точки совпадают, то теодолит исправен, если не совпадают — неисправен.

Условия этой поверки гарантируются заводом-изготовителем. При нарушении условий прибор направляют в мастерскую для ремонта.

При работе с нарушенным соотношением осей измерения делают только при двух положениях круга. При подъеме трубы до 30° и расстоянии до проектируемой точки до 20 м допускается несовпадение проекций до 30 мм; за окончательный результат принимают среднее из двух наведений.

4. Вертикальная нить АА сетки зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси НН ее вращения (рис. 56, д).

Поверку выполняют в следующей последовательности. Вертикальную ось вращения теодолита приводят в отвесное положение. На расстоянии 8 - 10 м от теодолита закрепляют отвес. Вертикальную нить наводят на отвес. Если вертикальная нить сетки совпадает с нитью отвеса, то теодолит исправен, если отклонилась от отвеса — неисправен.

Чтобы исправить соотношение осей, снимают с окулярного колена трубы колпачок, ослабляют исправительные винты сетки и поворачивают диафрагму так, чтобы вертикальная нить сетки совместилась с нитью отвеса. При нарушении условия поверки визируют только перекрестием сетки нитей.

После выполнения этой поверки повторно делают вторую поверку.

5. Визирные оси оптических визиров должны быть параллельны визирной оси зрительной трубы.

Выполнение этого условия необходимо для удобства работы с теодолитом и сокращения времени визирования на наблюдаемые объекты. Поверку выполняют следующим образом. Визируют зрительной трубой на четкую удаленную точку, которая хорошо видна также и невооруженным глазом. Далее рассматривают эту точку без трубы одним глазом и одновременно рассматривают перекрестие визира другим глазом. Если изображение перекрестия визира совмещается с изображением наблюдаемой точки, то условие выполнено.

Если условие не выполнено, то ослабляют винты, крепящие визир к корпусу зрительной трубы, и поворачивают его в нужном направлении. Затем винты заворачивают.

Способы измерения горизонтального угла

Для измерения горизонтального угла применяют различные способы – способ отдельного угла и способ круговых приемов. Применяется также способ повторений, «от нуля» и способ построений угла с повышенной точностью.

Способ приёмов (способ отдельного угла)

При решении инженерных задач различного вида наиболее часто применяется *способ отдельного угла* (иначе называемый *способом приёмов*).

Пусть требуется в сомкнутом теодолитном ходе (в полигоне) измерить внутренний, правый по ходу угол β (рис. 57). При обычной нумерации вершин углов полигона по ходу часовой стрелки и при аналогичной оцифровке лимба, для вычисления угла β визируют вначале на вершину заднего угла В, берут отсчёт по лимбу O_B , затем визируют на вершину переднего угла А, берут отсчёт O_A . Разность этих отсчётов даёт искомый угол

$$\beta = O_B - O_A$$

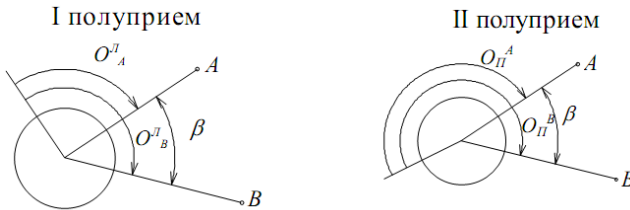


Рис. 57. Измерение горизонтального угла способом

Над вершиной измеряемого угла β центрируют и горизонтируют теодолит, а в точках А и В ставят визирные веши.

Первый полуприем. Закрепляют горизонтальный угломерный круг теодолита, открепляют алидаду и визируют зрительной трубой на заднюю по ходу визирную цель В. По горизонтальному кругу берут отсчет O_B и записывают его в журнал (табл. 6). Затем при закрепленном горизонтальном круге визируют на переднюю точку А и берут отсчет O_A .

Правый по ходу угол β вычисляют как

$$\beta = O_B - O_A = 128^\circ 48' - 88^\circ 26' = 40^\circ 22'$$

Второй полуприем. Зрительную трубу переводят через зенит, а горизонтальный вместе с алидадой поворачивают на угол $3-5^\circ$. Затем действия второго полуприема выполняют в той же последовательности, что и первого.

Второе значение угла равно

$$\beta = 214^{\circ} 46' - 174^{\circ} 24' = 40^{\circ} 22'$$

Допустимое расхождение углов вычисленных при круге право и круге лево составляет $2t$ – двойную точность отсчетного устройства ($2t = 1'$ для теодолитов Т30 – 4Т30П).

При этом условии вычисляется среднее значение измеренного угла

$$\beta = \beta_1 + \beta_2 / 2 \quad (46)$$

Журнал измерения горизонтальных углов теодолитом Т30

Наименование		Отсчеты по		Горизонтальный угол		
станции	точки	горизонтальному		В	среднее	
		кругу		полуприеме		
1-й полуприем						
1	В	О _В	128° 48'	40° 22'	40° 22'	
	А	О _А	88° 26'			
2-й полуприем						
	В	О _В	214° 46'	40° 22'		
	А	О _А	174° 24'			

Способ круговых приемов

Способ круговых приемов применяется когда необходимо измерить углы между несколькими направлениями, рис. 58. Измерения, как правило, выполняются в несколько приемов. Порядок измерений в одном приеме следующий. Поочередно наводится труба теодолита на все направления, и берутся отсчеты по горизонтальному кругу, горизонт замыкается на начальном направлении.

Труба переводится через зенит и, не изменяя положения лимба, выполняются измерения на все направления, но только в обратном порядке, также замыкая горизонт. Контроль осуществляется по величине разности одноименных отсчетов, полученных в начале и в конце измерений.

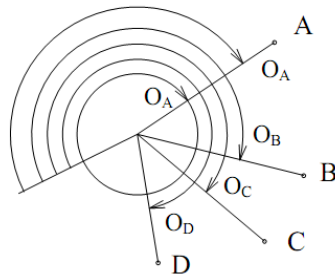


Рис. 58. Способ круговых приемов

Измерение горизонтальных углов способом «от нуля»

В ряде угломерных задач для некоторого упрощения измерений горизонтальный круг теодолита устанавливают на отсчет ноль при визировании на левую точку измеряемого угла и закрепляют. При визировании на правую точку отсчет по горизонтальному кругу будет равен измеряемому углу.

Способ «от нуля» не применяется в тех геодезических работах, в которых он не предусмотрен соответствующими инструкциями, не обеспечивает надлежащий контроль результатов, оказывается излишне трудоемким.

Погрешности измерения горизонтальных углов

При измерении любых горизонтальных углов возможны следующие погрешности:

- погрешность центрирования;
- погрешность горизонтирования;
- погрешность визирования.

Погрешность центрирования (рис.59) возникает, если горизонтальный угломерный круг отцентрирован неверно, величина измеряемого угла при этом может быть меньше (AB_2C) или больше (AB_1C) действительного угла (ABC) на местности

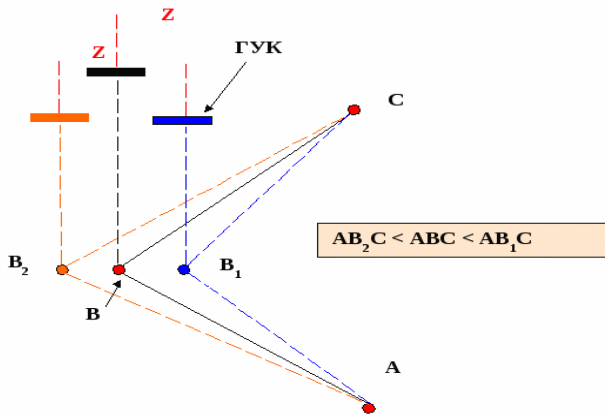


Рис. 59. Погрешность центрирования

Погрешность горизонтирования (рис. 60) возникает, если горизонтальный угломерный круг отгоризонтирован неверно, величина измеряемого угла при этом может быть меньше (AB_2C) или больше (AB_1C) действительного угла (ABC) на местности.

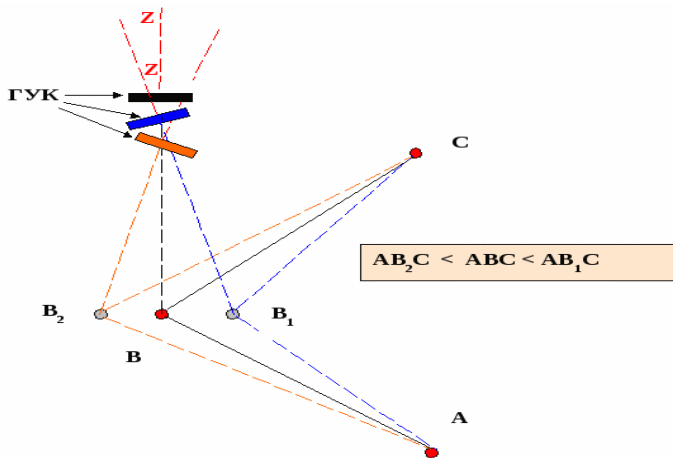


Рис. 60. Погрешность горизонтирования

Погрешность визирования (рис.61) возникает, если визирование проведено неверно (рейка или вешка отклонились от вертикального положения), величина измеряемого угла при этом может быть меньше (A_1BC_1) или больше (A_2BC_2) действительного угла на местности. Для уменьшения этой погрешности используют рейки с круглым уровнем и визируют на основание вешки или пятку рейки.

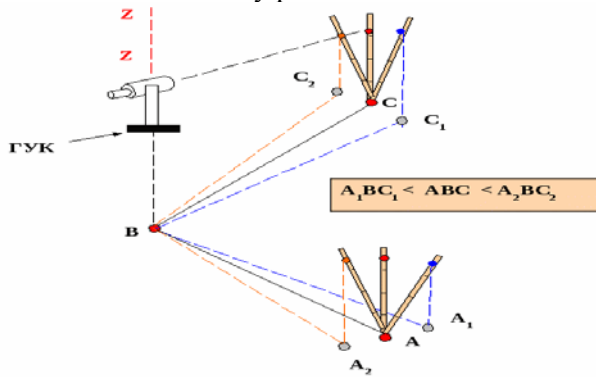


Рис. 61. Погрешность визирования A_1 и A_2 проекции высокой точки визирования на горизонт

Для избежания ошибок при измерении горизонтальных углов необходимо придерживаться следующих рекомендаций:

При измерении углов в равнинной местности погрешности от наклона оси вращения теодолита незначительны, отклонение пузырька цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга можно допускать до двух делений, т. е. требование в отношении горизонтирования прибора не жёсткое. Если линии визирования имеют углы наклона 10-15 %, то отклонение пузырька не должно превосходить 0,5 деления. За горизонтированием прибора необходимо следить тщательно.

Погрешность за счёт неточного центрирования тем больше, чем короче стороны измеряемого угла. Чтобы эта погрешность при использовании отвеса не оказывала существенного влияния на результат измерения, стороны не

должны быть короче 100 м. При меньших сторонах угла центрирование следует производить по оптическому центру.

Измерение вертикальных углов

Вертикальный угол, (рис. 60), это угол, образованный горизонтальной плоскостью HN' и заданным направлением A .

Горизонтальная плоскость формируется цилиндрическим уровнем. Мерой измерений вертикальных углов является лимб вертикального круга.

Угол v равен $v = O_A - M_0$ (47)

где O_A - отсчет по лимбу вертикального круга;

M_0 - место нуля вертикального круга (угол между нулевым диаметром лимба и линией горизонта при горизонтальном положении линии визирования).

Место нуля вертикального круга

У теодолита с металлическими кругами и у некоторых оптических, цилиндрический уровень прикреплён непосредственно к алидаде вертикального круга (рис. 11). При вращении микрометричного винта алидада поворачивается, соответственно, перемещается пузырёк цилиндрического уровня. При изменении угла наклона линии, перед взятием отсчёта по вертикальному кругу, пузырёк уровня выводят на середину (микрометричным винтом у теодолитов с металлическими кругами, подъёмными винтами у некоторых оптических теодолитов). Но при этом даже при расположении пузырька уровня на середине линия нулей отсчётного приспособления может составлять некоторый угол с линией горизонта. Этот угол называется *местом нуля вертикального круга* (M_0).

Место нуля – отсчет по вертикальному кругу, когда пузырёк уровня при алидаде находится на середине.

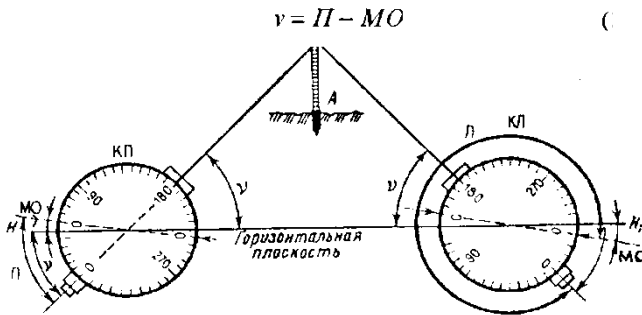


Рис. 62. Измерение углов наклона

В зависимости от рабочего положения теодолита КП или КЛ угол наклона вычисляется по формулам:

$$v = \Pi - \text{МО} \quad (48)$$

$$v = 360^\circ - \text{Л} + \text{МО} \quad (49)$$

$$\text{или } v = \text{МО} - \text{Л} \quad (50)$$

Решив уравнения (48) и (49) относительно МО и v , найдем:

$$\text{МО} = (\Pi + \text{Л}) / 2 \quad (51)$$

$$v = (\Pi - \text{Л}) / 2 \quad (52)$$

При вычислениях углов наклона и МО по формулам (76) и (79) следует к малым отсчетам (от 0 до 60°) прибавить 360° .

Электронные теодолиты и тахеометры.

Электронный тахеометр



Рис. 63. Электронный тахеометр

Электронный тахеометр (рис. 63) объединил в себе функции теодолита и дальномера. Изобретение этого геодезического прибора позволило выполнять какие бы то ни было угломерные вычисления с одновременным определением расстояний.

Удобна и в своём роде уникальна такая функция электронных тахеометров, как фиксирование информации – произведённые вычисления сохраняются в памяти этого устройства. Впоследствии все данные могут быть с лёгкостью переведены в компьютер для профессиональной обработки.

Кроме того, электронные тахеометры незаменимы для вынесения точек проекта в натуру, измерения площадей и объёмов, расчёта координат. Частично тахеометр берёт на себя функции строительного уровня и оптического нивелира: с помощью прибора можно рассчитывать горизонтальные положения, наклоны объектов, превышения одних точек над другими.

Используют тахеометры в тех видах ответственных работ, которые требуют математической точности. Это и замеры провисания провода линий электропередач, и работа в так называемых "условиях неприступной высоты". Тахеометры позволяют производить топографическую съёмку крупного масштаба, снимать застроенные или строящиеся объекты. Эти приборы снабжены программным обеспечением, безусловно устанавливающим координаты участка земли.

Тахеометр рассматривают как одну из разновидностей теодолитов – само название с древнегреческого языка переводится как быстрый. Итак, разберемся, чем отличается теодолит от тахеометра. Главная отличительная особенность состоит в наличии у последнего дальномера, благодаря которому и возможно производить измерения не только углов, но и расстояний. Для выполнения геодезических работ электронный тахеометр незаменим, его надёжность, многофункциональность позволяют решать множество поставленных задач на высокопрофессиональном уровне

Электронные теодолиты

Рис. 64. Теодолит электронный

Современный электронный теодолит (рис. 64) имеет множество функций для измерения в своем арсенале. Горизонтальные углы вычисляются с помощью специальных приспособлений — алидады и лимба. Лимб — это стеклянный круг со шкалой на 360 делений, который закреплён стационарно и защищен от повреждений. Вокруг лимба вращается алидада вместе с корпусом устройства. Принцип измерения и передачи данных электронным теодолитом существенно отличается от оптики. Все значения зашифрованы в двоичном коде, поэтому вместо градусов, минут и секунд имеются ноли или единицы. Считывание показаний передаётся с помощью фотоэлектронных устройств. Для увеличения достоверности показаний прибора в конструкцию входят пузырьковые уровни и вертикальный отвес. Для более точного снятия показаний прибор предусматривает специальный микроскоп. Характерным отличием электронного теодолита от оптической его версии — является наличие устройства для снятия и регистрации показаний в автоматическом режиме, с последующей их записью на чип памяти прибора.

Электронные теодолиты — это приборы, которые позволяют значительно упростить процедуру снятия угловых

величин, по сравнению с полностью оптическими устройствами. Такой инструмент позволяет работать даже в условиях темноты. А наличие дисплея исключит ошибку снятия показаний.

ЛЕКЦИЯ №8. Линейные измерения

Линейные измерения на местности

Под измерениями понимают процесс сравнения какой-либо величины с другой однородной величиной, принимаемой за единицу. В результате линейных измерений на местности определяются расстояния между заданными точками. За единицу линейных измерений в геодезии принят метр, эталон которого из платино-иридиевого сплава с 1889 г. хранится в Международном бюро мер и весов в Париже. В настоящее время эталоном метра является длина пути, пройденная светом за $1/299792546$ доли секунды.

Применяемые в настоящее время в геодезии приборы для измерения длин линий можно разделить на три группы: механические, оптические и электромагнитные, предназначенные для измерения расстояний от нескольких метров до десятков и более километров.

К механическим мерным приборам относятся рулетки, мерные ленты, мерные проволоки. Точность измерений линий этими приборами характеризуется погрешностями, которые в зависимости от применяемого прибора составляют от 1:1 000 (для рулеток) до 1:1 000 000 для проволок. Этими приборами линии измеряют непосредственным методом, т.е. прямым сравнением длины измеряемой линии с длиной мерного прибора.

Измерение линий оптическими и электромагнитными (свето- и радиодальномерами) производится косвенным путем. Точность измерений оптическим дальномером от 1:300 до 1:15 000 длины линии.

Измерение линий электромагнитными дальномерами, основанное на скорости прохождения световых и радиоволн позволяет измерять очень большие линии с точностью от 1:10 000 до 1:1 000 000. В зависимости от вида геодезических работ и требуемой точности применяются те или иные приборы.

Вешение линий

Концы линий, которые необходимо измерить, предварительно закрепляют на местности кольями круглого или квадратного сечения длиной 30-40 см и толщиной около 5 см. В

верхних концах кольев забивают гвозди. Перед измерением на концах линии устанавливают вехи – шести круглого сечения диаметром 4-6 см и длиной 2-3 м. Если длина линии превышает 150-200 м, то ее необходимо обозначить на местности дополнительными вехами. Эти вехи должны располагаться в створе измеряемой линии. Процесс установки дополнительных вех называется – *вешением*. Число дополнительных вех зависит от длины линии и характера рельефа. На равнинных участках их ставят через 100-150 м, на пересеченных чаще, чтобы обеспечить надежную видимость между соседними вехами. Вешение может производиться на глаз или с помощью теодолита.

Если местность ровная и открытая, то после установки вех на концах линии А-В (рис. 65) один из наблюдателей встает за вехой, установленной в точке А в створ линии А-В (веха А должна закрыть веху в точке В) и смотрит в сторону точки В. Второй наблюдатель по сигналу первого устанавливает дополнительную веху чтобы она закрывала веху В. Двигаясь к точке А устанавливают вехи 2, 3, 4, 5 – это так называемое «вешение на себя». Вешение в противоположном направлении менее точно, т.к. ближайшие вехи будут закрывать дальние.



Рис. 65. Вешение линии на открытой местности.

При вешении через возвышенность (рис. 66), когда видимость между вешками 1 и 2 отсутствует сначала ставят вешку 3 на произвольном расстоянии от вешек 1 и 2, причем так, чтобы от нее была видна одна вешка, например 2.

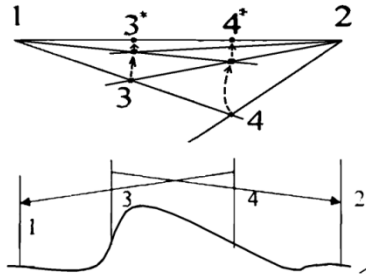


Рис. 66. Схема установки веш через возвышенность

Затем в створе вешек 2-3 ставят на произвольном расстоянии от вешки 3 вешку 4, но с таким расчетом, чтобы от нее была видна вешка 1. Далее в створ 4-1 переставляют вешку 3 так, чтобы от нее была видна вешка 2, а затем в створ 3-2 переносят вешку 4. Ее устанавливают так, чтобы от нее была видна вешка 1 и т.д. Эти действия выполняют до тех пор, пока вешки 3 и 4 не окажутся в створе вешек 1 и 2.

При вешении через овраги (рис. 67) наблюдатель, находясь, например, у вешки 1, от себя устанавливает вешку 3 в створе вешек 1 и 2, а затем вешку 4 в створе вешек 1 и 3. Перейдя на другую сторону оврага, он по вешкам 2 и 3 устанавливает вешку 5. Наконец спустившись на дно оврага к вешке 5, он устанавливает по вешкам 5 и 4 вешку 6.

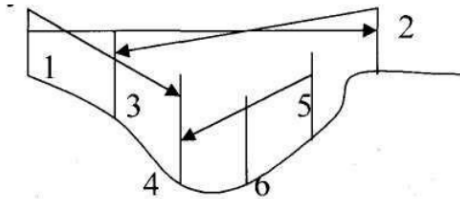


Рис. 67. Схема установки веш через овраг

Компарирование мерных лент

Всякий рабочий мерный прибор перед использованием для измерения на местности проверяют путем сравнения его

длины с мерным прибором (эталоном), длина которого известна с высокой точностью. Такое сравнение называется компарированием. Проволоки и эталонные ленты компарируют на компараторах в специальных лабораториях. Стальная мерная лента шириной 15-20 мм, толщиной 0.3-0.4 мм и длиной 20 м является наиболее простым мерным прибором.

Для удобства хранения и переноски ленту наматывают на железное кольцо. Обычно мерные ленты компарируют на полевых компараторах длиной 120 м. На концах полевого компаратора забивают металлические штыри со штрихами, отмечающими начало и конец компаратора. Точную длину полевого компаратора устанавливают многократным измерением прокомпарированной лентой или проволокой.

Часто рабочую ленту сравнивают с прокомпарированной лентой. Если l – действительная длина рабочей ленты, l_0 – номинальная длина рабочей ленты. Тогда поправка за компарирование

$$\Delta l = l - l_0 \quad (53)$$

$l = 20,028$ м, а номинальная длина рабочей ленты $l_0 = 20$ м, откуда

$$\Delta l = 20,028 - 20,0 = +0,28$$

При пользовании полевым компаратором рабочей лентой измеряют длину компаратора и разность между действительной длиной компаратора L и результатом его измерения рабочей лентой L_0 делят на число n , указывающее, сколько раз рабочая лента уложилась в длине компаратора. Полученный результат соответствует поправке Δl за компарирование мерного прибора

$$\Delta L = \frac{L - L_0}{n} = \frac{119.963 - 119.870}{6} = +0.016.$$

Эта поправка учитывается при измерении длин линий.

Измерение мерными лентами и рулетками

Мерные ленты бывают штриховые, концевые и шкаловые. У штриховой ленты нулевой штрих нарезан около

крючка, в который вставляют шпильку, устанавливаемую в землю, т.е. нулевой штрих приходится против оси шпильки. У концевой ленты начало счета ведется от ручки. Шкаловая лента отличается от штриховой наличием дециметровых шкал с обеих концов ленты. Шкалы имеют миллиметровые деления и длины линий измеряют с повышенной точностью.

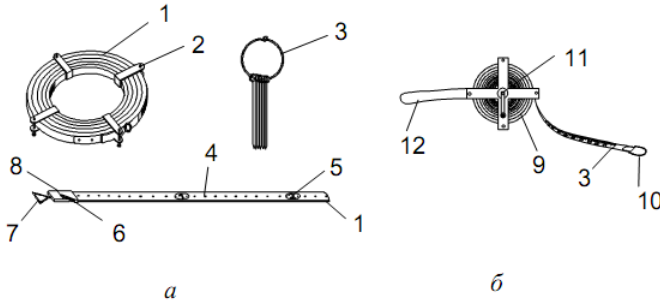


Рис. 68. Измерительные инструменты

а - землемерная лента

б - рулетка

1. Полотно ленты. 2. Кольцо. 3. Комплект шпилек. 4. Дециметровое деление. 5. Метровое деление. 6. Крючок. 7. Ручка. 8. Нулевой отсчетный индекс. 9. Полотно рулетки. 10. Кольцо. 11. Ручка для намотки полотна рулетки. 12. Ручка для переноски.

Каждый метр на лентах отмечен пластинками с обеих сторон ленты. На пластинках выбиты надписи, выражающие число метров от нулевого штриха 1, 2 и т.д. Каждый полуметр ленты отмечен кнопкой, а дециметр сквозным круглым отверстием. Для более точных измерений используют инварные проволоки. Инвар – сплав, имеющий малый коэффициент температурного расширения. Чтобы достигнуть постоянства натяжения ленты при точных измерениях применяется динамометр, а для учета температуры термометр.

Измерение длины линии АВ производится 2-мя рабочими в следующей последовательности. Задний совмещает нулевой штрих ленты с началом линии 1А (рис. 69), отмеченным на колышке, и направляет переднего рабочего так,

чтобы лента легла по направлению измеряемой линии. Передний рабочий натягивает ленту по створу и ставит первую шпильку в углубление в конце ленты против нулевого штриха (точка 2).

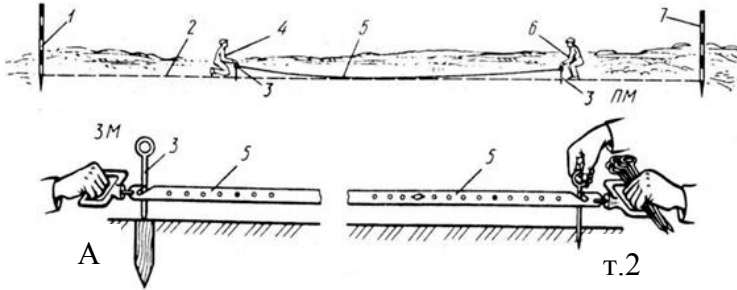


Рис. 69. Схема вешения и измерения линии АВ

Подобным образом от точки 2 откладывают к точке 3 следующие 20 м. Затем задний рабочий вынимает шпильку и оба мерщика идут дальше по линии створа. По окончании измерения считают шпильки у заднего рабочего и для контроля у переднего и по их числу определяют число уложенных лент. Остаток линии измеряют той же лентой, при этом целые метры отсчитывают по номеру плашки, десятые доли по отверстиям, а сотые доли оценивают на глаз. Если длина линии > 200 м, то уложив ленту 10 раз, задний рабочий передает 10 шпилек переднему и измерения продолжают.

Условия необходимые для производства измерений:

- 1) линия перед измерением должна быть расчищена и подготовлена;
- 2) уклонение переднего конца ленты от створа не более 6-12 см;
- 3) шпильки должны быть прямые и ставить их надо вертикально.

Приведение к горизонту длин линий, измеренных мерной лентой или рулеткой

Мерной лентой или рулеткой непосредственно на местности измеряют наклонные расстояния D , а для составления

планов требуется знать горизонтальные проложения d . Поэтому возникает необходимость приведения к горизонту расстояний, измеренных лентой или рулеткой (рис.70). Для решения этой задачи применяют формулу

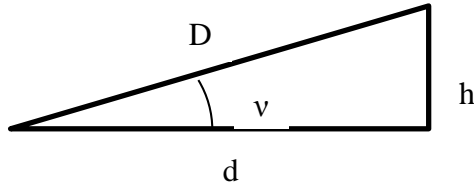


Рис. 70. Приведение к горизонту расстояний

$$d = D \cos v \quad (54)$$

Или вводят поправку Δd в измеренные расстояния.

$$d = D - \Delta d$$

$$\Delta d = 2D \sin^2 \frac{v}{2} \quad (55)$$

Обычно поправку за наклон линии выбирают из таблиц. При угле наклона $< 2^\circ$ поправку не учитывают ввиду ее малости. Угол наклона измеряют эклиметром или с помощью вертикального круга теодолита.

Точность измерений расстояний мерными лентами

Ошибки при измерении лентой возникают из-за: 1) неравномерного натяжения ленты; 2) непостоянства температуры воздуха; 3) неточного фиксирования концов каждой ленты; 4) ошибок от искривления или прогиба ленты; 5) уклонения ленты от створа; 6) ошибок при взятии отсчетов. Для контроля лентой измеряют два раза в прямом и обратном направлении. Если при благоприятных условиях погрешность (разность между измерениями) не превышает 1:3 000, а при

неблагоприятных 1:1 000, то за длину линии принимают среднее арифметическое значение из двух измерений

Поправку за температуру, если она отличается от температуры при которой выполнялось компарирование рабочей ленты, определяют по формуле

$$l_p = l_o + \Delta l + \alpha l_o (t - t_o) \quad (56)$$

где l_p – длина рабочей ленты;

l_o – номинальная длина ленты;

Δl – поправка за компарирование;

$\alpha = 0,000012$ (для стали) – коэффициент расширения на 1° изменения температуры.

Принципы измерения расстояний оптическими дальномерами

В основе конструкции всех известных дальномеров лежит решение очень длинного вытянутого равнобедренного треугольника AMN, где b – сторона MN треугольника AMN, называемая базой или базисом, а противолежащий угол β

β – параллактическим углом, величина которого обычно невелика.

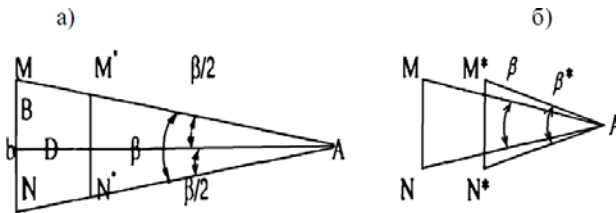


Рис. 71. Схема конструкции оптических дальномеров:
а) с переменной базой, б) с переменным углом

Оптические дальномеры по конструкции разделяются на дальномеры с постоянным углом и переменной базой и дальномеры с постоянной базой и переменным углом. Для первых определение D осуществляется по формуле

$$\frac{1}{2} b \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \quad (57)$$

$$C = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2}. \quad (58)$$

где C – постоянная величина, называемая коэффициентом дальномера (обычно равна 100, при $\beta = 0^\circ 34' 22.6''$).

Для второй группы дальномеров

$$\frac{b}{2} \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}} = \frac{b\rho}{\beta'} \quad (59)$$

где ρ – радиан, выраженный в угловых секундах (206265).

Нитяной дальномер первого типа придается большинству геодезических приборов. Он представляет собой две дополнительные горизонтальные нити (дальномерные штрихи) сетки симметричные относительно средней нити. По рейке, разделенной на сантиметры, расстояния определяют следующим образом: из отсчета по верхней нити в миллиметрах вычитают отсчет по нижней нити, разность переводят в метры и по формуле:

$$D = 100 b \quad (60)$$

и определяют длину линии. При измерении наклонных линий необходимо вводить поправку за наклон линии[^]

$$D = D_n \cos^2 v \quad (61)$$

где D_n – длина наклонного расстояния;

v – угол наклона линии.

Точность нитяного дальномера составляет примерно 1:300 от определяемого расстояния.

Принципы измерения расстояний лазерными (квантовыми) дальномерами

Лазерные дальномеры (лазерные рулетки) – современные электронно-оптические приборы, используемые для определения дальности до любого предмета на местности.

Погрешность измерений зависит от конструкции прибора и может колебаться от метра до одного миллиметра. В зависимости от модели прибора, дальномеры могут производить вычисления объемов и площадей помещений, а так же иметь различный набор сервисных функций.

Принцип работы большинства лазерных дальномеров основан на измерении разности фаз отраженного от предмета, до которого измеряется расстояние, лазерного импульса и излученного (рис. 72).

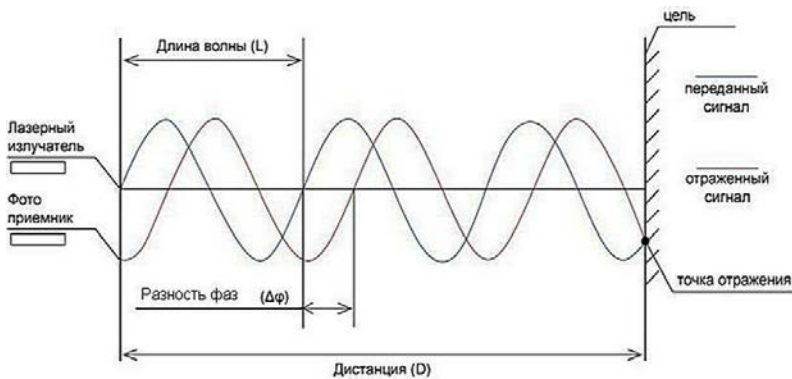


Рис. 72. Принцип работы лазерных дальномеров

Метод измерения разности фаз работает по принципу наложения на несущую частоту модулированного сигнала. Прибор измеряет постоянное смещение фазы, несмотря на неизбежные изменения в излучаемом и принимаемом сигнале. В результате сравнения фаз опорного и получаемого сигнала определяется только величина сдвига фазы, а целое число циклов остается неизвестным и не позволяет сразу получить расстояние. Эта неоднозначность разрешается путем многократных измерений модуляции волны, в результате чего определяется уникальное целое число циклов. Как только целое число циклов определено, то расстояние до цели может быть вычислено очень точно.

Для вычисления расстояний в импульсном методе определяется точное время прохождения импульса до цели и обратно. Импульсный лазер генерирует множество коротких

импульсов в инфракрасной области спектра, которые направляются через зрительную трубу к цели. Эти импульсы отражаются от цели и возвращаются к инструменту, где при помощи электроники определяется точное время прохождения каждого импульса. Скорость прохождения света сквозь среду может быть точно определена. Поэтому, зная время прохождения, можно вычислить расстояние между целью и инструментом. Каждый импульс – это однократное измерение расстояния, но поскольку каждую секунду могут быть посланы тысячи таких импульсов, то с помощью усреднения результатов достаточно быстро достигается высокая точность измерений. На рис. 73. показано распределение измерений с помощью импульсного дальномера.



Рис. 73. Принцип работы импульсного дальномера

В ходе измерения делается около 20 000 лазерных импульсов в секунду. Затем они усредняются для получения более точного значения расстояния.

Точность обычных импульсных дальномеров обычно несколько ниже, чем у фазовых (до 10 мм).

Лазерная рулетка – это компактный прибор (рис. 74). Он прост в использовании; имеет противоударный, пыле- и влагозащитный корпус для работы в любых условиях. Лазерные дальномеры помогают производить замеры в неудобных местах и из углов помещений. Прибор может оснащаться большим количеством дополнительных аксессуаров и принадлежностей, таких как алюминиевые штативы, отражатели, интерфейсные кабели оптические визеры и т.д. Максимальная дальность определения расстояния индивидуальна для каждой модели лазерного дальномера.



Рис. 74. Лазерный дальномер (лазерная рулетка)

Принцип действия лазерного дальномера состоит в следующем – посылаемые прибором лучи лазера, невидимые для глаза, отражаются от цели и возвращаются обратно. Далее встроенный микроконтроллер вычисляет расстояние, которое зависит от времени с момента отправки лазерного импульса до момента приема его после отражения. Лазеры установленные в дальномерах, работают в инфрокрасном диапазоне длин волн и их излучение не видно глазу.

Лазерный дальномер часто называют лазерной рулеткой, потому что он заменил традиционную рулетку во многих отраслях бизнеса и производства. Вычисление площади и объема, сложение и вычитание – эти функции лазерного инструмента стали привычными. Более совершенные модели оснащены такими функциями, как замер угла наклона, вертикального, горизонтального или наклонного расстояния и т.п. Лазерная линейка, измеритель лазерный, измеритель расстояния и дальности – это все синонимы, которые часто используют люди для описания функций лазерного дальномера. Законодателем мод в этом сегменте много лет является швейцарская компания Leica Geosystems, которая выпускает дальномеры как под своим именем, так и для известнейших торговых марок.

Лазерные дальномеры имеют дальность действия, которая в большей мере зависит от окружающего освещения и отражающей способности визируемой поверхности. Измерения в помещениях обычно не вызывает проблем. Труднее под открытым небом: при слепящем солнечном свете крошечную лазерную точку трудно рассмотреть обычно уже на расстоянии 10 м. Повышают распознаваемость красные очки, улучшающие видимость лазерного луча. С другой стороны, отраженный сигнал может быть настолько слабым, что его уже нельзя будет обработать с нужной степенью точности. В этом случае вместо результата измерений лазерные дальномеры выдают сигнал ошибки.

Определение неприступных расстояний

В некоторых случаях, вследствие каких-либо препятствий, измерить линию продольного хода непосредственно лентой невозможно. Например, точка В недоступна для линейных измерений.

1 случай: по теореме синусов. Разбиваем на местности равносторонний треугольник. Измеряем углы: α , β , α_1 , β_1 β'_2 и базисы b , b_1 . Тогда неприступное расстояние АВ определяется по теореме синусов:

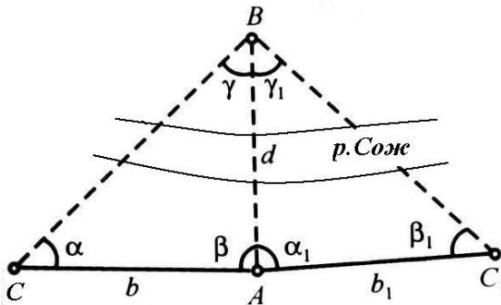


Рис. 75. Определение неприступных расстояний по теореме синусов

Вычисляем углы γ и γ_1

$$\gamma = 180 - (\alpha + \beta) \quad (62)$$

$$\gamma_1 = 180 - (\alpha_1 + \beta_1) \quad (63)$$

$$AB = b \sin \alpha / \sin \gamma \quad (64)$$

$$AB = b_1 \sin \beta_1 / \sin \gamma_1 \quad (65)$$

При заданной точности измерения базисов 1:2000, предельное расхождение между двумя определениями АВ не должно превышать 1:1000. За окончательное значение берется среднее из двух определений.

2 случай: по теореме косинусов:

Этот способ применяется, когда между точками А и В нет взаимной видимости. Разбиваем на местности примерно равнобедренные треугольники АВС.

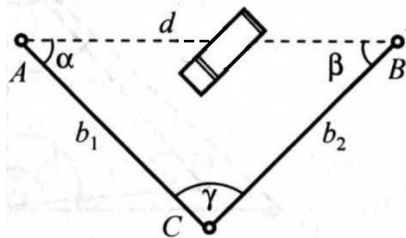


Рис.76. Определение недоступных расстояний по теореме косинусов

Стальной лентой измеряются базисы: b_1 , b_2 . Горизонтальный угол между базисами γ измеряется теодолитом. Расстояние определяется по теореме косинусов.

$$d = \sqrt{b_1^2 + b_2^2 - 2 b_1 b_2 \cos \gamma} \quad (66)$$

3 случай: если обе точки измеряемого расстояния недоступны

На противоположной стороне от недоступных точек разбивают базис b из точек С и Д.

С концов базиса измеряют углы β , γ , δ , рис. 77

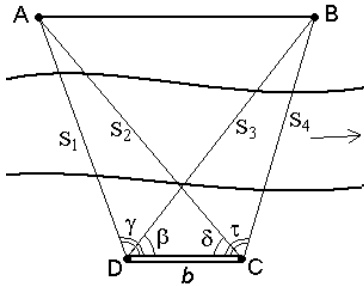


Рис. 77. Определение недоступных расстояний.

По теореме синусов дважды для контроля находят расстояние AB .

$$S_1 = \frac{b \cdot \sin \delta}{\sin(\gamma + \delta)} \quad S_2 = \frac{b \cdot \sin \gamma}{\sin(\gamma + \delta)} \quad S_3 = \frac{b \cdot \sin \tau}{\sin(\beta + \tau)}$$

$$S_4 = \frac{b \cdot \sin \beta}{\sin(\beta + \tau)} \quad (67)$$

$$AB^2 = S_1^2 + S_3^2 - 2S_1 S_3 \cos(\gamma - \beta) = S_2^2 + S_4^2 - 2S_2 S_4 \cos(\tau - \delta)$$

Навигационная система глобального позиционирования.

Система глобального позиционирования (англ. Global Positioning System, сокр. GPS; иногда называется ГСМ — глобальная система местоопределения) — радиосистема определения местоположения, использующая навигационные спутники. Такие системы обеспечивают круглосуточную информацию о трехмерном положении, скорости и времени для пользователей, обладающих соответствующим оборудованием (GPS-приемник; Glospace) и находящихся на или вблизи земной поверхности (а иногда и вне ее).



Рис. 78. Глобальная навигационная система GPS

Первой системой GPS, широко доступной гражданским пользователям, стала NAVSTAR, обслуживаемая Министерством обороны США. Американская система NAVSTAR началась с запуска первого спутника в феврале 1978 года.

Своя система была разработана и в СССР, но использовалась исключительно для военных целей (до 1991 года использование GPS на территории СССР было вообще запрещено, кроме военных). Первый спутник ГЛОНАСС был выведен Советским Союзом на орбиту 12 октября 1982 года. 24 сентября 1993 года система была официально принята в эксплуатацию. Необходимое число спутников, 24, было достигнуто к 1995 году, но в дальнейшем из-за экономических и политических трудностей орбитальная группировка сократилась.

В 2007 году начато коммерческое использование отечественной системы ГЛОНАСС (сокр. от Глобальная навигационная спутниковая система). Находится в стадии разработки система «Галилео», развиваемая странами ЕС.

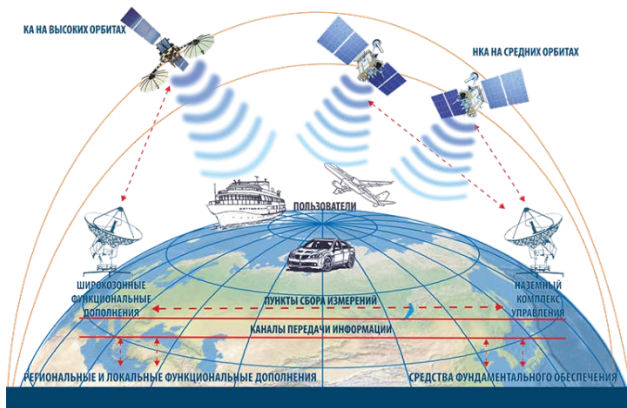


Рис. 79. Система спутниковой навигации ГЛОНАСС

Принцип работы системы

Для получения информации о скорости большинство навигационных приемников используют эффект Доплера. Систему образуют 24 спутника, находящиеся на точно заданных орбитах. Они передают непрерывные сигналы приемникам на суше, в море, в воздухе и с космосе. GPS служит для определения местоположения, навигации, картографирования, прокладки маршрутов, отсчета времени и синхронизации событий. Орбиты спутников располагаются примерно между 60 градусами северной и южной широты. Этим достигается то, что сигнал от хотя бы некоторых спутников может приниматься повсеместно в любое время.

Приемное устройство GPS использует спутниковые сигналы для измерения расстояния от каждого из четырех (или больше) спутников, которые в этот момент находятся в его поле зрения. Альманах (астрономический календарь) в приемном устройстве, который обновляется корректирующими сигналами со спутников, определяет, где именно находятся сейчас спутники. Зная положение четырех спутников и расстояние до каждого из них, приемник может вычислить скорость своего движения. Стандартные приемники могут фиксировать местоположение с точностью в несколько метров и время — до

1 миллионной секунды. Новейшие приемники имеют точность до нескольких сантиметров.

GPS обеспечивает единый мировой стандарт для измерения пространства и времени. Ее точность позволяет самолетам летать ближе друг к другу, по более прямым маршрутам, повышает безопасность полетов.

Сигнал NAVSTAR содержит т. н. «псевдослучайный код» (PRN - pseudo-random code), эфимерис (ephemeris) и альманах (almanach). Псевдослучайный код служит для идентификации передающего спутника. Все они пронумерованы от 1 до 32 и этот номер показывается на экране GPS-приемника во время его работы. Количество PRN-номеров больше, чем число спутников (24), т. к. это облегчает обслуживание GPS-сети: новый спутник может быть запущен, проверен и введен в эксплуатацию еще до того, как старый выйдет из строя. Такому спутнику просто будет присвоен новый номер (от 1 до 32).

Данные эфимериса, постоянно передаваемые каждым спутником, содержат такую важную информацию, как состояние спутника (рабочее или нерабочее), текущая дата и время. Данные альманаха говорят о том, где в течение дня должны находиться все GPS-спутники. Каждый из них передает альманах, содержащий параметры своей орбиты, а также всех других спутников системы.

Двадцать четыре спутника вращаются вокруг Земли на высоте ок. 20 тыс. км. На каждой из шести орбитальных плоскостей располагается по четыре спутника. Несмотря на то, что орбиты точно выверены, ошибки все же случаются и спутники передают на приемники GPS навигационные поправки для обновления альманахов. Навигационные поправки сообщаются спутникам наземными станциями, которые непрерывно следят за их местоположением и скоростью.

Определение дальности

Приемник GPS определяет свое положение путем вычисления расстояния до каждого из четырех спутников, точное местоположение которых известно. Каждый спутник передает сигналы; на то, чтобы они достигли приемника, требуется определенное время. Встроенные часы приемника

синхронизированы с атомными часами спутников, что позволяет вычислять время прохождения сигналов. Расстояние до каждого спутника вычисляется по времени прохождения сигнала и скорости распространения радиоволн. С помощью метода, называемого триангуляцией, измеренные расстояния объединяются с данными о положении спутников, и это позволяет определить местоположение приемника.

Применение систем навигации

Геодезия: с помощью системы навигации определяются точные координаты точек.

Картография: системы навигации используются в гражданской и военной картографии.

Навигация: с применением систем навигации осуществляется как морская, так и дорожная навигация.

Спутниковый мониторинг транспорта: с помощью систем навигации ведется мониторинг за положением, скоростью автомобилей, контроль за их движением.

Сотовая связь: первые мобильные телефоны с GPS появились в 90-х годах. В некоторых странах (например, США) это используется для оперативного определения местонахождения человека, звонящего 911. В России в 2010 году начата реализация аналогичного проекта – Эра-ГЛОНАС.

Тектоника: с помощью систем навигации ведутся наблюдения движений и колебаний плит.

ЛЕКЦИЯ №9. Нивелирование

Методы нивелирования.

Нивелирование возникло в глубокой древности в связи со строительством оросительных каналов, водопроводов и т.п. Первые сведения о водяном 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), сетки нитей в зрительных трубах - Ж. Пикаром (1669), цилиндрического уровня - английским оптиком Дж. Рамсденом (1768).

В созданной Петром I оптической мастерской в 1715-25 И. Е. Беляев изготовлял различные приборы, включая и ватерпасы с трубой, т. е. нивелиры. В 18 в. высоты пунктов в России определяли барометром, а с начала 19 в. стали применять тригонометрическое нивелирование. Под руководством В. Я. Струве в 1836-37 тригонометрическим нивелированием были определены разность уровней Азовского и Чёрного морей и высота г. Эльбрус. Метод геометрического нивелирования впервые был широко использован в 1847 при инженерных изысканиях Суэцкого канала. Первые применения геометрического нивелирования в России в 19 в. также были связаны со строительством водных и сухопутных путей сообщения.

Таким образом, геометрическое нивелирование производится для создания высотной *опорной геодезической сети* (т. е. *нивелирной сети*) и при топографической съёмке, а также в целях проектирования, строительства и эксплуатации инженерных сооружений, железных и шоссейных дорог и т.д. Результаты нивелирования используются в научных исследованиях по изучению фигуры Земли, колебаний уровней морей и океанов, вертикальных движений земной коры и т.п.

В зависимости от точности и последовательности выполнения работы по геометрическому нивелированию подразделяются на классы. Государственная

нивелирная сеть СССР строится по особой программе и делится на 4 класса. Нивелирование I класса выполняют высокоточными нивелирами и штриховыми инварными рейками по особо выбранным линиям вдоль железных и шоссейных дорог, берегов морей и рек, а также по др. трассам, важным в том или ином отношении. По линиям нивелирования I класса средняя квадратичная случайная ошибка определения высот не превышает $\pm 0,5$ мм, а систематическая ошибка всегда менее $\pm 0,1$ мм на 1 км хода. В СССР нивелирование I класса повторяют не реже, чем через 25 лет, а в отдельных районах значительно чаще, чтобы получить данные о возможных вертикальных движениях земной коры. Между пунктами нивелирования I класса прокладывают линии нивелирования II класса, которые образуют полигоны с периметром 500-600 км и характеризуются средней квадратичной случайной ошибкой около ± 1 мм и систематической ошибкой $\pm 0,2$ мм на 1 км хода. Нивелирные линии III и IV классов прокладываются на основе линий высших классов и служат для дальнейшего сгущения пунктов нивелирной сети. Для долговременной сохранности нивелирные пункты, выбираемые через каждые 5-7 км, закрепляются на местности *реперами* или *марками нивелирными*, закладываемыми в грунт, стены каменных зданий, устои мостов и т.д.

Нивелирование — это процесс определения разности высотных отметок точек. Сущность нивелирования, или задача нивелирования, состоит в том, чтобы определить, насколько одна точка конструкции или местности выше или ниже другой.

По методу выполнения нивелирование различают: геометрическое, тригонометрическое, барометрическое, механическое и гидростатическое нивелирование. При изучении фигуры Земли высоты точек земной поверхности определяют не над уровнем моря, а относительно поверхности *референц-эллипсоида* и применяют методы астрономического или астрономо-гравиметрического нивелирования.

Механическое нивелирование применялось в прошлом веке при помощи нивелир-автоматов на базе автомобилей и даже велосипедов, для решения некоторых прикладных задач из

области инженерной геодезии при эксплуатации линейных сооружений — в основном, это построение продольного профиля пути на базе автомобиля и построение поперечных профилей насыпей или выемок на базе велосипедов. Точность нивелирования 0,3-0,6 метра на километр. Сейчас не применяется ввиду низкой точности и наличия более производительных способов производства работ по нивелированию.

Барометрическое нивелирование основывается на определении отметок путём измерения разности атмосферного давления в этих точках. Для целей прикладной геодезии в строительстве не подходит из-за низкой точности в пределах 0,3-0,5 метра в самых идеальных условиях производства геодезических измерений и при использовании самого точного геодезического оборудования, в частности, барометров-высотометров. Ранее барометрическое нивелирование применялось для определения отметок отдельных горных вершин.

Гидростатическое нивелирование, основанное на свойстве жидкости занимать один и тот же уровень в сообщающихся сосудах, широко применяется в геодезическом сопровождении строительства и в настоящее время, и при выполнении геодезических работ по мониторингу осадки зданий (наблюдения за деформациями), поскольку его точность составляет 0,1-1,0 мм. Следует сказать, что область применения гидростатического нивелирования ограничена длиной соединительных трубок между измерительными приборами.

Тригонометрическое нивелирование, сущность которого в измерении превышения наклонным визирным лучом на основе измерения угла наклона и расстояния, широко применяется в строительной геодезии при нивелировании по квадратам для построения картограммы земляных работ и планов земляных масс. Кроме того, при услугах практически любой топосъемки участка электронным тахеометром или теодолитом, тригонометрическое нивелирование присутствует по умолчанию. Точность такого нивелирования — до 3 мм относительно каждой станции тахеометрической съемки (для

электронного прибора, конечно же). Периодическая нивелировка путей крана также может выполняться электронным тахеометром с высокой точностью высотных отметок.

Геометрическое нивелирование, самое распространённое в инженерной геодезии, выполняется простыми по конструкции нивелирами (техническое нивелирование, нивелирование 3 класса и нивелирование 4 класса) и нивелирами с плоско-параллельной пластиной (нивелировка 2 класса и нивелирование 1 класса точности). Виды инженерных изысканий по геометрическому нивелированию основаны на определении превышений относительно горизонтального визирного луча, задаваемого цифровым или оптическим нивелиром. Точность нивелирования при этом составляет от 5 до 0,1 мм, в зависимости от класса нивелира. Для каждого класса измерений (класса нивелирования) Инструкция по нивелированию строго определяет методику производства работ, состав и тип геодезического оборудования. Делается нивелирование от геодезических пунктов Государственных нивелирных сетей и реперных систем при выполнении работ на железнодорожных путях.

Астрономическое и астрономо-гравиметрическое нивелирование применяют для определения высот геоида или квазигеоида над референц-эллипсоидом.

Спутниковое нивелирование выполняется на основе измерения высотных отметок точек геодезическими приёмниками спутниковых ГЛОНАСС/GPS систем и в строительной геодезии малоприменимо ввиду низкой точности получаемых отметок и сложностей с приёмом сигналов от спутников в городских условиях и, тем более, в условиях стройплощадки. Точность нивелировки в пределах 10-20 мм при использовании режимов статики и постобработки. Спутниковые измерения чаще применяют при построении геодезических сетей для топографических съёмок и геодезических разбивочных работ.

Устройство нивелира

1 – окуляр; 2 – корпус трубы; 3 – механический визир; 4 – объектив; 5 – головка трубки; 6 – наводящий винт; 7 – установочный уровень; 8 – исправительный винт установочного уровня; 9 – элевационный винт

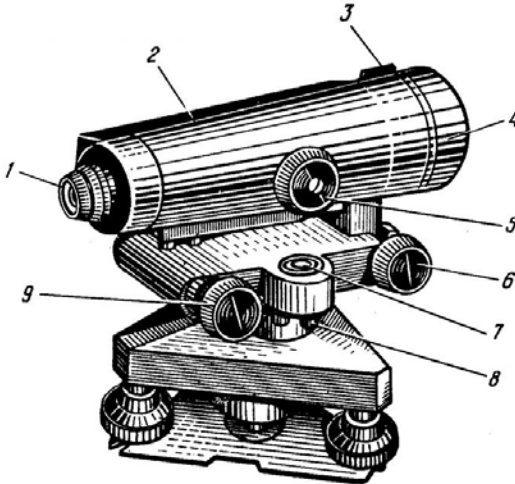


Рис. 80. Устройство нивелира Н-3

Нивелир – это геодезический прибор для определения превышений и высот (отметок) точек с помощью горизонтального луча визирования и вертикально устанавливаемых реек способом геометрического нивелирования.

Согласно действующему стандарту нивелиры по точности выпускают трех типов:

- а) высокоточные (Н-05);
- б) точные (Н-3);
- в) технические (Н-10).

Цифры в шифре нивелира указывают среднюю квадратическую погрешность измерения превышения в миллиметрах на 1 км двойного нивелирного хода. Например, для нивелира Н-3 средняя квадратическая погрешность составляет 3мм на 1км хода.

В зависимости от способа получения горизонтального луча визирования каждый из трех типов нивелиров изготавливается в двух вариантах:

- с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе;
- с компенсатором, позволяющим автоматически приводить ось визирования зрительной трубы нивелира в горизонтальное положение.

Проверка нивелира Н-3.

Прежде чем начать работу с нивелиром, необходимо выполнить его проверку. Под проверками нивелира понимают действия, контролируемые соблюдение условий, которым должен удовлетворять прибор для геометрического нивелирования. При невыполнении условий проверок производят необходимые исправления (юстировки). Нивелир Н-3 должен удовлетворять следующим геометрическим условиям:

Проверка 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. После установки штатива и закрепления на нем нивелира тремя подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы и поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если пузырек уровня останется в центре ампулы, то условие выполнено, если нет, то нужно исправительными винтами круглого уровня переместить пузырек к центру на половину дуги отклонения. Проверку повторяют до полного выполнения условия.

Проверка 2. Средний горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен оси вращения нивелира. Ось вращения нивелира устанавливают в отвесное положение. Наводят зрительную трубу на неподвижную рейку, установленную в 20–30 м от нивелира. Условие будет выполнено, если при плавном вращении трубы горизонтальный штрих не будет сходить с точки наведения (то есть отсчет по

рейке будет оставаться неизменным). Если условие не выполняется, то отвинчивают и снимают окулярную часть зрительной трубы и поворачивают диафрагму с сеткой нитей, предварительно ослабив крепящие ее винты.

Проверка 3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы. Это главное условие нивелира проверяется двойным нивелированием конечных точек линии длиной 50–70 м (рис. 81). На конечных точках забивают колышки. Нивелир устанавливают на начальной точке линии, а рейку – на конечной. С помощью элевационного винта нивелира приводят пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт и снимают отсчет по рейке Π_1 . Измеряют высоту нивелира i_1 с точностью до 1 мм. Например: $\Pi_1 = 1426$ мм, $i_1 = 1371$ мм.

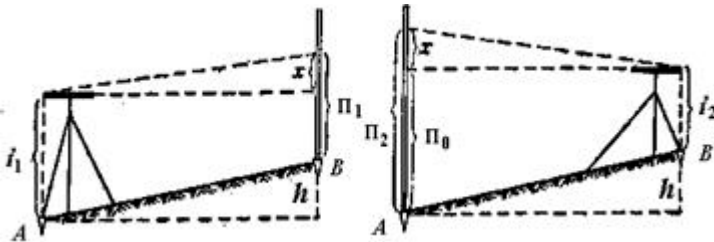


Рис. 81. Главное условие нивелира

Затем меняют нивелир и рейку местами и, приведя элевационным винтом пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, снимают отсчет по рейке Π_2 , измеряют высоту нивелира i_2 . Например: $\Pi_2 = 1260$ мм, $i_2 = 1337$ мм.

Если ось цилиндрического уровня непараллельна визирной оси трубы, то отсчеты по рейке будут ошибочны на величину

$$x = [(\Pi_1 + \Pi_2) - (i_1 + i_2)] / 2 \quad (68)$$

Величина x должна быть не более ± 4 мм. Если x превышает указанную величину, тогда, не снимая нивелира со второй станции, элевационным винтом устанавливают средний горизонтальный штрих сетки нитей на отсчет по рейке равный,

$\Pi_2 - x$. При этом произойдет смещение изображений половинок пузырька уровня в поле зрения трубы. Сняв крышку коробки цилиндрического уровня, вертикальными исправительными винтами выполняют точное совмещение концов половинок пузырька уровня в поле зрения трубы. Затем поверку повторяют до соблюдения условия.

Для вышеуказанных отсчетов $x = [(1426 + 1260) - (1371 + 1337)] / 2 = -11 \text{ мм} > 4 \text{ мм}$. Поэтому необходимо выполнить юстировку уровня. Для этого устанавливают элевационным винтом по рейке отсчет $\Pi_2 - x = 1260 - (-11) = 1271 \text{ мм}$ и исправительными винтами совмещают концы пузырька уровня.

У нивелира с компенсатором Н-3к (рис. 82) выполняются те же поверки, что и у нивелира Н-3. Дополнительно проверяется правильность работы компенсатора путем сравнения отсчетов по рейке при различных положениях пузырька круглого уровня внутри круга на его ампуле.

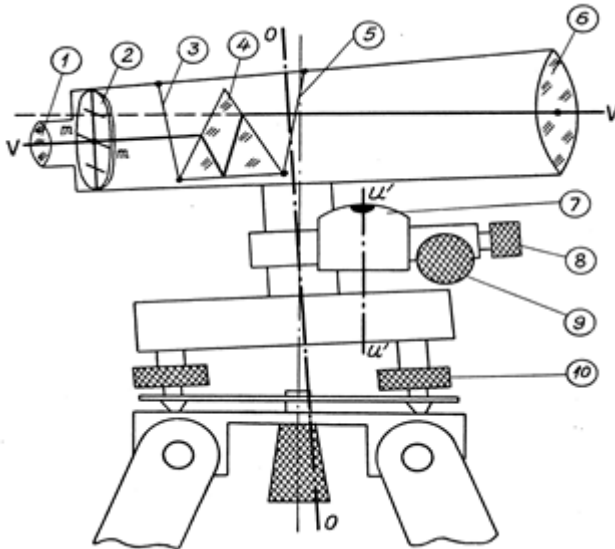


Рис. 82. Устройство нивелира с компенсатором Н-3К

Назначение компенсатора 4 заключается в изменении направления горизонтального визирного луча. Это изменение

должно быть таким, чтобы горизонтальный луч, пройдя через оптический центр объектива b , попал под действием компенсатора 4 в перекрестие сетки нитей 2 , наблюдаемую через окуляр 1 . В этом случае, несмотря на наклон зрительной трубы, по рейке будет взят правильный отсчет, соответствующий горизонтальной визирной оси VV . Визирование на рейку осуществляется с помощью винтов 8 и 9 .

Способы нивелирования (методы нивелирования), а их два — «нивелирование из середины» и «нивелирование вперёд», выбираются исходя из местных условий производства геодезических работ. Первый способ, «из середины», наиболее предпочтителен, поскольку позволяет компенсировать систематические ошибки нивелирования, если нивелир не достаточно хорошо выверен. Схема нивелирования выбирается исходя из поставленной задачи и расположения пунктов геодезической сети. Обработка журнала нивелирования сводится к постраничному и посекционному контролю, проверке невязок на соответствие допускам, уравниванию ходов и вычислению отметок точек. Это, так сказать, основы нивелирования.

При нивелировании из середины нивелир устанавливают посредине между точками A и B , а на точках A и B ставят рейки с делениями (рис. 83). При движении от точки A к точке B рейка в точке A называется задней, рейка в точке B — передней. Сначала наводят трубу на заднюю рейку и берут отсчет a , затем наводят трубу на переднюю рейку и берут отсчет b . Превышение точки B относительно точки A получают по формуле:

$$h = a - b \quad (69)$$

Если $a > b$, превышение положительное, если $a < b$ - отрицательное. Отметка точки B вычисляется по формуле:

$$H_B = H_A + h \quad (70)$$

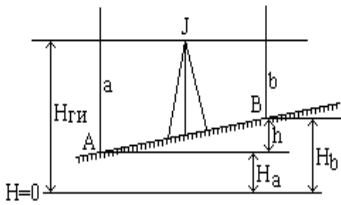


Рис.83. Нивелирование из середины

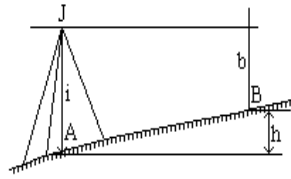


Рис. 84. Нивелирование вперед

Высота визирного луча над уровнем моря называется горизонтом прибора и обозначается $H_{ги}$:

$$H_{ги} = H_A + a = H_B + b \quad (71)$$

При нивелировании вперед (Рис. 84) нивелир устанавливают над точкой А так, чтобы окуляр трубы был на одной отвесной линии с точкой. На точку В ставят рейку. Измеряют высоту нивелира i над точкой А и берут отсчет b по рейке. Превышение h подсчитывают по формуле:

$$h = i - b \quad (72)$$

Отметку точки В можно вычислить через превышение по формуле (5) или через горизонт прибора:

$$H_B = H_{ги} - b \quad (73)$$

Если точки А и В находятся на большом расстоянии одна от другой и превышение между ними нельзя измерить с одной установки нивелира, то на линии АВ намечают промежуточные точки 1, 2, 3 и т.д. и измеряют превышение по частям (рис.85).

На первом участке А-1 берут отсчеты по задней рейке – a_1 и по передней – b_1 . Затем переносят нивелир в середину второго участка, а рейку с точки А переносят в точку 2; берут отсчеты по рейкам: по задней – a_2 и по передней – b_2 . Эти действия повторяют до конца линии АВ.

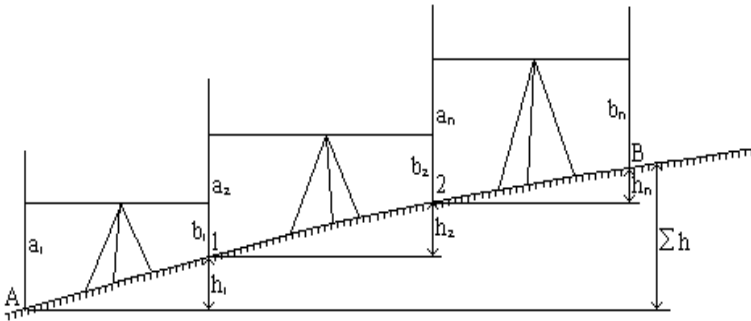


Рис. 85. Нивелирование по уклону

Точки, позволяющие связать горизонты прибора на соседних установках нивелира, называются связующими; на этих точках отсчеты берут два раза – сначала по передней рейке, а затем по задней.

Превышение на каждой установке нивелира, называемой станцией, вычисляют по формуле (62), а превышение между точками А и В будет равно:

$$H_{AB} = \sum h = \sum a - \sum b \quad (74)$$

Отметка точки В получится по формуле:

$$H_B = H_A + \sum h \quad (75)$$

Техническое нивелирование, а также нивелирование 3 и 4 классов, покрывают практически весь спектр задач прикладной геодезии в строительстве. Это и нивелирование поверхности по квадратам, и нивелировка пола (нивелировка перекрытий), и передача отметок на дно котлована и на монтажные горизонты. Это и измерение крена зданий и сооружений, и проверка уклонов поверхности и уложенных труб, и высотные съемки местности (нивелировка поверхностей после благоустройства), и масса других задач строительной геодезии

Тригонометрическое нивелирование - метод определения разностей высот точек на земной поверхности по измеренному

углу наклона и длине наклонной линии визирования или её проекции на горизонтальную плоскость.

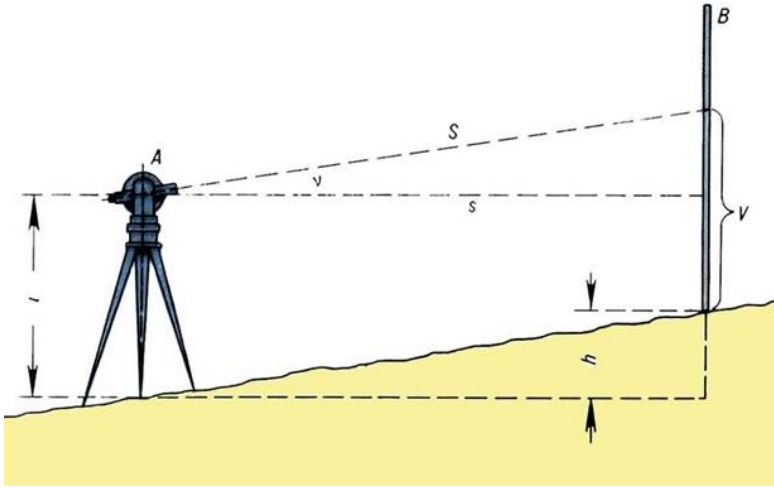


Рис. 86. Тригонометрическое нивелирование

i - высота прибора;

V - высота визирования;

h - разность высот (превышение) между точками А и В;

S - линия визирования; s - горизонтальная проекция линии визирования;

v - угол наклона визирного луча.

Преышление h (рис.71) определяют по формулам:

$$h = s * \operatorname{tg} v + i - V \quad (76)$$

или

$$h = S * \sin v + i - V, \quad (77)$$

где v - угол наклона визирного луча;

S - длина линии визирования;

s - горизонтальная проекция;

i - высота прибора;

V - высота визирования.

Тригонометрическое нивелирование применяется при топогеодезических работах на земной поверхности и маркшейдерских съёмках в горных выработках, наклоны которых свыше 8° .

Источники погрешностей геометрического нивелирования 5.

На точность определения превышений влияют многочисленные факторы, среди которых основными являются: влияние кривизны Земли и рефракции атмосферы; невыполнение главного условия нивелира; погрешности отсчетов по шкалам реек; погрешности установки зрительной трубы; погрешности в нанесении делений шкал реек и др.

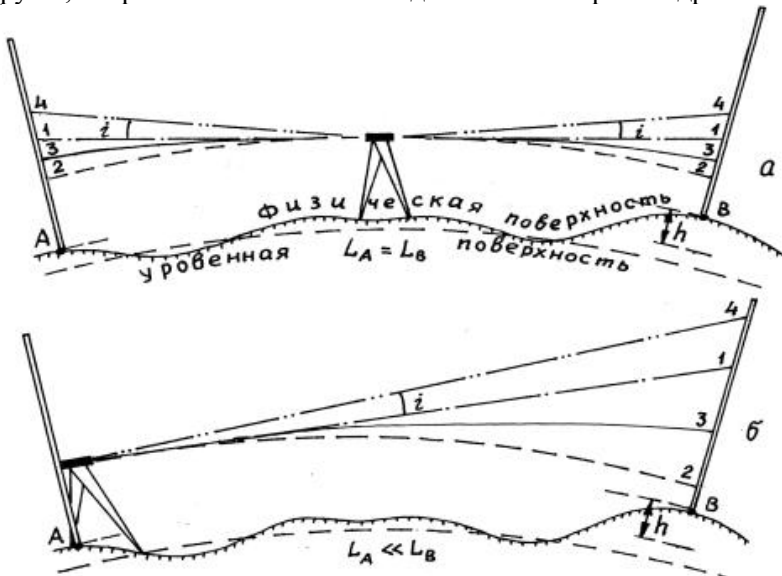


Рис. 87. Погрешности нивелирования из-за влияния кривизны Земли, рефракции и невыполнения главного условия нивелира

Работа и контроль измерений на станции при техническом нивелировании

При техническом нивелировании превышение между двумя точками определяется, как правило, способом нивелирования из "середины". В этом случае нивелир устанавливается примерно на равных расстояниях от точек.

Такая установка называется станцией. Неравенство этих расстояний не должно превышать 5 м.

Нивелир приводится в рабочее положение:

- 1) с помощью трех подъемных винтов пузырьки круглого уровня нивелира выводятся на середину ампулы уровня;
- 2) зрительная труба направляется па рейку и вращением диоптрийного кольца и кремальеры устанавливается резкое изображение сетки нитей и деления рейки.

Для контроля измерений и повышения их точности нивелирование выполняется по черной и красной сторонам реек. Работы на станции производятся в такой последовательности:

1. Отсчет по черной стороне задней рейки ($a_{ч}$).
2. Отсчет по черной стороне передней рейки ($b_{ч}$).
3. Отсчет по красной стороне передней рейки ($b_{кр.}$).
4. Отсчет по красной стороне задней рейки ($a_{кр.}$).

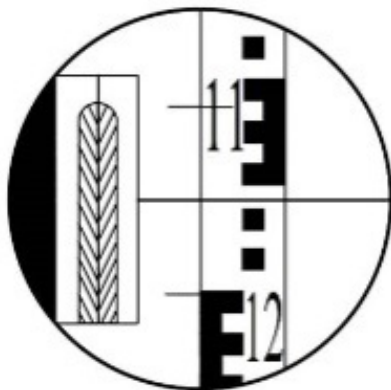
Перед взятием каждого отсчета элевационным винтом совмещают изображения концов пузырька уровня (рис. 4). Отсчёты берутся до миллиметров.

Сделанные по рейкам отсчеты записываются в журнал установленной формы (см. табл.1).

После производства отсчетов по каждой станции вычисляются превышения по правилу - отсчёт па заднюю рейку минус отсчет на переднюю рейку. Превышения по чёрным сторонам реек $h_{ч}$ и по красным сторонам реек $h_{кр}$ вычисляются по отсчетам, сделанным по черным ($a_{ч}$ и $b_{ч}$) и красным ($a_{кр}$ и $b_{кр}$) сторонам реек, т. е.

$$h_{ч} = a_{ч} - b_{ч}$$

$$h_{к} = a_{к} - b_{к}$$



Отсчёт: 1156

Рис.88. Снятие отсчёта по рейке

Пример вычисления превышений

Таблица 1

Номера станций	Номера пикетов	Отсчеты по рейке			Превышения (h)		
		задние	передние	промежуточные	По черной стороне	По красной стороне	средние
	ПК 0	1222					
2		5913			-498	-495	-496
	ПК 1		1720				
			6408				

Контроль нивелирования на станции заключается в том, что расхождение в полученных превышениях на станции по черной и по красной сторонам реек не должно быть более 5 мм.

При получении большего расхождения результаты измерений зачеркивают, меняют высоту установки прибора, и работа на станции повторяется.

Если расхождение между $h_{ч}$, и $h_{кр}$ не превышает 5 мм, то за окончательный результат берется среднее из двух превышений, т.е.

$$h_{ср} = h_{ч} + h_{кр} / 2 \quad (78)$$

Среднее превышение вычисляется до целых миллиметров с округлением в сторону ближайшей чётной цифры. Превышения обязательно записываются с соответствующим знаком, т.е. либо со знаком плюс, либо минус

Цифровые и лазерные нивелиры

Цифровые нивелиры



Рис. 89. Цифровой нивелир

В настоящее время наибольшая степень автоматизации геометрического нивелирования достигается при использовании цифровых нивелиров, которые выпускаются только зарубежными фирмами.

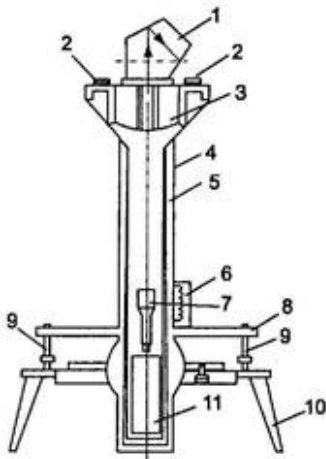
В отличие от традиционных оптических нивелиров, при работе с цифровым нивелиром отсчет производится

автоматически и вносится в память прибора. С помощью цифрового нивелира можно автоматически осуществлять отсчеты по нивелирной рейке, определять расстояния до рейки и вычислять превышения между нивелируемыми точками. Например, цифровые нивелиры фирмы Trimble (США) позволяют выполнять нивелирование с высокой точностью (0,4 мм/1,0 мм на 1 км двойного хода) и сохранять данные измерений во внутренней памяти или на карте памяти через стандартный разъем РСМС1А. Внутренняя память рассчитана на хранение измерений 8000 точек. Данные нивелирных ходов могут быть уравнены по методу наименьших квадратов программным обеспечением. Уникальные возможности цифровых нивелиров обеспечивают возможность увеличить производительность на 50% по сравнению с традиционными оптико-механическими приборами, а также достигнуть наивысшего уровня точности измерений, что позволяет их использовать для выполнения нивелирных работ всех классов и слежения за деформациями.

Лазерные нивелиры

В последние годы для определения отметок точек при инженерно-геодезических работах в промышленном и гражданском строительстве все больше начинают применять лазерные нивелиры. В отличие от обычных нивелиров, применяемых для определения отметок точек путем прокладки нивелирных ходов, лазерные нивелиры для подобных целей практически не применяются. Они несколько дороже обычных и требуют источников питания для лазера и фоторегистрирующего устройства, а также соблюдения дополнительных мер по технике безопасности при работе с ними. По этим причинам их в основном используют при выполнении строительно-монтажных работ внутри зданий, для здания опорной плоскости при укладке полов, установке и выравнивании стен и перегородок, контроле отметок фундамента здания, установке бетонных блоков или для нивелирования площадей, вертикальной планировки, автоматизации геодезического контроля при движении

строительных машин и механизмов во время работы, прокладке дренажных и канализационных систем.



- 1 – пентопризма;
- 2 – цилиндрические уровни;
- 3 – электродвигатель с полым валом;
- 4 – корпус прибора;
- 5 – полая обойма;
- 6 – трипка с помощью которой можно изменять высоту световой плоскости;
- 7 – коллиматор;
- 8 – трегер
- 9 – подъемные винты горизонтирующего устройства;
- 10 – головка штатива;
- 11 – лазер.

Рис. 90. Лазерный нивелир для задания световой плоскости

С помощью лазерных нивелиров также выполняют контроль качества дорог, когда требуется осуществлять контроль ровности покрытия при выемке и перемещении грунта, забивке свай, строительстве аэродромов и т. д. Если сравнивать с традиционными технологиями, лазерные нивелиры позволяют максимально увеличить производительность труда, исключить необходимость перепроверки и сократить время, затрачиваемое на выполнение работ

ЛЕКЦИЯ № 10. Топографические съемки

Топографическая съемка - это комплекс работ, выполняемых с целью получения топографического плана, карты или цифровой модели местности (ЦММ). Планы и карты создаются в основном методами аэрофотосъемки, но на небольших участках их получают наземными съемками, которые различают по видам используемых основных приборов: тахеометрическая съемка, нивелирование поверхности, лазерное сканирование, аэрофотосъемка.

Тахеометрическая съемка проводится с целью составления подробного детализированного плана местности, наглядно отображающего рельеф и перепады высот на небольшой, конкретно выбранной площади в крупном масштабе. Результаты изысканий используются в процессе аграрных процедур, отвода земель, а также для ведения городского кадастра. Кроме того, топографическая съемка является неотъемлемым атрибутом для выявления наличия или отсутствия подземных коммуникаций, прокладки трубопроводных магистралей, сооружения дорог и монтажа линии электропередач.

Нивелирование поверхности предназначено для составления детализированного плана рельефа исследуемой местности. Метод широко используется на строительномонтажных площадках, в горных карьерах, в зонах горной выработки, на промышленных территориях – то есть, там, где проектируются крупные производственные комплексы. Измерение объектов осуществляется методом геометрического нивелирования.

Виды топографических съемок включают в себя *лазерное сканирование*, которое дает возможность получить качественные реалистичные трехмерные модели (3D) с помощью специального лазерного сканера. Метод лазерного сканирования оправдывает себя в условиях, в которых традиционные способы топографической съемки малоэффективны. Лазерная съемка обеспечивает оператора полной информацией о местности: показывает формы объектов,

их размеры и положение в пространстве, габаритное соотношение с соседними объектами. Лучше всего данный метод подходит для изучения промышленных предприятий, дорожных развязок, туннелей, мостов и гидротехнических объектов, а также горные карьеры и выработки.

Аэрофотосъемка. Задействуются беспилотные летательные аппараты, оборудованные специальной камерой, что позволяет провести топографическую съемку даже тогда, когда наземная процедура невозможна. Лучше всего данный метод демонстрирует себя в форс-мажорных ситуациях: во время потоков и оползней, химических выбросов на местности.

Для различных видов строительства и в зависимости от стадии проектирования (техническое проектирование и рабочие чертежи) выбирают масштаб съемки. От масштаба зависит точность планов и карт. Так, максимальная точность масштаба 1:1000 характеризуется величиной $t=0.11000 = 0.10$ м. В соответствии с действующими нормативными документами (СНБ 1.02.01-96. Инженерные изыскания для строительства) средняя погрешность в изображении на планах предметов с четкими очертаниями не должна превышать 0.5 мм относительно ближайших точек съемочного обоснования, погрешность в изображении рельефа - 1/3 высоты сечения рельефа горизонталями.

Различают съемки для составления топографических планов крупных масштабов (1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000) и мелких (1:10000, 1:25 000 и мельче). В инженерной геодезии выполняют в основном съемки крупных масштабов.

Съемке и отображению на топографических планах подлежат все элементы ситуации местности, существующей застройки, благоустройства, подземных и наземных коммуникаций, а также рельеф местности. Точки, определяющие на плане положение контуров ситуации, условно делят на твердые и нетвердые. К *твердым* относят четко определяемые контуры сооружений, построенных из долговременных материалов (кирпича, бетона), например углы капитальных зданий. Контуры, не имеющие четких границ, например луга, леса, пашни, относят к *нетвердым*.

На топографические планы наносят пункты плановых и высотных геодезических сетей, а также все точки, с которых производят съемку, если они закреплены постоянными знаками. На специализированных планах допускается отображение не всей ситуации местности, а только тех объектов, которые необходимы: применение нестандартных высот сечений рельефа, снижение или повышение точности изображения контуров и съемки рельефа.

Топографическую съемку выполняют с точек местности, положение которых в принятой системе координат известно. Такими точками служат пункты опорных государственных и инженерно-геодезических сетей. Однако их количества, приходящегося на площадь снимаемого участка, большей частью бывает недостаточно, поэтому геодезическая основа сгущается обоснованием, называемым *съемочным*.

Съемочное обоснование развивается от пунктов плановых и высотных опорных сетей. На участках съемки площадью до 1 км² съемочное обоснование может быть создано в виде самостоятельной геодезической опорной сети.

При построении съемочного обоснования одновременно определяют положение точек в плане и по высоте. Плановое положение точек съемочного обоснования определяют: проложением теодолитных и тахеометрических ходов, построением аналитических сетей из треугольников и различного рода засечками. Высоты точек съемочного обоснования чаще всего определяют геометрическим и тригонометрическим нивелированием.

Самый распространенный вид съемочного планового обоснования — теодолитные ходы, опирающиеся на один или два исходных пункта, или системы ходов, опирающихся не менее чем на два исходных пункта. В системе ходов в местах их пересечений образуются узловые точки, в которых могут сходиться несколько ходов.

Точки съемочного обоснования, как правило, закрепляют на местности временными знаками: деревянными кольями, столбами, металлическими штырями, трубами. Если эти точки предпо-

лагается использовать в дальнейшем для других целей, их закрепляют постоянными знаками.

Топографическая съемка производится относительно пунктов съемочного обоснования.

Полевые работы включают:

- рекогносцировку - предварительный осмотр местности;
- закрепление точек съемочного обоснования и привязка их к местным предметам линейными промерами;
- измерение горизонтальных углов и длин сторон;
- съемку элементов ситуации и рельефа местности.

К камеральным работам относят:

- вычисление координат и высот пунктов теодолитно-нивелирных ходов;
- нанесение на план этих пунктов; построение на плане элементов ситуации и характерных высотных точек с полевых журналов и абрисов;
- проведение горизонталей и вычерчивание плана в соответствии с условными топографическими знаками.

Горизонтальная съемка – это вид топографической съемки, позволяющий создавать в результате контурный план местности (при этом высотная характеристика рельефа в результате этой съемки не определяется). Горизонтальная съемка в основном проводится в застроенных территориях с большим количеством контуров. Также эта съемка используется в населенных пунктах, равнинной местности, на железнодорожных узлах и т.д.

Горизонтальная съемка включает в себя несколько этапов. Первый этап – подготовительные работы, на котором производится рекогносцировка земельного участка, обозначаются и закрепляются вершины теодолитного хода. За этим этапом следуют линейные и угловые измерения в теодолитном ходе, после чего осуществляется съемка подробностей.

В простейшем варианте для горизонтальной съемки используются теодолит и рулетка. Обычно съемочное основание создается за счет проложенных теодолитных ходов. В случае вытянутой формы участка съемки теодолитный ход

прокладывается по его оси. Причем отдельные пункты съемочного обоснования могут быть определены из геодезических засечек. В случае овальной формы участка по его границе прокладывается замкнутый ход. Внутри участка могут быть проложены диагональные ходы.

На рис. 91 показан абрис теодолитной съемки по линии 1-2 теодолитного хода. Арабскими цифрами в кружках указаны точки, положение которых получено следующими способами съемки ситуации:

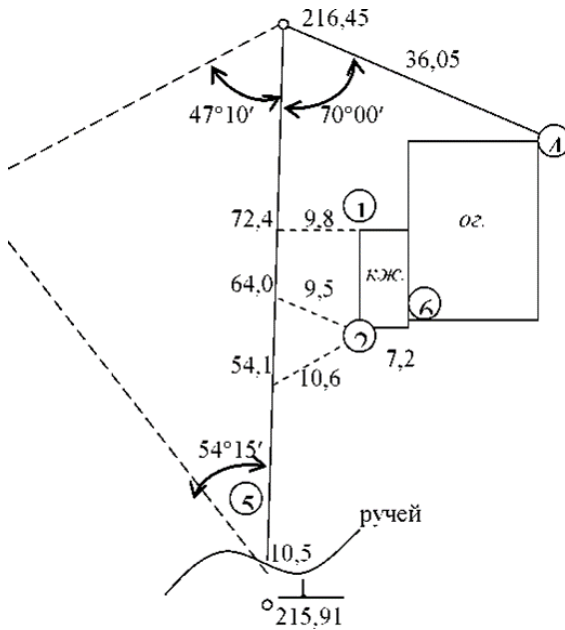


Рис.91. Абрис теодолитной съемки

1. - прямоугольных координат;
2. - линейной засечки;
3. - угловой засечки;
- 4.- полярных координат;
- 5.- створа;
- 6.- обмера.

Способ прямоугольных координат применяется обычно при съемке вытянутых в длину контуров, расположенных вдоль и вблизи линий теодолитного хода, проложенных по границе снимаемого участка. Положение точки 1 определено координатами $X = 72.4$ м, $Y = 9.8$ м от линии теодолитного хода 1-2. Приложив нулевой штрих рулетки к углу дома (точка 1), на ленту расположенную на линии 1-2 теодолитного хода опускают перпендикуляр и отсчитывают его длину по рулетке (9.8 м), по ленте - расстояние от пункта 1 съемочного обоснования до основания перпендикуляра (72.4 м). Перпендикуляры длиной до 4 – 8 м в зависимости от масштаба съемки восстанавливаются визуально, а при использовании эккера могут быть увеличены примерно в пять раз. Эккер - прибор для построения на местности прямых углов.

Способ линейных засечек используется для съемки объектов, расположенных вблизи пунктов съемочного обоснования. При этом необходимо чтобы угол, который получают между направлениями при засечке был не менее 30° и не более 150° . Данным способом определено положение второго угла дома (точка 2). Для этого на местности измерено расстояния 10.6 и 9.8 м от опорных точек на линии с абсциссами соответственно 54.1 и 64.0. Угол дома на плане окажется в точке пересечения дуг с радиусами измеренных расстояний.

Способ угловой засечки применяют для съемки удаленных или труднодоступных объектов. На плане данным способом может быть получена точка 3. Для этого измерены теодолитом углы $33^\circ 35'$ и $65^\circ 05'$.

Способ полярных координат предусматривает измерение на местности (точка 4) полярного угла ($70^\circ 00'$) и его стороны (35.3 м).

Способ створа (вертикальная плоскость через две точки) применяется при съемке точек, расположенных в створе опорных линий, либо в створе линий, опирающихся на стороны теодолитного хода. Способ применяется при видимости крайних точек линии. В нашем случае использован при съемке точки пересечения ручьем линии теодолитного хода (точка 5). Расстояние (10.5 м) измерено по створу от пункта 1.

Способ обмера элементов ситуации применяют для контроля полевых измерений и графических построений на плане.

Сущность тахеометрической съемки заключается в том, что плановое положение характерных (реечных) точек местности определяется полярным способом от линии теодолитного хода, а их высотное положение определяется одним из двух методов: геометрическим или тригонометрическим нивелированием. Расстояние от прибора до реек зависит от масштаба, составляемого топографического плана и для масштаба 1:1000 - допускается до 150 м, а между соседними реечными точками менее 35 м.

При тахеометрической съемке высоты реечных точек в зависимости от условий местности получают при горизонтальном визировании (геометрическое нивелирование способом "вперед") или наклоном (тригонометрическое нивелирование).

При геометрическом нивелировании способом "вперед" сначала определяют горизонт прибора:

$$ГП = Нст + I \quad (79)$$

Затем устанавливают на вертикальном круге теодолита отсчет равный МО. Высоты реечных точек вычисляют по формуле:

$$H = ГП - a \quad (80)$$

где a - отсчеты по рейке при горизонтальном визировании.

При тригонометрическом нивелировании реечных точек при КЛ наводят среднюю нить сетки на отсчет V_j (для упрощения последующих вычислений по возможности отсчет V_j должен быть равен высоте прибора I), снимают отсчет L по ВК и вычисляют угол наклона

$$v = L - MO \quad (81)$$

Наклонное расстояние D от прибора до реечной точки определяют по штриховому (нитяному) дальномеру. Так как вертикально (отвесно) установленная рейка не перпендикулярна визирному лучу на величину угла наклона v , то

$$d = D' \cos v, \quad d = D' \cos 2v, \quad (82)$$

где D' - расстояние, определяемое по штриховому дальномеру и отвесно установленной рейке.

Тогда из прямоугольного треугольника, у которого определены D и v , так называемое "неполное" превышение

$$h' = d \operatorname{tg} v = (1/2)D' \sin 2v \quad (83)$$

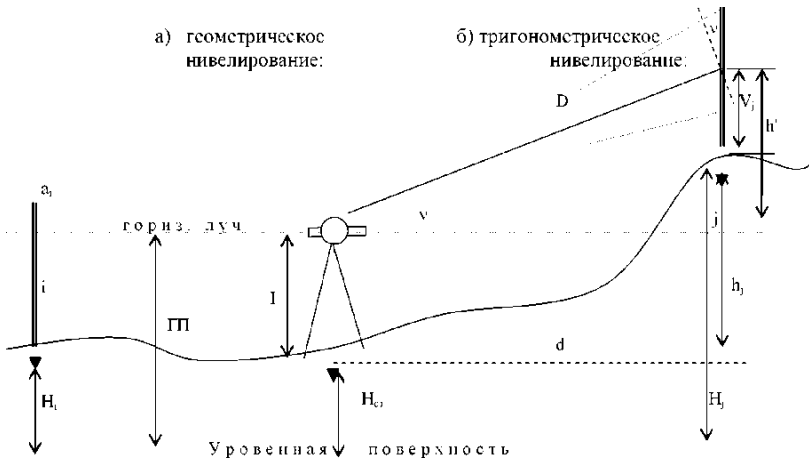


Рис. 92. Схема геометрического и тригонометрического нивелирования

Полевые работы при тахеометрической съемке на станции включают следующие действия:

- установку прибора над точкой с известными координатами и приведение его в рабочее положение (допускается выполнять центрирование с погрешностью до 3 см, т.е. на порядок грубее, чем при измерении горизонтальных углов);
- определение место нуля вертикального круга;
- составление абриса на станции с указанием на нем положения реечных точек;
- измерение высоты прибора с погрешностью 1-2 см;
- ориентирование нуля лимба горизонтального круга на соседнюю точку съемочного обоснования, координаты которой известны;

- наблюдение реечных точек при КЛ: определение расстояния от прибора до рейки по дальномеру, снятие отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам при наведении средней горизонтальной нити на определенный отсчет, например, $V_j = I$;

- вычисление углов наклона, неполных превышений и высот реечных точек по формулам

Результат съемки контуров заносят в *абрис* (рис. 93). Абрисом называют схематический чертеж, который составляется четко и аккуратно, где отображаются снимаемые элементы, указываются порядковые номера точек и характеристики объектов.

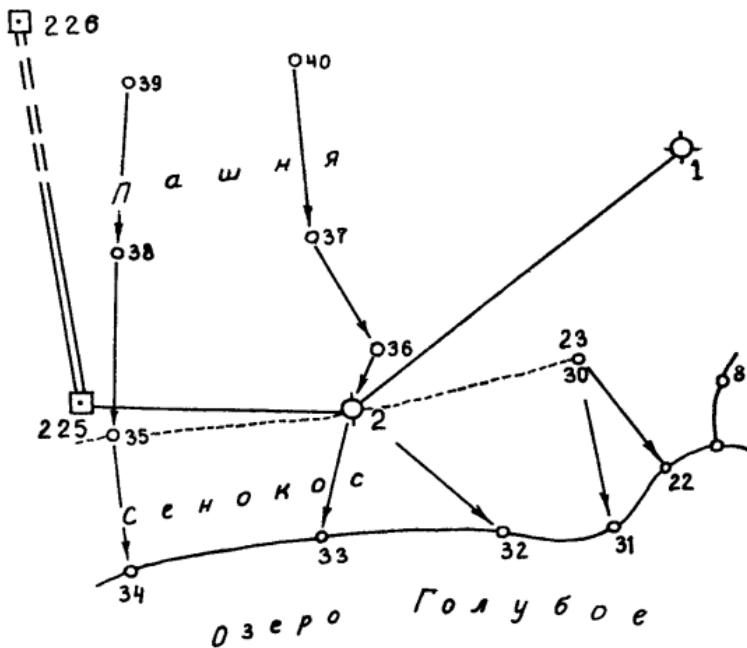


Рис. 93. Абрис

С появлением электронных тахеометров стало возможным *автоматизировать процесс измерений и*

вычислений при выполнении тахеометрической съемки. Для этого *электронный тахеометр* устанавливают на станции тахеометрического хода, а на реечные точки (пикеты) устанавливают последовательно вешку со светоотражателем вместо рейки. При наведении электронным тахеометром на отражатель в автоматическом режиме определяются горизонтальные и вертикальные углы, расстояния на заднюю и переднюю точки хода и пикеты.

С помощью микроЭВМ тахеометра выполняется обработка результатов измерений, в результате которой получают приращения координат и превышения на смежные точки тахеометрического хода и снятые реечные точки. Результаты измерений могут быть введены в специальное запоминающее устройство тахеометра (накопитель информации) или переписаны на флэш-карту.

В дальнейшем из запоминающего устройства или флэш-карты информация поступает в ЭВМ, которая по специальной программе производит уравнивание тахеометрического хода и вычисление координат и высот станций и пикетов. По полученным данным с помощью графопостроителя, соединенного с ЭВМ, осуществляется графическое построение топографического плана тахеометрической съемки.

Другим способом совершенствования и автоматизации тахеометрической съемки является применение методики, при которой отпадает необходимость во взаимной видимости между смежными точками тахеометрического хода, что приводит к уменьшению числа станций на снимаемой территории. В этом случае для связи двух соседних станций тахеометрического хода используются общие связующие точки, которые необходимо снять с обеих станций электронным тахеометром. Определив координаты и высоты этих связующих точек с первой стоянки тахеометра можно через них определить координаты и высоты точек второй стоянки тахеометра в единой для двух стоянок системе координат и высот. Таким образом, опорная съемочная сеть может быть создана без специального проложения теодолитно-тахеометрического хода в процессе выполнения тахеометрической съемки.

Мощным средством автоматизации тахеометрической съемки является применение современных программных комплексов для обработки результатов измерений. Такие комплексы позволяют решать все необходимые задачи для получения топографического плана съемки в электронном виде, что делает возможным создание безбумажной технологии в геодезии. Наиболее распространенным программным комплексом для изысканий и проектирования инженерных сооружений является «*CREDO DIALOGUE*» в результате применения, которого можно получить цифровую модель местности.

Аэрофотосъемка.

В связи с широким применением аэрофотосъемки во многих отраслях имеют значение различные виды фотографирования земной поверхности с самолета. Виды аэрофотосъемки отличаются рядом признаков. Фотографирование земной поверхности с самолета может происходить при различных положениях главной оптической оси аэрофотоаппарата. В зависимости от этого признака существуют следующие виды аэрофотосъемки: горизонтальная, плановая и наклонная (перспективная) — рис. 94. Под горизонтальной подразумевается такая аэрофотосъемка, при которой главная оптическая ось аэрофотоаппарата занимает отвесное положение ($\alpha=0$), плоскость негатива строго горизонтальна. Если в момент фотографирования главная оптическая ось аэрофотоаппарата отклоняется от отвесной линии в среднем на $1—1,5^\circ$, но не более 3° , то такая аэрофотосъемка называется плановой.

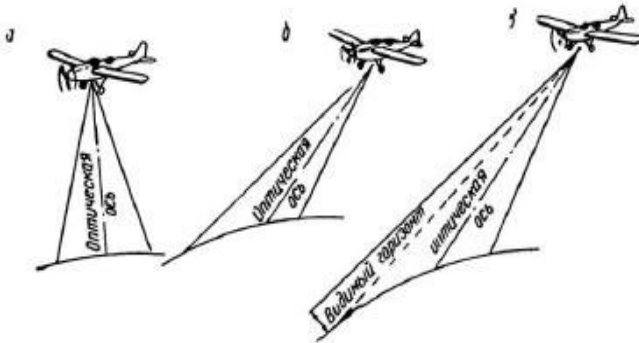


Рис. 15. Различия между видами аэрофотосъемки:
 а — плановая; б — перспективная без горизонта; в — перспективная с линией горизонта

Рис. 94. Виды аэросъемки

Фотографирование же при наклонном положении главной оптической оси аэрофотоаппарата ($\alpha > 3^\circ$) называется наклонной, или перспективной, аэрофотосъемкой. В том случае, когда на аэроснимке изображается естественный горизонт, аэрофотосъемка будет перспективной с горизонтом.

Кроме того, может быть планово-перспективная аэрофотосъемка, при которой по одному и тому же маршруту с помощью специальных аэрофотоаппаратов одновременно производятся плановые и перспективные аэроснимки. В зависимости от характера покрытия местности аэроснимками аэрофотосъемка разделяется на одинарную, маршрутную и многомаршрутную, или аэрофотосъемку площади. Одинарная аэрофотосъемка представляет собой фотографирование отдельных объектов местности (например, гари, ветровала, склада древесины, участка леса, сплава и др.) одиночными аэроснимками. Такая аэрофотосъемка применяется при решении отдельных лесохозяйственных вопросов, при аэротаксации лесов и авиационной охране лесов от пожаров. Маршрутной аэрофотосъемкой называется воздушное фотографирование полосы местности по определенному маршруту. В зависимости от объекта, подлежащего аэрофотосъемке, маршруты полетов могут быть прямолинейными (ряд кварталов леса), ломаными,

или криволинейными (вдоль русла реки). При такой аэрофотосъемке между аэроснимками в маршруте осуществляется перекрытие, достигающее 56—60%. Оно называется продольным перекрытием. Маршрутная аэрофотосъемка, состоящая из одного, двух или трех маршрутов, применяется для лесотранспортных, водномелиоративных и других работ, проводимых в пределах узкой полосы местности. Многомаршрутная, или аэрофотосъемка площади, применяется в тех случаях, когда необходимо заснять лесной массив, занимающий значительную площадь. Производится она путем проложения ряда прямолинейных и параллельных между собой маршрутов аэроснимков, взаимноперекрывающихся. При данном виде аэрофотосъемки, помимо продольных перекрытий между аэроснимками в маршрутах, должно быть соблюдено и заданное перекрытие между аэроснимками соседних маршрутов полета, называемое поперечным перекрытием. Обычно оно составляет 30—40% (рис. 95).

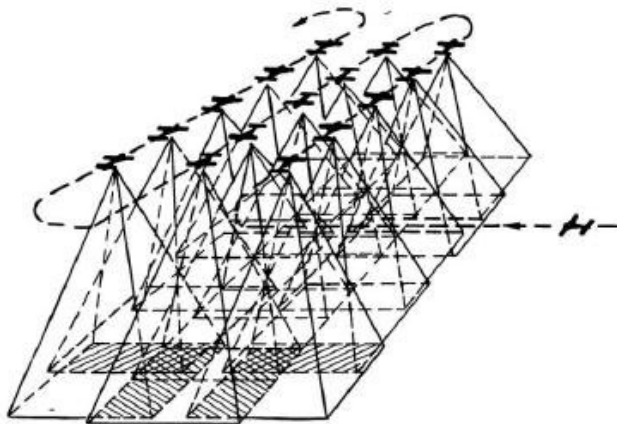


Рис. 95. Схема продольного и поперечного перекрытий в трех маршрутах полетов при аэрофотосъемке площади.

Геометрические параметры аэрофотосъемки.

Основными параметрами аэрофотосъемки являются: масштаб фотографирования (m), высота фотографирования (НФ), фокусное расстояние АФА (f), а также продольное и поперечное перекрытия аэрофотоснимков (P_x и P_y).

Высота фотографирования – это расстояние, измеряемое по отвесной линии от узловой точки объектива установленного на самолете аэрофотоаппарата до поверхности снимаемой местности. В зависимости от выбора этой поверхности различают: абсолютную высоту фотографирования H_o над уровнем моря (плоскость А), относительную высоту фотографирования H_a над аэродромом (плоскость В), высоту фотографирования H над средней плоскостью съемочного участка (плоскость С), истинную высоту фотографирования H_i над какой-либо точкой местности (плоскость D) (рис. 96).

Высота фотографирования над средней плоскостью съемочного участка определяется в период предполетной подготовки в зависимости от параметров аэрофотосъемки (f , m) и масштаба плана (M):

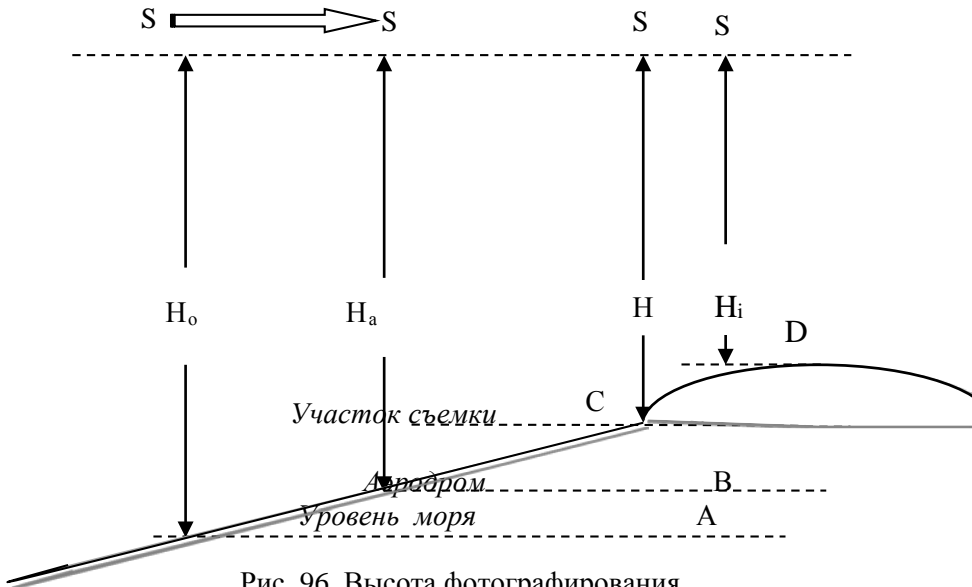


Рис. 96. Высота фотографирования

$$H = mf = K_t Mf \quad (84)$$

где K_t - коэффициент увеличения снимка ($K_t = m \setminus M$)

При аэрофотосъемке равнинных районов реальная высота фотографирования может отличаться от расчетной не более чем на 3%.

Перекрытие аэроснимков выражается в процентах от размера аэронегатива, обеспечивает возможность фотограмметрической обработки аэроснимков, и требование их соответствия расчетным является одним из основных.

Продольное перекрытие P_x должно быть в среднем 60% при минимальном 56%, что обеспечивает наличие 12-процентной зоны тройного продольного перекрытия. В некоторых случаях (например, при съемке населенных пунктов с многоэтажной застройкой) продольное перекрытие может устанавливаться равным 80 – 90 %. Это позволяет обрабатывать маршруты, в которых снимки взяты через один (при $P_x = 80\%$) или через два (при $P_x = 90\%$).

Зона продольного перекрытия определяет границы стереопары, в пределах которой выполняется дешифрирование и фотограмметрическая обработка изображений. Зону тройного продольного перекрытия используют для связи смежных стереопар по общим точкам и передачи от одной из них к другой системе координат и масштаба фотограмметрических построений.

Поперечное перекрытие P_y должно быть не менее 20% при среднем 30 – 35% и используется для размещения в нем опорных точек и точек связи смежных маршрутов. Иногда оно устанавливается равным 60%, что позволяет формировать и обрабатывать маршруты через один с целью повышения точности измерений и сокращения объема полевых работ.

Наличие продольного и поперечного перекрытий обуславливает целесообразность практического использования не всей площади аэроснимка, а только его центральной части. К тому же величины искажения положения точек под влиянием факторов физического и геометрического характера в центральной части снимка заметно меньше, чем по краям. Эта часть аэроснимка, ограниченная средними линиями

продольного и поперечного перекрытий, называется рабочей площадью. В границах рабочей площади выполняется дешифрирование снимка и любые измерительные действия; из таких площадей создаются фотопланы, ортофотопланы и другие фотодокументы.

Прямолинейность маршрутов характеризуется отношением стрелки прогиба (максимального удаления центра какого-либо снимка маршрута от линии, соединяющей первый и последний снимки) к длине маршрута. Прямолинейность подсчитывается в процентах, а ее величина не должна превышать 2 – 3%.

Непараллельность стороны аэроснимка (базиса фотографирования) направлению полета затрудняет фотограмметрическую обработку снимков и не должна превышать 5 – 10°.

Угол наклона аэроснимков оказывает влияние на фотограмметрические работы только при использовании приборов аналогового типа. Тем не менее, действующие нормативные документы, регламентирующие аэрофотосъемочные работы, устанавливают критерии ее оценки и по величине угла наклона, которая не должна превышать при аэросъемке с использованием средств стабилизации аэрофотоаппарата и 3° без них. Причем число снимков с максимальным углом наклона не должна превышать 10% от их общего числа.

Космическая съемка

Первая фотография из космоса была сделана 24 октября 1946 года с ракеты V-2 (США). Эпоха космической съёмки началась в 1972 году, когда был запущен первый аппарат программы Landsat. За практически 50-летнюю историю космическая съёмка преобразилась до неузнаваемости: пленку заменили цифровые носители, пространственное разрешение снимка улучшилось с 1000 м до 0,3 м, а количество возможных спектральных каналов съёмки увеличилось с 1 до 256.

Космическая съёмка различается по нескольким признакам: направлению применения, количеству спектральных

каналов, пространственному разрешению, типу съёмочной аппаратуры и т. д.

Космическая фотосъемка - технологический процесс фотографирования земной поверхности с космического летательного аппарата (КЛА) с целью получения фотографических изображений местности (фотоснимков) с заданными параметрами и характеристиками. К основным задачам космических съемок относятся: исследования планет Солнечной системы; изучение и рациональное использование природных ресурсов Земли; изучение антропогенных изменений земной поверхности; исследование Мирового океана; исследование загрязнения атмосферы и океана; мониторинг окружающей среды; исследование акваторий шельфов и прибрежных частей суши.

Основным отличием фотографирования из космоса является: большая высота, скорость полета и их периодическое изменение при движении КЛА по орбите; вращение Земли, а следовательно, и объектов съемки относительно плоскости орбиты; быстрое изменение освещенности Земли по трассе полета КЛА; фотографирование через весь слой атмосферы; полная автоматизация фотографической аппаратуры. Большая высота съемки вызывает уменьшение масштаба снимка. Выбор высоты орбиты осуществляется исходя из задач, которые решаются при съемке, и необходимости получения фотографических снимков определенного масштаба. В связи с этим повышаются требования к оптической системе фотоаппаратов с точки зрения качества изображения, которое должно быть хорошим по всему полю. Особенно высоки требования к геометрическим искажениям.

В настоящее время снимки, сделанные из космоса, используются для внесения изменений в содержание карт, являясь наиболее оперативным средством для выявления этих изменений. Дальнейшее развитие космической картографии приведет еще к более значительным результатам.

Значимость и преимущество снимков Земли из Космоса по сравнению с обычными аэрофотоснимками, бесспорны. Прежде всего, их обзорность – снимки с высоты в сотни и

тысячи километров позволяют получать и изображения с охватом аэросъемки, и изображения территории протяженностью в сотни и тысячи км. Кроме того, они обладают свойствами спектральной и пространственной генерализации, т. е. отсеиванием второстепенного, случайного и выделением существенного, главного. Космическая съемка дает возможность получать изображение через регулярные промежутки времени, что в свою очередь, позволяют исследовать динамику любого процесса.

Возможность получения космических снимков привела к появлению целого ряда новых тематических карт – карт таких явлений, многочисленные характеристики которых получить другими методами практически невозможно. Так, впервые в истории науки были составлены глобальные карты облачного покрова и ледовой обстановки. Космические снимки незаменимы при изучении динамики атмосферных процессов - тропических циклонов и ураганов. Для этих целей особенно эффективна съемка с геостационарных спутников – спутников «неподвижно» зависших над одной точкой поверхности Земли, или, точнее двигающихся вместе с землей с одной и той же угловой скоростью.

Практически, все первопроходцы космоса, особенно участники длительных космических полетов, успешно решают различные задачи тематического картографирования. В нашей стране леса занимают более половины территории суши. Информация о многочисленных характеристиках этого лесного фонда огромна и должна регулярно обновляться. Гигантские объемы оперативной, всеобъемлющей и в тоже время детальной информации немислимы без помощи космонавтов и космического фотографирования. Практика уже доказала, что космическое картографирование лесов, необходимое звено их изучения и управления ресурсами. Регулярное космическое картографирование изменений, происходящих в лесах очень важно для предупреждения и локализации вредных воздействий, решения задач охраны природы. Только, с помощью космической техники удается получать информацию

о санитарном состоянии лесов, а с помощью ежедневных съемок со спутников «Метеор» данные о пожарной обстановке в лесах.

Космическое непрерывное картографирование состояния окружающей среды сегодня обозначают термином «мониторинг». Диапазон средств и методов картографа становится все шире: от космических высот до подводных глубин, но везде – у пульта управления космическим топографом – планетоходом, у обычного теодолита, у создания карты стоит человек.

Виды съемок.

По характеру покрытия земной поверхности космическими снимками можно выделить следующие съемки:

- одиночное фотографирование;
- маршрутная съемка;
- прицельная съемка;
- глобальная съемка.

Одиночное (выборочное) фотографирование выполняется космонавтами ручными камерами. Снимки обычно получаются перспективными со значительными углами наклона.

Маршрутная съемка земной поверхности производится вдоль трассы полета спутника. Ширина полосы съемки зависит от высоты полета и угла обзора съемочной системы.

Прицельная (выборочная) съемка предназначена для получения снимков специально заданных участков земной поверхности в стороне от трассы.

Глобальную съемку производят с геостационарных и полярно-орбитальных спутников. Четыре-пять геостационарных спутников на экваториальной орбите обеспечивают практически непрерывное получение мелкомасштабных обзорных снимков всей Земли (космическое патрулирование) за исключением полярных шапок.

Космическая съемка различается по:

- масштабам,
- пространственному разрешению,
- обзорности,
- спектральным характеристикам.

Эти параметры определяют возможности дешифрирования на космических снимках различных объектов и решения тех геологических задач, которые целесообразно решать с их помощью.

Масштабы космоснимков разные: от 1:1000 до 100 000 000, т.е. он может меняться в сто тысяч раз. Самые распространенные масштабы космических снимков: от 1:200 000 до 1:10 000 000.

Масштабы космоснимков зависят от:

- высоты фотографирования,
- фокусного расстояния аппарата,
- коэффициента увеличения,
- углов наклона,
- кривизны земной поверхности.

В отличие от других источников пространственной информации космические снимки дешифрируются не в масштабе съёмки, а с достаточно большим увеличением. Поэтому понятие масштаба считается весьма условным, гораздо более важно для космической съёмки понятие пространственного разрешения.

Пространственное разрешение — размер самой малой детали местности, воспроизводимой на снимке, определяется размером пикселя. То есть, у снимка с пространственным разрешением 1 м пиксель имеет размер 1х1 м.

Космическая картография

Особенно широкое применение снимки из космоса нашли в картографии. И это понятно, потому что космический фотоснимок точно и с достаточной подробностью запечатлевает поверхность Земли и специалисты могут легко перенести изображение на карту.

Использование космических снимков в картографических целях начинают с определения их масштаба и привязки к карте. Эту работу обычно выполняют по карте более мелкого масштаба, чем масштаб снимка, так как на нее приходится наносить границы не одного, а целого ряда снимков.

Сличая снимок с картой, можно узнать, что и как изображено на снимке, как это показано на карте и какие

дополнительные сведения о местности дает фотоизображение земной поверхности из космоса. И даже в том случае, если карта будет того же масштаба, что и фотоснимок, все равно по снимку можно получить более обширную и главное - свежую информацию о местности по сравнению с картой.

В картографии космические снимки используют прежде всего для создания мелкомасштабных карт. Достоинство космического фотографирования в этих целях заключается в том, что масштабы снимков сходны с масштабами создаваемых карт, а это исключает ряд довольно трудоемких процессов составления. Кроме того, космические снимки как бы прошли путь первичной генерализации. Это происходит в результате того, что фотографирование выполняется в мелком масштабе.

В настоящее время по космическим снимкам созданы разнообразные тематические карты. В ряде случаев характеристики некоторых явлений можно определить только по космическим снимкам, а получить их другими методами невозможно. По результатам космического фотографирования обновлены и детализированы многие тематические карты, созданы новые типы геологических ландшафтных и других карт. При составлении тематических карт особенно полезными являются снимки, полученные в различных зонах спектра, так как они содержат богатую и разностороннюю информацию.

Космические снимки нашли широкое применение при изготовлении промежуточных картографических документов - фотокарт. Их составляют так же, как и фотопланы, путем мозаичного склеивания отдельных снимков на общей основе. Фотокарты могут быть двух видов: на одних показано только фотографическое изображение, а другие дополнены отдельными элементами обычных карт. Фотокарты, как и отдельные снимки, служат ценными источниками изучения земной поверхности. Вместе с тем они являются дополнительным материалом к обычной карте и в полной мере заменить ее не могут.

Облик Земли постоянно меняется, и любая карта постепенно стареет. Космические снимки содержат самые свежие и достоверные сведения о местности и успешно используются для обновления карт не только мелкого, но и

крупного масштаба. Они позволяют исправлять карты больших территорий земного шара. Особенно эффективно космическое фотографирование в труднодоступных районах, где полевые работы связаны с большой затратой сил и средств.

Нивелирование поверхности производят для получения топографического плана местности в крупных масштабах, а также для выполнения вертикальной планировки площадок. В зависимости от характера рельефа местности нивелирование поверхности может быть выполнено или путем нивелирования вершин построенной на местности сетки квадратов, или проложением теодолитных и нивелирных магистральных ходов с поперечниками.

Обычно *нивелирование поверхности по квадратам* применяют для равнинной местности, а нивелирование по магистралям с поперечниками используют при пересеченной местности с значительными углами наклона. Наиболее распространенным способом нивелирования поверхности является нивелирование по квадратам. В этом способе на участке местности, намеченном под строительство, разбивают *сетку квадратов*. Длины сторон квадратов обычно берут от 20 до 200 м с таким расчетом, чтобы они на плане были равны 2–6 см. Вершины квадратов закрепляют точкой и сторожкой. На сторожке подписывают номер вершины квадрата, состоящий из обозначения двух линий, пересечение которых образует точку, например 1А, 2А, ..., 1Б, 2Б и т. д.

Сетку квадратов строят на местности при помощи теодолита и мерной ленты. Вначале разбивают наружный полигон 1А, 1Д, 6Б, 6А, для чего в одной из вершин полигона, например 1А, устанавливают теодолит. Выбирают и закрепляют вехой исходное направление (например, 1А – 1Д), и от него под углом 90° строят направление 1А – 6А, по которому устанавливают веху.

По полученным направлениям мерной лентой или рулеткой откладывают стороны квадратов заданной длины и закрепляют их кольшками. Затем теодолит переносят в точку 6А, откладывают от линии 6А – 1А прямой угол и устанавливают веху по направлению 6А – 6Д, вдоль которого

отмеряют длины сторон квадратов. Для контроля разбивки производят измерение последней линии 1Д – 6Д, длина которой должна отличаться от теоретической не более чем на 1:1000 от периметра полигона. При соблюдении указанного допуска закрепляют вершины квадратов по линии 1Д – 6Д. Вершины квадратов, которые находятся внутри полигона (2Б, 2В, 3Б и т. д.), находят и закрепляют на пересечении створов, выполняя промеры с вехи на веху. Например, с 2А на 2Д, с 3Д на 3А и т. д.

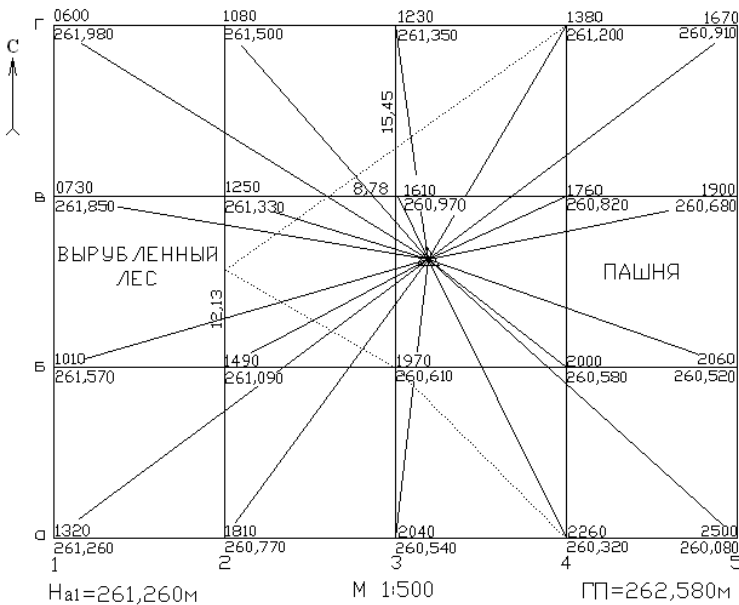


Рис. 97. Сетка квадратов

Одновременно с разбивкой сетки квадратов ведут *съёмку контуров* ситуации и предметов местности, привязывая их к вершинам квадратов. При наличии резких изменений уклонов на сторонах квадратов дополнительно закрепляют плюсовые точки, измеряя до них расстояния от ближайших вершин. Все данные съёмки заносят в абрис, в котором также

показывают стрелками диагонали квадратов с неизменным уклоном местности.

Для определения высот вершин квадратов производят их нивелирование, которое выполняют или из середины каждого квадрата, или с нескольких станций с общими связующими точками.

При *нивелировании из середины каждого квадрата* устанавливают нивелир примерно в центре первого квадрата и берут отсчеты по черной стороне рейки, установленной на всех его вершинах. Потом аналогично нивелируют второй квадрат. Запись отсчетов ведут на схематическом чертеже. Для контроля нивелирования во втором квадрате вычисляют разности отсчетов по рейке на точках у стороны, смежной для обоих квадратов.

Это будут разности горизонтов нивелира на станциях в соседних квадратах. Расхождения между двумя значениями разностей допускается не более ± 6 мм.

Затем переходят с нивелиром в центр третьего квадрата и аналогично находят разности горизонтов нивелира между третьим и вторым квадратами и т. д. После нивелирования всех указанных квадратов подсчитывают сумму средних разностей по внешнему кольцу квадратов. Это будет невязка по замкнутому ходу. Она должна быть меньше величины ± 6 мм \sqrt{n} , где n – число средних разностей.

Если невязка не более допустимой величины, то ее распределяют с обратным знаком поровну на все разности, и полученные поправки записывают над средними разностями. Затем по данным привязки к близлежащему реперу определяют высоту одной из вершин квадратов. Прибавляя к этой высоте отсчет по рейке на данной точке, получают горизонт нивелира на станции, с которой был взят отсчет по рейке.

В конце вычислений необходимо точно получить горизонт нивелира в первом квадрате, что является контролем правильности вычислений.

Затем определяют высоты вершин квадратов как разность горизонта нивелира и отсчетов по рейке, взятых с данной станции.

Если длины сторон квадратов небольшие, то их нивелирование можно выполнять с нескольких станций с общими связующими точками. Схема такого нивелирования показана на рисунке 8.4. Каждая станция 1, 2, 3 имеет связь с соседней через 2-3 связующие точки, показанные на рисунке черными точками. Направления на промежуточные вершины квадратов изображены пунктирными линиями. При нивелировании запись отсчетов по рейкам в этом случае ведут в обычном журнале.

Вычисление разности горизонтов нивелира по отсчетам на связующих точках, уравнивание этих разностей (при образовании замкнутого или разомкнутого хода), вычисление значений горизонтов нивелиров и по ним высот вершин квадратов производят аналогично тому, как это выполнялось при нивелировании из середины каждого квадрата.

При составлении плана нивелирования поверхности вначале на листе чертежной бумаги в заданном масштабе строят сетку квадратов, используя для этого дирекционный угол начальной линии и длины сторон квадратов. Затем по данным абриса съемки наносят ситуацию и предметы местности. Около каждой вершины квадрата выписывают их высоты, округляя до сотых долей метра. Далее при помощи прозрачной бумаги (кальки или восковки) по всем сторонам квадратов и по одной из диагоналей в каждом квадрате с наибольшим постоянным уклоном выполняют интерполирование горизонталей, находя точки пересечения горизонталями сторон квадратов. Соединяя точки с одноименными высотами плавными кривыми линиями, проводят горизонталы, которые оформляют светло-коричневым цветом толщиной 0,2 мм. Горизонталы кратные 0 и 5 м проводят толще в 2 раза с указанием их высоты.

План вычерчивают в условных топографических знаках и оформляют в соответствии с приведенным в методических указаниях для выполнения лабораторных работ примером

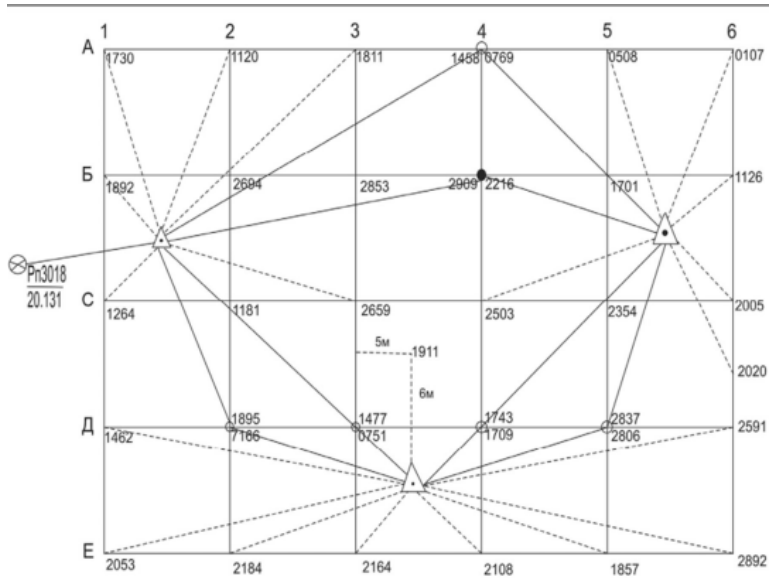


Рис. 98. Нивелирование через связующие точки

Нивелирование по магистралям. На застроенной территории нивелирование поверхности производится по магистральным линиям и поперечникам к ним (рис. 99). Для этой цели прокладывают совмещенный теодолитный и нивелирный ходы, разбивают поперечники, а на них через равные промежутки намечают точки, подлежащие нивелированию.

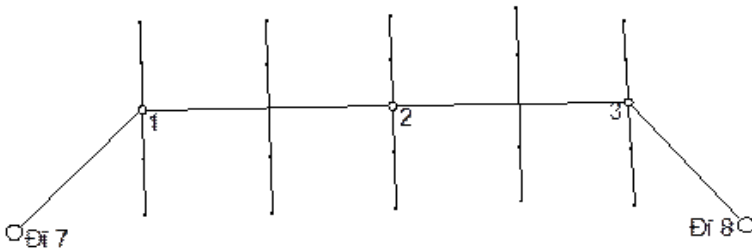


Рис. 99. Схема нивелирования по магистралям

Поперечники разбивают перпендикулярно к линиям магистрали. Расстояния между поперечниками в зависимости от рельефа местности и масштаба плана берутся от 10 м до 50 м. Магистральные нивелирные ходы должны быть привязаны к реперам.

Полярным способом пользуются в полузакрытой местности, крутизна скатов которой позволяет применять геометрическое нивелирование. Для нивелирования полярным способом лучше всего пригоден нивелир с горизонтальным кругом и дальномерной сеткой нитей.

Станциями являются вершины теодолитно-нивелирного хода, располагаемые так, чтобы с них можно было снять характерные точки ситуации и рельефа, расположенные в радиусе 100 – 150 м. Расстояния до точек измеряют дальномером. Отсчеты по нитям сетки и по горизонтальному кругу записывают в журнал. Кроме журнала ведут абрис-кроки, на котором схематически показывают ситуацию, характерные точки и линии рельефа, направления скатов местности.

При нивелировании поверхности равнинной местности, когда со станции можно выполнить нивелирование нескольких точек, целесообразно применять способ непосредственного отсчета по рейке отметки точки. В верхнему концу рейки приделывают выдвижную подставку, на которую ставят рейку, так чтобы нуль-пункт ее оказался вверху. После установки нивелира на станции рейку ставят подставкой на точку А (рис. 100) с известной отметкой.

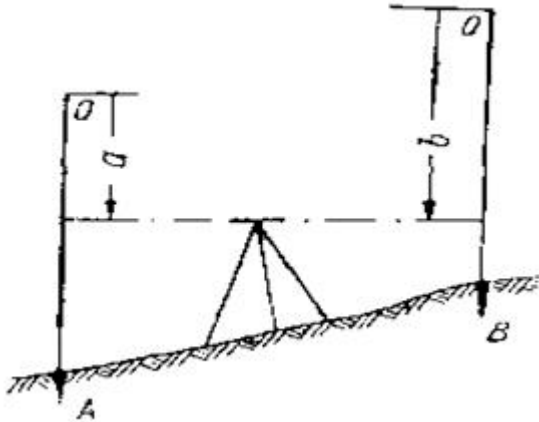


Рис. 100. Нивелирование с рейками для непосредственного отсчета отметок.

Если рейку с закрепленной подставкой установить на точке местности и сделать отсчет b , прибавив к нему постоянное для данной станции число H_0 , получим значение снимаемой точки, которое без всяких промежуточных записей заносится в журнал.

$$H_{сн} = b - H_0 \quad (85)$$

При составлении плана вершины опорных ходов наносят по координатам, а остальные точки — графически. По отметкам точек, руководствуясь абрисом, проводят горизонтали.

Нивелирование способом параллельных линий (поперечников) наиболее часто используют при съемке притрассовой полосы вдоль дорог, каналов и других линейных объектов, а также в закрытой местности со слабовыраженным рельефом. *Основой нивелирования является магистральный ход*, прокладываемый либо в середине, либо по границе снимаемого участка. Стороны магистрали измеряют землемерной лентой или рулеткой, а углы поворота с помощью угломерного прибора.

Перпендикулярно к магистрали через определенное расстояние (от 20 до 200 м) разбивают поперечники. На поперечниках через 20 – 200 м разбивают пикетаж и в местах

перегибов скатов обозначают плюсовые точки. При необходимости разбивают поперечники второго порядка. Общее число нивелируемых точек должно обеспечивать уверенное проведение горизонталей на плане.

На рис. 101 показана одна из применяемых схем нумерации пикетов: в числителе – порядковый номер пикета, в знаменателе – номер поперечника. На открытой местности нивелируют сразу несколько поперечников, а в закрытых местах (и при расстояниях между поперечниками, больших 100 м) – каждый поперечник отдельно.

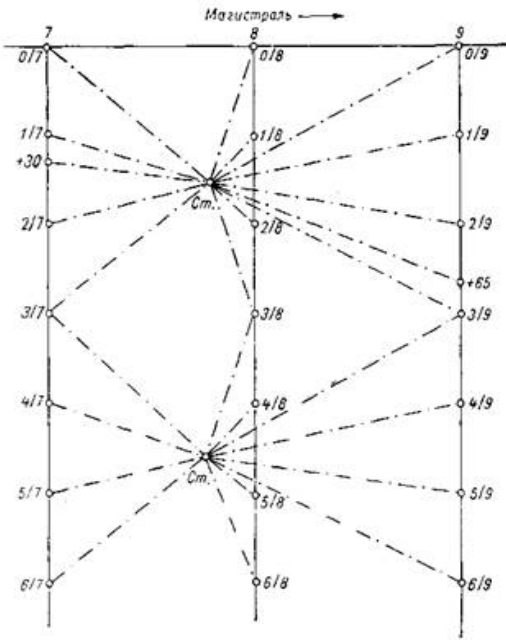


Рис. 101. Схема нивелирования поверхности по параллельным линиям с поперечниками.

Нивелирование улиц, площадей, застроенных участков.
Геометрическое нивелирование на застроенных участках применяется при съемке рельефа в масштабах 1:2000, 1:1000, 1:500 с сечением 0,25—0,50 м, если рельеф местности спокойный, без больших превышений.

Нивелирование выполняется с целью получения высотного плана территории, продольного и поперечного профилей, необходимых для:

- получения отметок съемочных точек;
- решения вопросов вертикальной планировки;
- проектирования и эксплуатации наземных и подземных инженерных сооружений (водопровода, канализации, водостока, теплосетей, газа и т. п.);
- дорожных работ, прокладки трамвайных сетей и т. п.;
- организации поверхности улиц, площадей, внутриквартальной территории и т. д.

Нивелирование застроенных территорий подразделяется на два вида работ:

- нивелирование улиц;
- нивелирование застроенных участков, кварталов.

Процесс *нивелирования улиц* начинается с разбивки пикетажа по трассе нивелирного хода вдоль улиц. Трасса нивелирного хода прокладывается по оси проезда, если проезжая часть немоощеная, или по одному из лотков проезда (по нижнему), если улица благоустроенная. При наличии на улице водоотводных канав трассу прокладывают по бровке канавы.

Разбивку пикетажа также можно вести по фасадным линиям. Нивелирную трассу обычно прокладывают при помощи стальной ленты. Пикетаж разбивают через 20 м при съемке в масштабе 1:500, через 30 м — 1 : 1000 и через 50 м — 1 : 2000. На характерных точках рельефа, на поворотах и на пересечениях проездов по трассе устанавливают плюсовые пикеты.

Связующие точки (обычно это пикеты и плюсовые точки) закрепляются деревянными кольями или металлическими штырями (на благоустроенных проездах

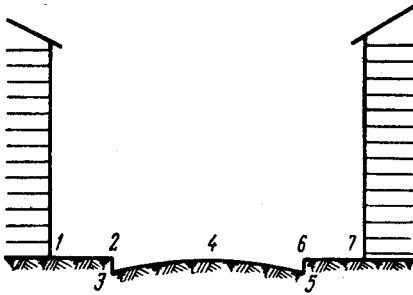


Рис. 102. Места установок реек при нивелировании улицы.

На каждом пикете или плюсовой точке трассы нивелирного хода разбивают поперечники. Поперечники должны занимать перпендикулярное положение к оси проезда. Конечные точки поперечников следует привязывать промерами к линии фасада или к отдельным зданиям, концы поперечников отмечают мелом, краской или сторожками. Расстояния между точками на поперечниках не должны превышать 20 м для масштаба 1 : 500, 30 м — для 1 : 1000, 50 м — для 1:2000 при сечении рельефа 0,25 — 0,50 м. Разбивка поперечников производится с помощью стальной ленты или рулетки.

На поперечниках (рис. 102) нивелируются точки: у фасадной линии (1 и 7), верх бордюрного камня, или бровка тротуара (2 и 6), низ бордюрного камня, или лоток (3 и 5), ось проезда (4).

На поперечниках нивелируют также точки на бровках канав, на дне канав, а также все характерные точки. При нивелировании точек у фасадной линии 1 и 7 (см. рис. 102) рейку следует ставить на некотором расстоянии от здания, так как вследствие подсыпки грунта около зданий рельеф может быть искажен.

При нивелировании улиц должны быть получены отметки следующих точек:

- лоток против въезда в квартал;
- все выходы подземных сооружений,

- при съемке рельефа в масштабе 1 : 500 нивелируются все входы в здание, при съемке в масштабе 1 : 1000 нивелируются крайние входы в здание, при съемке 1 : 2000 получают отметку только одного из входов,

- приемники (дно и верх); нивелирование приемников производится при съемке в масштабах 1 : 500, 1 : 1000; для получения отметки верха приемника рейка ставится в средней его части у подошвы водоограждающего устройства; для получения отметки дна производится замер глубины приемника до верха водоограждающего устройства и высоты этого устройства:

- проезжая часть мостов;
- верх и низ подпорных стенок;
- откосы, их верх и подошва;
- пересечения осей и лотков проездов.

При наличии горизонтального плана улицы нивелируемые точки наносятся на копию плана от существующей ситуации.

При отсутствии горизонтального плана разбивку трассы нивелирного хода и поперечников производят с ведением абриса. В абрисе дают привязку точек к фасадам зданий и другой ситуации. На абрисе отмечают положение исходных точек трассы.

Точки поворота оси или лотка при отсутствии планов привязывают при помощи стальных рулеток (тремя промерами к постоянным предметам местности) и зарисовывают в абрис с указанием строений, к которым сделаны привязки.

Нивелирные ходы, прокладываемые по улицам, должны опираться на точки съемочной сети или исходные реперы.

Висячие ходы допускаются в исключительных случаях и должны быть в обязательном порядке пройдены двойным нивелированием.

Определение отметок на улицах производится с точностью и по методике технического нивелирования.

Порядок работы на станциях должен быть следующий:

- нивелир устанавливают в рабочее положение;

-берут отсчеты на заднюю (исходную или связующую) точку по черной стороне рейки;

- берут отсчеты на переднюю точку (связующую) по черной и красной сторонам рейки, вычисляют «пяточную» разность;

- берут отсчет на заднюю точку по красной стороне рейки и вычисляют «пяточную» разность;

-вычисляют превышение между связующими точками;

- приступают к нивелированию промежуточных точек (набору пикетов), при этом берут отсчеты только по черной стороне рейки;

-вычисляют превышения между задней и промежуточными точками;

-заканчивают работу на станции повторным наведением на переднюю связующую точку для контроля устойчивости инструмента в процессе работы на станции, и в журнале отсчет записывается повторным; расхождение между первым и повторным отсчетами не должно превышать 10 мм.

Особое внимание нужно уделять правильной записи нумерации пикетов и нивелирующих точек, соответствию номеров в журнале и на копии плана или на абрисе.

Расхождения в превышениях пикетов (связующих точек), определенных по разным сторонам рейки, не должны превышать 10 мм. Разность в отсчетах по черной и красной сторонам («пяточная» разность) рейки не должна отличаться от величины постоянной разности более чем на 5 мм. Нормальная длина визирного луча 120 м. При хороших условиях видимости длину луча можно увеличить до 150 м.

При нивелировании улиц ведут нивелирный журнал, где записывают номера пикетов и отсчеты по рейкам. Одновременно на копии плана или на абрисе отмечают положение пикетов и их номера. Отсчеты точек поперечников, находящихся справа по ходу от оси, подписывают буквой «П», влево — буквой «Л», расстояния до точек на поперечниках отсчитываются от оси трассы вправо и влево или присваиваются всем точкам справа по ходу нечетные номера, а слева — четные.

Все записи на рабочей копии или на абрисе и в нивелирном журнале должны быть четкими, не вызывать сомнения в том, к каким точкам они относятся. Журнал должен быть оформлен, страницы пронумерованы, составлено оглавление, в конце записей журнал должен быть подписан исполнителем.

Уравнивание ходов по трассам нивелирных линий производится упрощенными методами. Уравнивание ходов и вычисление отметок по трассе производится в ведомостях.

В результате полевых работ по нивелированию улиц представляются следующие материалы:

- нивелирные журналы;
- рабочая копия горизонтального плана или абрис;
- ведомость вычисления отметок.

По полевому материалу в камеральных условиях составляется план, на который наносятся все занивелированные в натуре пикеты, выписываются отметки пикетов с округлением до сантиметра. По отметкам пикетов на плане проводятся горизонтали. Через поверхности с искусственным покрытием горизонтали не проводятся.

Производство *нивелирования застроенных участков* выполняется аналогично нивелированию улиц (проездов). Здесь могут быть два случая:

- наличие горизонтального плана участка;
- отсутствие горизонтального плана.

Работа по нивелированию застроенной территории (участка, квартала, промплощадки и т. д.) начинается с рекогносцировки, во время которой намечают расположение нивелирных ходов. Нивелирные ходы намечают по проложенным теодолитным ходам или самостоятельными системами ходов с привязкой к исходным реперам. Связующие точки нивелирного хода выбираются на постоянных предметах (кольцо смотрового колодца, крыльцо здания и т. д.), которые не изменяют своего положения в плане и по высоте в продолжение длительного срока. Эти точки наносятся на копию плана или абрис. Результаты рекогносцировки наносятся на копию

горизонтального плана. Если нет копии плана, то результаты заносят в пикетажный журнал.

На копии плана или на абрисе пикеты и связующие точки нумеруются и положение их отмечается кружком. При получении пикетов, не привязанных к ситуации, делаются привязки их к существующей застройке. Наиболее распространенным является метод привязки по створам.

При нивелировании застроенных участков определяются отметки тех же точек, что и при нивелировании улиц, но наряду с этим определяют и ряд других:

- при нивелировании внутриквартальных проездов следует определять отметку покрытия по одному из лотков;
- канавы, протоки, ямы, холмы характеризуются не менее чем тремя точками: двумя у краев и одной точкой посередине (наверху и на дне);
- в водоемах дается отметка (в крупных водоемах не менее двух отметок) уреза воды с указанием даты определения;
- места изрытые, карьеры, свалки, места, в которых производятся земляные работы, оконтуриваются, отметки даются по контуру и в характерных местах внутри контура.

Порядок работы на станции, инструменты, методы работы, допуски те же, что и при нивелировании улиц.

В процессе нивелирования на копии плана или на абрисе необходимо показывать направление скатов, лощин, тальвегов стрелками, это облегчит проведение на планах горизонталей.

При нивелировании участков применяемые журналы, записи в них и их оформление, уравнивание ходов и вычисление отметок связующих и промежуточных точек, получаемые полевые материалы, нанесение пикетов с отметками на план и рисовка рельефа те же, что и при нивелировании улиц.

При проведении горизонталей должны выполняться следующие правила:

- 1) по деревянным временным постройкам горизонтали проводятся пунктиром;
- 2) горизонтали не проводятся:
 - через постоянные деревянные здания и капитальные сооружения;

- через осыпи, по крутым обрывистым скатам, не имеющим естественного покрова, через изрытые места, карьеры, свалки;
- по проездам с искусственным покрытием;
- на участках с искусственными сооружениями (лотки водоотвода, плотины).

В этих случаях рельеф характеризуется отметками пикетов, выписанными на плане.

ЛЕКЦИЯ 11 Картометрические работы

Для каждой точки на топографической карте можно определить ее *географические координаты (широту и долготу)* и *прямоугольные координаты Гаусса x, y*.

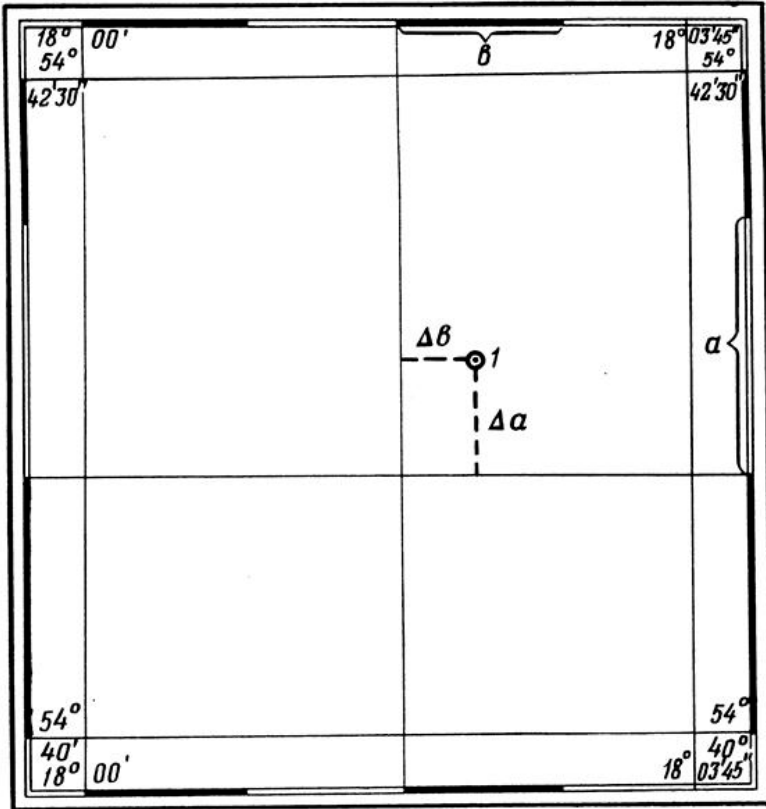


Рис 103. Определение географических координат точки

Для определения этих координат используется градусная и километровая сетки карты. для определения *географических координат* точки 1 проводят ближайшие к данной точке южную

параллель и западный меридиан, соединив одноимённые минутные деления градусной рамки (рис. 103).

Широта точки 1 находится по формуле:

$$\varphi_1 = \varphi_0 + \Delta\varphi$$

Долгота точки 1: (2)

$$\lambda_1 = \lambda_0 + \Delta\lambda$$

где φ_0 и λ_0 - широта и долгота юго-западного угла трапеции, в которой расположена точка;

$\Delta\varphi$ и $\Delta\lambda$ – приращение от точки 1 по широте и долготе до линии с известными значениями географических координат.

Значения φ_0 и λ_0 определяются по карте. В данном случае

$$\varphi_0 = 54^\circ 41', \lambda_0 = 18^\circ 02'$$

Приращение широты и долготы находится по формулам:

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta a \cdot 60''}{a}$$

$$\Delta\lambda = \frac{\Delta b \cdot 60''}{b}$$

где, a и b – длина одной минуты в сантиметрах по широте и долготе;

Δa и Δb – расстояние в сантиметрах, от точки 1 до ближайших южной и западной линий географической сетки с известными значениями географических координат

Длину одной минуты по широте и долготу и расстояние от точки до сторон трапеции измеряют при помощи поперечного масштаба. Предположим, что у нас получились следующие значения:

$$a = 7,4 \text{ см}, b = 4,3 \text{ см}$$

$$\Delta a = 3,15 \text{ см}, \Delta b = 2,15 \text{ см}$$

Полученные данные подставляем в формулы (3) и получаем, что приращение от точки до линии с известными координатами равно:

$$\Delta\varphi = \frac{3.15 \cdot 60''}{7.4} = 25'' \quad , \quad \Delta\lambda = \frac{2.15 \cdot 60''}{4.3} = 30''$$

Вычисляем по формуле (2) широту и долготу точки 1:

$$\varphi_1 = 54^{\circ}41'25'' , \lambda_1 = 18^{\circ}02'30''$$

Для определения *прямоугольных координат точки P* используют километровую сетку карты. С помощью оцифровки этой сетки на карте находят координаты X_0 и Y_0 юго-западного угла квадрата сетки, в котором находится точка P (рис. 104). Затем из точки P опускают перпендикуляры C_1P и C_2P на стороны этого квадрата. С точностью до десятых долей миллиметра измеряют длины этих перпендикуляров ΔX и ΔY и с учетом масштаба карты определяют их фактические значения на местности. Например, измеренное расстояние C_1P равно 12,8 мм, а масштаб карты 1: 10 000. Согласно масштабу, 1 мм на карте соответствует 10 м на местности, а значит,

$$\Delta X = 12,8 \times 10 \text{ м} = 128 \text{ м}.$$

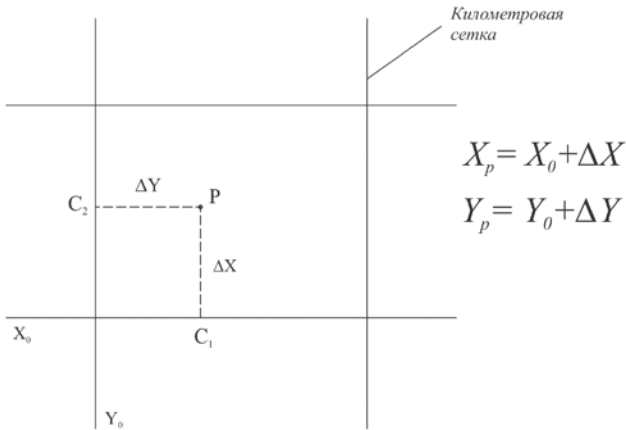


Рис 104. Определение прямоугольных координат точки

Точность определения прямоугольных координат точки зависит от масштаба карты и может быть найдена по формуле:

$$t = 0.1 * M, \text{ мм}, \quad (88)$$

где M-знаменатель масштаба карты.

Определение дирекционного угла, истинного и магнитного азимутов заданного направления. Для определения дирекционного угла линии (рис. 105.) с помощью транспортира измеряют на карте по ходу часовой стрелки горизонтальный угол между северным направлением осевого меридиана зоны (линией координатной сетки) и заданным направлением.

Истинный азимут отличается от дирекционного угла на величину сближения меридианов, а магнитный азимут отличается от истинного на величину склонения магнитной стрелки.

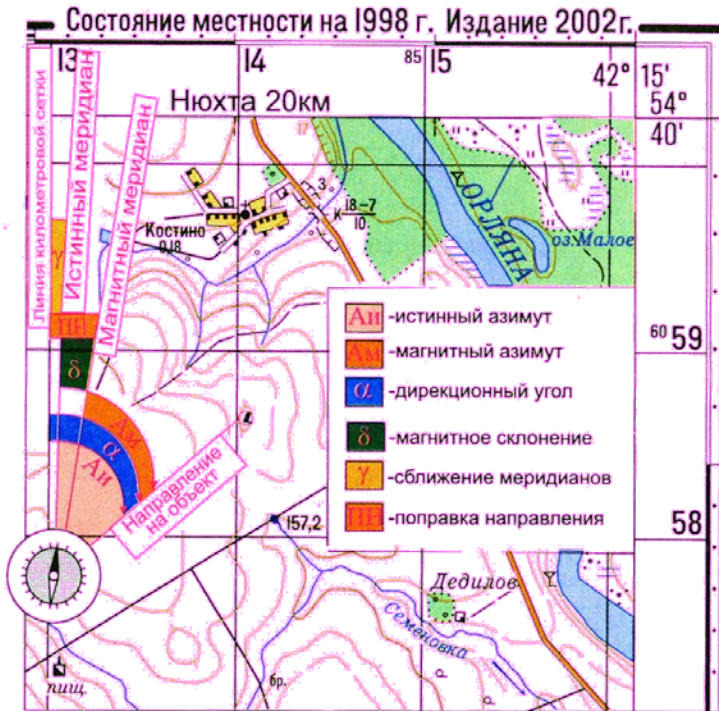


Рис 105. Определение дирекционного угла, истинного и магнитного азимутов заданного направления.

Определение высот точек на карте. Если точка расположена на горизонтали, то ее высоту устанавливают по

высоте этой горизонтали. Высоту (отметку) точки, расположенной между горизонталями (рис. 105 а), можно определить, если через нее провести линию ab по кратчайшему расстоянию между горизонталями.

Из подобия треугольников abb_1 и acc_1 , учитывая, что h – высота сечения рельефа, d – заложение (рис. 106, б), получим

$$cc_1 = ac \times bb_1 / ab \text{ или } \Delta h = \Delta d h / d. \quad (89)$$

Отметка точки H_c будет равна отметке точки a плюс величина Δh :

$$H_c = H_a + \Delta h. \quad (90)$$

Величины d и Δd измеряют на карте, а высота сечения рельефа подписана под масштабом карты.

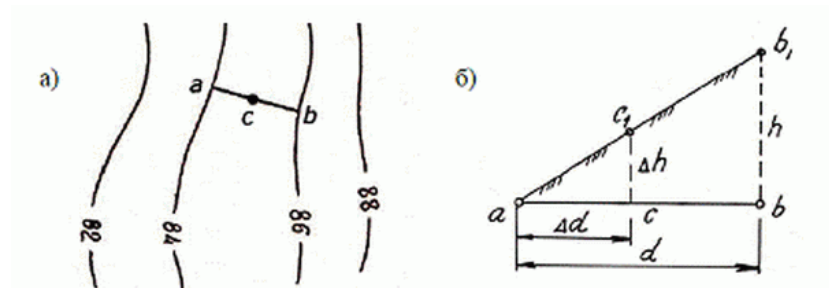


Рис. 106. Определение отметки точки

Определение уклона линии. Пусть линия местности АВ (рис. 107) наклонена к горизонту АС под углом ν . Тангенс этого угла называют уклоном линии обозначают буквой i :

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{S}, \quad (91)$$

т. е. уклон линии равен отношению превышения hk горизонтальному проложению S .

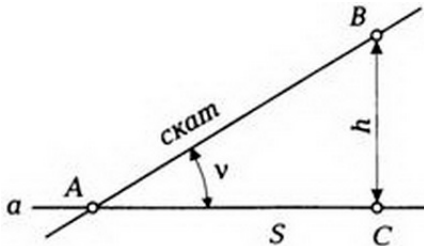


Рис. 107. Схема определения уклона линии

Пример. Если $h = 1$ м, а $S = 20$ м, то $i = 1/20 = 0,05$. Уклон $i = 0,05$ показывает, что линия местности повышается или понижается на 5 см через каждый 1 м или на 5 м через каждые 100 м горизонтального расстояния S .

Если превышение положительное ($+h$), то уклон положителен (линия направлена вверх на подъем), а когда превышение отрицательное ($-h$) – уклон отрицателен и линия направлена вниз на спуск.

Уклон линии численно можно рассматривать как превышение, приходящееся на единицу горизонтального расстояния.

Измерив на карте длину заложения (расстояние между двумя соседними горизонталями по заданному направлению) и зная высоту сечения, можно найти уклон линии. Уклон обычно выражают в *процентах* или *промилле* (промилле – это тысячная часть целого или 1/10 процента).

Построение профиля местности по линии АВ.

На миллиметровой бумаге строят графы профиля, в которые записывают номера характерных точек рельефа местности по линии АВ, расстояния между ними и их высоты (рис.108). Горизонтальный масштаб профиля принимают равным масштабу карты. Вертикальный масштаб, по которому откладывают высоты от выбранного условного горизонта, обычно принимают в 10 раз крупнее горизонтального, т. е. 1:1000. Полученные точки на профиле соединяют ломаной линией.

При построении графика на горизонтальной прямой откладывают произвольной величины равные отрезки и

надписывают величины уклонов. Из полученных точек вверх по вертикали откладывают соответствующие уклонам величины заложений в масштабе плана. Соединив точки плавной линией, получают график заложений по уклонам.

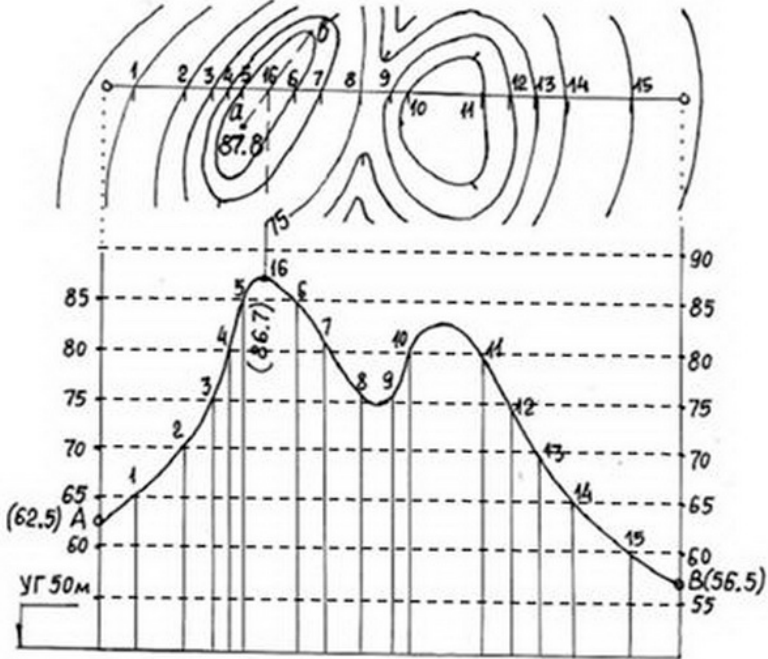


Рис. 108. Схема определения уклона линии

ЛЕКЦИЯ 12. Геодезические работы при изысканиях транспортных объектов

Практически любому строительству предшествуют *изыскания* - комплекс экономических, геодезических, геологических, гидрогеологических и других исследований участка предполагаемого строительства с целью получения данных, необходимых для решения задач проектирования, строительства и эксплуатации различных объектов.

Основная цель и задача *инженерных изысканий* – состоит в сборе и подготовке наиболее полной и точной информации об объекте строительства. Строительство любого капитального объекта неосуществимо без такого рода информации, и начинается именно с проведения *инженерных изысканий*.

От полноты и точности этих данных зависит качественный результат проектных работ. Поэтому совместная работа наших проектировщиков и изыскателей всегда дает положительный эффект.

Инженерные изыскания по направленности делятся на экономические и технические или инженерные. Экономические изыскания проводят для определения географического района размещения и экономической целесообразности строительства, реконструкции или расширения существующего объекта строительства. *Инженерные изыскания* заключаются во всестороннем изучении природных (естественных) условий района строительства, для рационального размещения зданий и сооружений на местности, а также для разработки проектных решений.

Инженерные изыскания, в зависимости от изучаемого фактора, подразделяются на следующие виды: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, инженерно-экологические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-геотехнические, почвенно-грунтовые.

Геодезические изыскания - позволяют определить пространственно-геометрические характеристики условий,

оказывающих влияние на проектирование, строительство и эксплуатацию инженерных сооружений.

Геологические изыскания - выяснение геологических условий, оказывающих влияние на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений.

Экологические изыскания - состоят в оценке возможного урона от воздействия возводимого сооружения на состояние окружающей среды.

Гидрометеорологические изыскания - исследование водного баланса речных систем, водных ресурсов и гидравлического режима рек, формирование русел, зимнего режима водоемов; определение уровней воды в реках, озерах, морях и водохранилищах; изучают влияние различных физических явлений и процессов, происходящих в атмосфере, на возведение и эксплуатацию инженерных сооружений, на их долговечность и надежность.

Геотехнические изыскания - изучение физико-механических свойств грунтов в специальных условиях.

Обследование грунтов - установление нагрузок на грунт от основания сооружения и заключение о совместной работе грунта и сооружения.

В результате инженерно-геодезических изысканий составляют топопланы и профили, создают на местности основу для выноса и разбивки проекта в натуре.

При геодезических изысканиях линейных сооружений (дорог, каналов, линий электропередач и т.д.) выполняют трассирование. Под *трассой* понимают ось линейного сооружения, обозначенная на плане, карте или закрепленная на местности. Трассирование бывает *камеральным* - проектирование трассы выполняется на планах или картах и *полевым* - положение трассы уточняется и закрепляется на местности.

Основными элементами трассы являются *план* – ее проекция на горизонтальную плоскость и *продольный профиль* – вертикальный разрез по проектируемой линии сооружения.

В плане трасса состоит из прямых участков разных направлений сопрягающихся между собой горизонтальными кривыми постоянного или переменного радиуса кривизны.

В продольном профиле трасса состоит из линий разного уклона, соединяющиеся между собой вертикальными круговыми кривыми.

К трассе предъявляют определенные требования, которые устанавливают в соответствии с техническими условиями на ее проектирование, например для дорожных трасс основные требования – это плавность и безопасность движения с расчетными скоростями, поэтому на них устанавливаются допустимые уклоны и минимально возможные радиусы кривых. На трубопроводах необходимо выдержать проектные уклоны при допустимых скоростях течения. Степень искривления трассы определяется значениями *углов поворота* (рис. 109).

Углом поворота трассы называется угол с вершиной, образованной продолжением направлений предыдущей стороны и направлением последующей стороны.

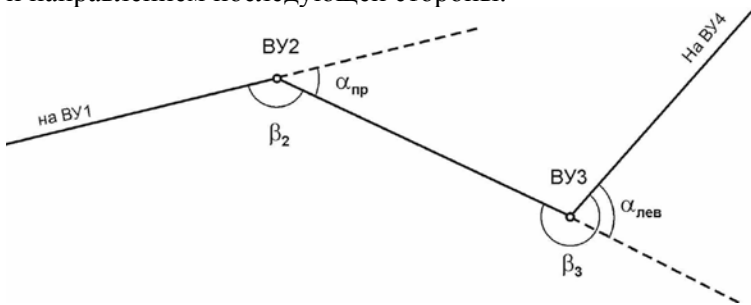


Рис. 109. Угол поворота трассы

Трасса представляет собой сплошную пространственную линию. В плане эта линия состоит из участков разного направления, соединенными между собой круговыми и переходными кривыми.

Основными элементами *круговой кривой* (рис 107) являются:

- тангенс **Т** – это часть касательной от вершины угла до

начала или до конца кривой;

- кривая (длина кривой) **К** - расстояние по кривой от НК до КК через СК;

- биссектриса **Б** - часть биссектрисы угла от вершины до середины кривой;

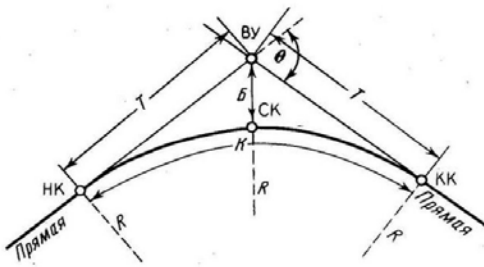
- домер **Д** - это величина, на которую кривая короче, чем два тангенса.

Для определения основных элементов кривых и разбивки кривых на местности можно использовать формулы:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}; K = \frac{\pi R}{180} \theta; B = R \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right); D = 2T - K \quad (92)$$

где R – радиус круговой кривой.

Основными точками круговой кривой являются: НК, СК и КК. Начало круговой кривой (НК) определяют на местности отложением величины тангенса T от вершины угла в сторону начала трассы, а при отложении тангенса по направлению трассы получим конец круговой кривой (КК). При отложении по биссектрисе измеренного угла величины B получим на местности середину круговой кривой (СК).



$$T = R \cdot \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}$$

$$K = \frac{\pi \cdot R}{180} \cdot \theta^\circ$$

$$B = R \cdot \left(\sec \frac{\theta}{2} - 1 \right)$$

$$D = 2 \cdot T - K$$

Рис. 110. Круговая кривая

К разбивке пикетажа приступают после закрепления трассы знаками и в необходимых случаях створными вехами. *Пикет* — это колышек, которым отмечают точку трассы.

Пикетаж разбивают обычно при помощи стальной ленты со шпильками. Горизонтальное проложение расстояния между

соседними пикетами обычно равно 100 м за пределами застроенной части территории, а в городах и на территории промышленных предприятий — 20, 25, 40 или 50 м. Вообще же это расстояние принимают в зависимости от того, насколько подробно необходимо изучить рельеф по трассе и изобразить его на продольном профиле трассы. *Нумерацию пикетных точек начинают* в начальной точке трассы с нуля ПК0 и продолжают ее до конца трассы.

Применяется также беспикетажное трассирование, причем отметки характерных точек трассы определяют обычно с помощью тахеометра, расстояние между точками определяют дальномером. В трудных природных условиях этот способ может иметь преимущества, хотя в каждом случае, очевидно, требуется подтверждение проектантов и строителей сооружения о возможности использования ими продольного профиля без пикетажа, т. е. с неравномерно расположенными вдоль трассы точками с известными отметками. Необходимая частота поперечников зависит от сложности форм рельефа в поперечном направлении к трассе, так как поперечники разбивают и нивелируют для освещения форм рельефа вправо и влево от трассы, в пределах принятой для данного сооружения ширины полосы съемки местности вдоль трассы. Ширина полосы съемки и длины поперечников на дорожных трассах обычно не менее 40 м (по 20 м в каждую сторону от трассы).

Трассирование в зависимости от стадии изысканий может быть камеральным или полевым.

Камеральное трассирование выполняют на стадии технического проекта с целью выбора основного направления и вариантов трассы. Для этого на топографической карте масштаба 1:500 000–1:100 000 (для трассы значительного протяжения) намечают начальный, конечный и промежуточный пункты. Получают так называемую воздушную линию, к которой стремятся приблизить проектируемую. Затем на картах масштаба 1:50 000 или 1:25 000 фиксируют и уточняют точки положения трассы, определяющие ее ось, при обходе или пересечении различного рода препятствий.

В зависимости от условий местности трассирование по топографической карте выполняют способом попыток или построением линии допустимого уклона.

Способ попыток применяют в условиях равнинной местности, положение трассы определяется, прежде всего, ситуацией, т.е. контурными препятствиями. В виду того, что средний уклон равнинного рельефа меньше допустимого в высотном отношении трассу намечают «вольным ходом», т.е. определяют проектную линию по характерным точкам местности вдоль намеченного направления. При этом в плане стремятся создать прямую трассу по заданному направлению. Тем не менее, в процессе трассирования обязательному обходу подлежат крупные населенные пункты, промышленные предприятия, аэродромы, заповедники и др., заставляющие отклонять трассу в ту или иную сторону. Происходит ее удлинение на каждом участке отклонения (рис. 111), которое может быть вычислено по формуле:

$$\Delta L = \frac{AC-AB}{AB} \quad (93)$$

$$AC = \frac{AB}{\cos \varphi}; \quad (94)$$

, где φ – угол отклонения трассы,

$$\text{тогда } \Delta L = \frac{1-\cos \varphi}{\cos \varphi} \quad (95)$$

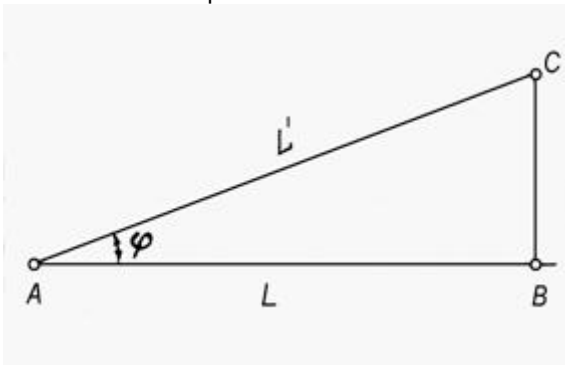


Рис. 111. Удлинение трассы

Для получения наиболее короткой трассы в равнинных районах придерживаются следующих правил:

1. Трассу прокладывают по прямой линии от одного контурного препятствия к другому. Необходимость в отклонениях от прямолинейного направления и назначение углов поворота должна быть обоснована.

2. Вершину углов поворота выбирают против середины препятствия с таким расчетом, чтобы трасса огибала это препятствие.

3. Углы поворота трассы выдерживают в пределах не более 25–30°, чтобы ее удлинение было минимальным.

Способ линии предельно допустимого уклона применяется в горных условиях и местности со сложным рельефом. В этом случае по карте выбранного масштаба 1:М и по высоте сечения рельефа h определяют величину заложения l для уклона i_{np}

$$l = \frac{h l}{i_{np} M} \quad (96)$$

По найденному значению l на карте, выделяют участки вольного и напряженного ходов. На участке вольного хода (уклон местности i_m меньше предельного i_{np}) трассу намечают по кратчайшему направлению. На участках напряженного хода (i_m больше i_{np}) трассу намечают по предельно допустимому уклону. Например, из начальной точки раствором циркуля, равным заложению l , засекают соседнюю горизонталь. Из полученной точки этим же раствором циркуля вновь засекают уже следующую горизонталь, получая следующую точку и т.д. При пересечении оврагов и рек (на этой стадии трассирования) сразу переходят на другую сторону, не принимая во внимание переходы. На участках, где расстояние между горизонталями больше заложения l , точки выбирают в необходимом направлении свободно. В результате на карте получают ломаную линию равных уклонов – линию нулевых работ, так как трассирование велось без учета насыпей и выемок. Линию нулевых работ заменяют участками более длинных прямых (спрямляют), вписывают кривые, разбивают пикеты, намечают

характерные точки рельефа (плюсовые точки). Спрямление трассы ведет к появлению земляных работ.

Для построения профиля спрямленной трассы (черного профиля) отметки пикетов и плюсовых точек определяют интерполированием по горизонталям. Затем, руководствуясь техническими нормативами, проектируют профиль дороги и получают «красный профиль».

В процессе камерального трассирования после измерений углов поворота и длин линий с разбивкой пикетажа по трассе автомобильной дороги составляют *ведомость углов поворота, прямых и кривых*. Форма ведомости приведена в таблице 10.1.

Ведомость углов поворота, прямых и кривых

Таблица 10.1

№ точки	Углы поворота		Основные элементы круговых кривых, м					Пикетажные значения		Расст. между верш. S, м	Прям. вставка П, м
	Пикетаж ВУ	θ	R	T	K	Б	Д	НК	КК		
А 1 N В											
Σ				ΣT	ΣK		$\Sigma Д$			ΣS	$\Sigma П$

Прямая вставка П равна разности пикетажа между началом последующей и концом предыдущей кривой.

В конце работы подсчитывают необходимые суммы и выполняют контроль вычислений, используя формулы:

$$2\sum T - \sum K = \sum D \quad (97)$$

$$L_{\text{тр}} = \sum \Pi + \sum K = \sum S - \sum D \quad (98)$$

При строительстве современных автомобильных дорог и других линейных сооружений основным принципом трассирования является обеспечение плавности трассы. Плавность подразумевает постепенное изменение кривизны трассы без резких переходов. Горизонтальная кривая малого радиуса (до 2000 м) после длинной прямой нарушает плавность трассы и вызывает необходимость резкого снижения скорости.

Высокая плавность трассы обеспечивается при сопряжении круговой кривой с прямолинейным отрезком специальной *переходной кривой*, называемой клотоидой.

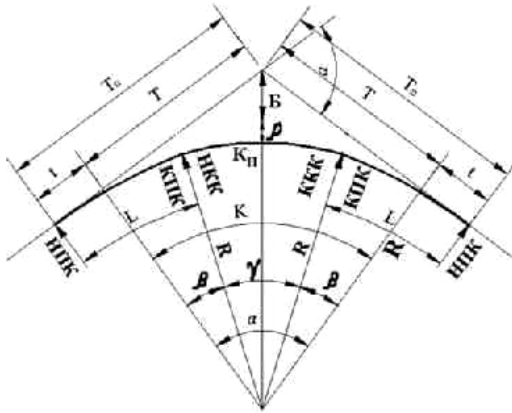
Клотоида – это кривая, у которой радиус кривизны R плавно убывает, начиная от бесконечности на прямолинейном участке. Переходные кривые устраиваются между прямой и круговой кривой.

Наличие переходной кривой на дороге заменяет удар по степенным увеличением давления колес автомобиля на покрытие которое в свою очередь локализуется устройством постепенного отгона виража на переходной кривой и полного виража на круговой кривой.

Устройство переходных кривых предусматривает в плане при радиусах в плане 2000 м и менее, а подъездных дорогах всех категорий 400 м и менее.

Переходная кривая используется для устройства:

- отвода возвышения наружной рельсовой нити;
- отвода уширения ширины колеи;
- отвода уширения междупутного расстояния.



Переходные кривые учитывают путем введения добавочных значений t по линии тангенсов и по линии биссектрисы p .

$$T_{\text{полн}} = T + t,$$

$$K_{\text{полн}} = K + L,$$

$$B_{\text{полн}} = B + p,$$

$$D_{\text{полн}} = 2T_{\text{полн}} - K_{\text{полн}},$$

$$K_0 = K_{\text{полн}} - 2L,$$

$$t = L - R \sin \beta_L,$$

$$p = \frac{L^2}{24R} - \frac{L^4}{2688R^3},$$

$$\beta_L = \frac{180^\circ L}{2\pi R}.$$

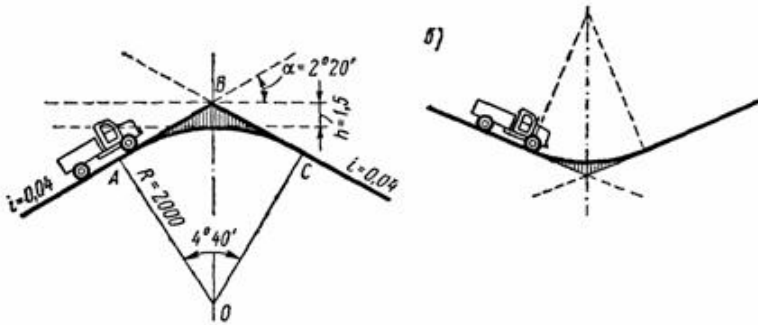
Переходные кривые учитывают путем введения добавочных значений t по линии тангенсов и по линии биссектрисы p .

Рис. 112. Переходные кривые

Для обеспечения безопасности движения в выпуклые переломы продольного профиля вписывают *вертикальные кривые*, снижающие высотные отметки переломных точек. При таком методе проектирования достигается также плавность движения автомобиля и смягчение толчков, вызываемых ударом колес при резком изменении положения продольной оси автомобиля; поэтому вертикальные кривые вписывают и в вогнутые переломы профиля, хотя видимость дороги в данном случае обеспечена.

Для проектирования вертикальных кривых на продольном профиле рекомендуется применять возможно большие радиусы. Чтобы избежать излишних земляных работ,

радиус вертикальных кривых следует увязывать с очертанием элементов рельефа местности.



Полевое трассирование производится на окончательной стадии проектирования линейных сооружений и представляет собой перенос запроектированной трассы на местность с уточнением ее изменения и закрепление в натуре. Включает в себя следующие виды работ:

- вынесение проекта трассы в натуру;
- определение углов поворота;
- линейные измерения и разбивка пикетажа с ведением пикетажного журнала;
- разбивка кривых (круговых, переходных, вертикальных), нивелирование трассы;
- закрепление трассы.
- привязка трассы к пунктам геодезической основы.
- съемочные работы;
- обработка полевого материала, составление плана трассы, продольного и поперечных профилей.

Вынесение проекта в натуру. Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносится на местность по данным привязки углов поворота к пунктам геодезической основы или к ближайшим четким контурам местности.

На данном этапе работу начинают с тщательной рекогносцировки местности и выявления вблизи трассы геодезических пунктов или точек четких контуров.

Трасса определяется на местности положением её главных точек (рис.113): 1) начало и конец кривой (НК и КК); 2) вершин углов поворота (ВУ); 3) середина кривой (СК); 4) точки пересечения с осями сооружений. Эти точки на местности закрепляются знаками. Тип знака зависит от необходимого срока сохранности их на местности. Створные точки закрепляют вехами.

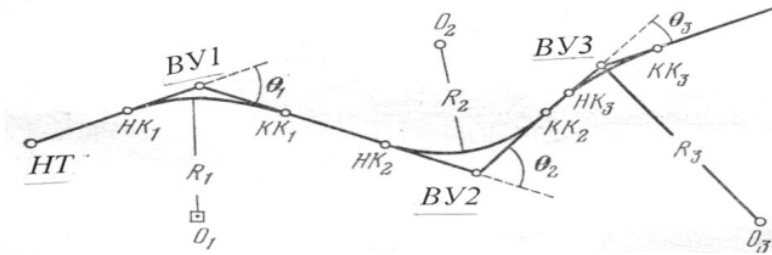


Рис. 113. Разбивка главных точек кривых

Сначала определяется местоположение соседних углов поворота по данным их привязки, а затем в створе этого направления устанавливается ряд вех и обследуется намеченное направление.

В зависимости от того, как трасса пересекает водотоки, овраги, существующие магистрали и другие препятствия, иногда приходится смещать провешенную линию или передвигать углы поворота. Так поступают для того, чтобы более удобно разместить элементы плана и профиля трассы и обеспечить минимальный объем земляных работ.

Окончательное положение углов поворота закрепляют.

Могут возникнуть случаи, когда между углами поворота нет видимости, тогда направление трассы определяется одним из способов:

а) если вблизи трассы имеется исходный геодезический пункт, то трассу задают от направления с вершины угла поворота на этот пункт;

б) в вершине угла поворота определяют азимут направления на хорошо видимый земной предмет (астрономическим способом или гиротеодолитом) и от этого направления задают трассу по ее дирекционному углу;

в) направление трассы может задаваться по магнитному азимуту линии.

Измерение углов поворота. При трассировании измеряют правые по ходу углы одним приемом с точностью 0,5, то есть теодолитом типа Т30.

Угол поворота θ образуется продолжением предыдущего и нового направлений трассы. В зависимости от положения угла относительно продолжения предыдущего направления трассы различают угол поворота вправо Уг. п. п. (рис. 114, а) и угол поворота влево Уг. п. л. (рис. 114, б). Для контроля угловых измерений одновременно определяют по буссоли магнитные азимуты сторон трассы.

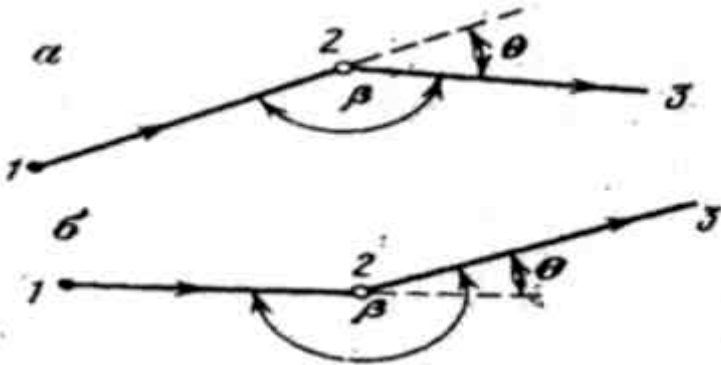


Рис. 114. Углы поворота

Формулы для определения углов поворота:

$$\theta_{\text{пр}} = 180 - \beta \quad (99)$$

$$\theta_{\text{лев}} = \beta - 180 \quad (100)$$

Если расстояние между соседними вершинами гораздо больше 500 м, то устанавливаются створные точки, которые разбиваются при вешении линии через 100 метров.

Проверку правильности положения створной точки осуществляют отложением угла 180° при КЛ и КП теодолита.

Разбивка пикетажа. При трассировании выполняется два вида линейных измерений:

1) измерение расстояний вместе с углами, по результатам измерений которых вычисляются координаты углов поворота.

Если углы наклона по трассе $> 2^\circ$, то необходимо измерять вертикальные углы и вводить поправки за наклон в измеренное расстояние (знак поправки «-»).

Расстояния измеряют с точностью $1 / 1000 - 1 / 2000$ в зависимости от условий местности с помощью светодальномеров, мерными приборами (рулеткой и т. п.) или по дальномерным нитям теодолита.

2) измерение расстояний с целью разбивки пикетажа, элементов кривых, профилей, а также для промеров до точек ситуации, расположенных вблизи трассы.

Кроме целых пикетов, по трассе разбивают характерные или плюсовые(контурные) точки.

К *характерным* точкам можно отнести рельефные точки - характерные перегибы рельефа (определяются с точностью до 1 м), и *контурные* точки - это точки пересечения трассой сооружений, водотоков, границ угодий (определяются с точностью до 1 см).

Начало трассы принимают за нулевой пикет (пк 0). В процессе разбивки пикетажа вводят поправки за наклон местности, но со знаком «+». пикетажа производят с помощью 50-ти метровой ленты или рулетки.

Вместо введения поправки за наклон при разбивке пикетажа можно применять *ватерпасовку*, которая выполняется следующим образом: измерительный прибор укладывается примерно горизонтально, а приподнятый конец мерного прибора проецируется на землю с помощью нитяного отвеса. Мерный прибор следует поддерживать в середине, чтобы избежать провисания.

Первоначально пикеты на трассу наносят камерально, и тогда, в случае необходимости для уточнения их местоположения, можно произвести разбивку пикетов от ближайших характерных точек.

Разбивка пикетажа производится дважды: *первый раз* - при выносе на местность кривых и разбивке пикетажа, и *второй раз* - в строительный период при восстановлении трассы.

Вычисление *пикетажных значений главных точек кривых* начинают с вычисления пикетажа вершин углов поворота (ПК ВУ):

$$ПКВУ1 = \frac{S_{A1}}{100} = \frac{421,65}{100} = ПК4 + 21,6;$$

$$ПКВУ2 = \frac{S_{A1} + S_{12} - D_1}{100} \text{ и т. д.}$$

Затем вычисляют пикетажные значения начала, середины и конца кривой.

Основные формулы:

$$ПК НК = ПК ВУ - T \quad (101)$$

$$ПК СК = ПК НК + \frac{1}{2} K \quad (102)$$

$$ПК КК = ПК НК + K \quad (103)$$

Контрольные формулы:

$$ПК СК = ПК КК + \frac{1}{2} K \quad (104)$$

$$ПК КК = ПК ВУ + T - D \quad (105)$$

Начало кривой на местности можно найти либо путем отложения от ближайшего закрепленного пикета расстояния, вычисленного по пикетажу, либо путем отложения от ВУ в обратном направлении величины тангенса T .

Середину кривой находят на местности, откладывая расстояние, равное биссектрисе B по направлению половины угла хода.

При разбивке на местности конца круговой кривой от вершины угла в сторону продолжения трассы откладывают величину домера D и, считая, что конец домера имеет пикетажное значение вершины угла, продолжают дальнейшую разбивку целых пикетов. В этом случае местоположение конца круговой кривой (КК) определяют от ближайшего пикета или

отложив от вершины угла по направлению трассы величину тангенса T . При разбивке пикетажа мерной лентой должна быть обеспечена предельная относительная ошибка измерений:

- для равнинной местности - 1:1000,
- для горной местности - 1:500 .

Для более полной характеристики местности разбивают поперечные профили в обе стороны от трассы на расстоянии 15 - 30 метров и более.

Поперечные профили разбивают на таком расстоянии друг от друга, чтобы местность между ними имела однообразный уклон. Если уклон более чем $0,2(200\%) \approx 11^\circ$, то в этом случае продольные профили разбивают на всех пикетажных и всех плюсовых точках.

При *вынесении на местность круговых кривых* необходимо всю длину кривой разбить на равные отрезки такой длины, чтобы можно было принять дугу за кривую. Чем больше радиус R круговой кривой, тем больше интервал разбивки. При $R \geq 500$ интервал разбивки k равен 20 м, при $100 < R < 500$ - 10 м, при $R < 100$ м - 5 м.

Существует ряд способов детальной разбивки кривых. Наиболее распространенными из них являются способ прямоугольных координат, углов (или полярных координат), продолженных хорд, хорд (секущих), вписанного многоугольника. Точность детальной разбивки кривых зависит от точности выполнения элементарных разбивочных операций, таких, как построение проектных углов и расстояний.

Способ прямоугольных координат (рис. 115). В этом способе положение точек 1, 2, 3, ... на кривой через равные промежутки k определяется прямоугольными координатами $x_1, y_1, x_2, y_2, \dots$, при этом за ось абсцисс принимают линию тангенса, а за начало координат - начало (НК) и конец кривой (КК).

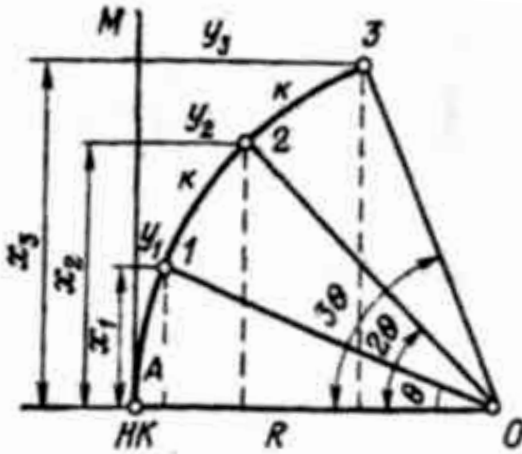


Рис. 115. Схема разбивки кривой способом прямоугольных координат.

Основные формулы:

$$X_1 = R \sin \Theta \quad (106)$$

$$Y_1 = R (1 - \cos \Theta) = 2 \sin^2 \frac{\Theta}{2} \quad (107)$$

$$\text{где угол } \Theta = \frac{180 \kappa}{\pi R} \quad (108)$$

Кривая по тангенсу в сторону вершины угла откладывается соответствующая вычисленная абсцисса x . В конце отложенного расстояния строится угол, равный 90° , и по полученному направлению откладывается ордината y . В данном способе разбивка ведется и от начала и конца кривой к середине, что повышает точность разбивки.

Способ прямоугольных координат применяется при выносе пикетов на кривую, при выполнении съемочных и разбивочных работ.

Достоинство способа заключается в том, что каждая точка кривой определяется независимыми промерами и при переходе от одной определяемой точки к другой погрешности не накапливаются.

Способ углов. В этом способе (рис. 116) используется математическое положение, что углы с вершиной в какой-либо точке круговой кривой, образованные касательной и секущей и заключающие одинаковые дуги, равны половине соответствующего угла.

Основная формула:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{b}{2R} \quad (109)$$

где b - длина хорды.

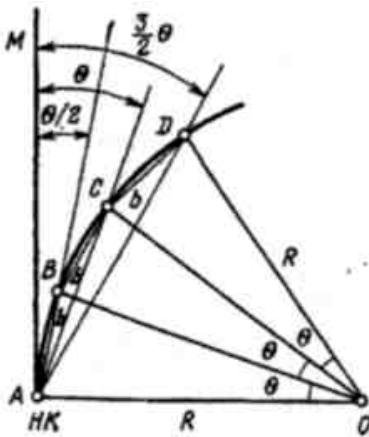


Рис. 116. Схема разбивки кривой способом углов

Разбивку кривой осуществляют следующим образом. В начале кривой устанавливают теодолит и от линии тангенса задают угол, $\frac{\theta}{2}$ равный расстояние b , откладывая вдоль полученного направления длину хорды, равную шагу разбивки (5, 10, 20 м). Найденную точку закрепляют. От того же направления теодолитом строят второй угол равный θ . От точки B откладывают следующую длину хорды b так, чтобы ее конец лежал в коллимационной плоскости теодолита, фиксируя на местности точку C кривой и т. д. Недостаток способа заключается в том, что каждая последующая точка определяется

относительно предыдущей и с возрастанием длины кривой точность детальной разбивки быстро падает.

Способ продолженных хорд. Разбивку кривой этим способом (рис. 117.) ведут без теодолита. В основу положен способ линейных засечек. По радиусу R и принятой длине хорды находят отрезки d и y , называемые промежуточным и крайним перемещением.

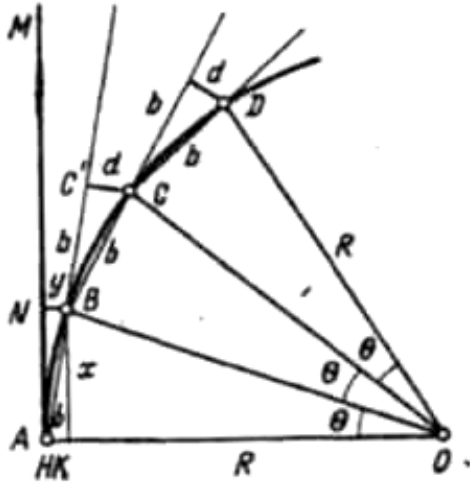


Рис. 117. Схема разбивки кривой способом продолженных хорд

Разбивку кривой этим способом ведут без теодолита. В основу положен способ линейных засечек. По радиусу R и принятой длине хорды находят отрезки d и y , называемые промежуточным и крайним перемещением. Положение первой разбивочной точки B можно определить способом прямоугольных координат или с отрезка тангенса $AN = b$ линейной засечкой радиусами-векторами $AB = b$ и $NB = y$. Закрепив точку B , на продолжении створа AB откладывают длину хорды b и отрезками $C'C = d$ и $BC = b$ засекают на кривой точку C и т. д.

Основные формулы:

$$y = b^2 / 2R; \quad (110)$$

$$d = 2y = b^2 / R, \quad (111)$$

где b - длина хорды.

Точность данного способа невысока, его используют при разбивке коротких кривых. Недостаток способа тот же, что и у предыдущего. При. меняется этот способ в стесненных условиях (в насыпи, выемке, в шахте) при невысокой точности разбивки.

Способ хорд (секущих). В этом способе (рис. 118) точки кривой разбивают от хорды по прямоугольным координатам. Длину хорды выбирают большой (100 м и более), но с учетом, чтобы максимальная длина ординаты не превышала 2 - 3 м. В этом случае точность способа высока. Направление первой хорды задают теодолитом из начальной точки кривой под углом к тангенсу, равным $\frac{\varphi}{2}$

Этот угол можно вычислить или найти по таблицам Митина для радиуса кривой и принятого шага разбивки. В этих же таблицах находят величины K - x и y для детальной разбивки участка кривой AB от хорды.

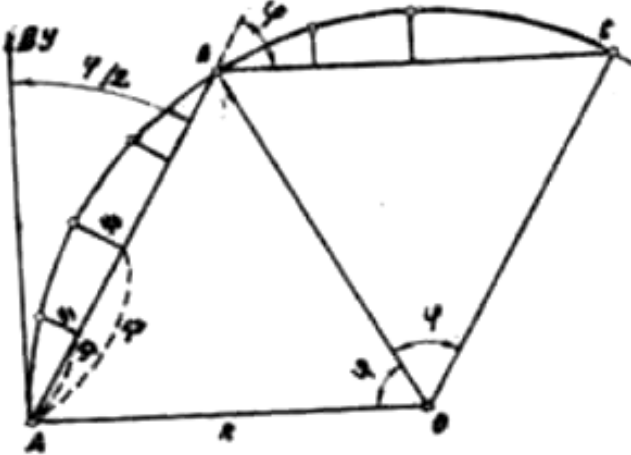


Рис. 118. Схема разбивки кривой способом хорд

Основная формула:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \frac{b}{2R}, \quad (112)$$

где b – длина хода.

Разбиваемые точки получают на местности отложением расстояний x по хорде, а расстояний y по перпендикулярам к хорде. Абсциссы принимают равными: $x_1 = 20$ м, $x_2 = 40$ м и далее 60, 80, 100 м.

Теодолит переносят в точку B , и от направления AB откладывают угол φ , задавая направление второй хорды, от которой разбивают новый участок кривой.

Наряду со способом прямоугольных координат способ хорд является наиболее точным и применяется в стесненных условиях (в тоннелях, на дамбах и т. д.).

Способ вписанного многоугольника. Точки на кривой через равные промежутки определяются путем последовательного отложения хорды l и угла между соседними хордами β_2

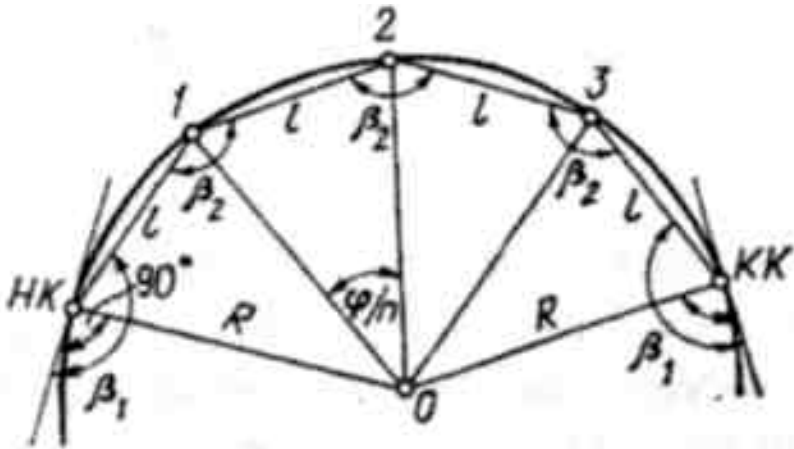


Рис. 119. Схема разбивки кривой вписанного многоугольника

Местоположение точки 1 на кривой определяют способом прямоугольных координат или углов. В ней устанавливают теодолит и строят угол, равный β_2 . Вдоль направления НК-1 откладывают хорду l , определяя на кривой точку 2, в которую переносят теодолит.

В точке 2 производят такие же построения. В данном способе часть точек разбивают от начала кривой, остальные от конца, что позволяет повысить точность.

Основные формулы:

$$l = 2R \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \quad (113)$$

$$\beta_2 = 180^\circ - \varphi, \quad (114)$$

$$\text{где } \sin \frac{\varphi}{2} = k/2R. \quad (115)$$

Благодаря высокой точности линейных и угловых измерений способ разбивки кривых используется в тоннелестроении, а также для выноса в натуру осей сооружений, имеющих в сечении окружность или многоугольник.

Одновременно с разбивкой пикетажа ведется *пикетажный журнал* - это тетрадь в клетку. Посередине страницы вертикальной линией показывается ось трассы (Рис. 120). На оси, в некотором масштабе (1 клетка - 20 метров), снизу вверх наносят все пикетные и плюсовые точки, вершины углов поворота, поперечные профили, границы препятствий и ситуации приблизительно на 50 м от оси.

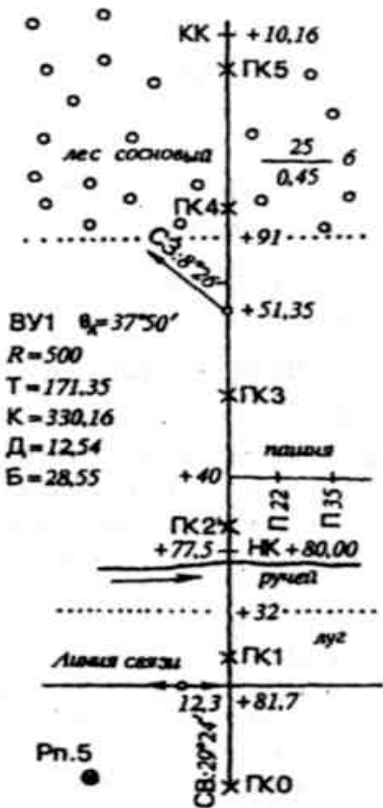


Рис. 120. Схема пикетажного журнала

В горных районах или населенных пунктах можно вместо пикетажного журнала составлять абрис. В этом случае не вытягивают ось трассы в прямую линию, а изображают ее ломаной. Стараются показать ось трассы в соответствии с расположением на местности, и относительно ее показывают ситуацию.

Трасса должна быть надежно закреплена на местности, чтобы ее легко можно было найти и восстановить перед строительством. Все опорные пункты трассы, фиксированные точки, вершины углов поворота, створные точки, места перехода через крупные препятствия закрепляют деревянными

или железобетонными столбами и составляют абрис их привязки к местным предметам. Пикеты и плюсовые точки достаточно закрепить колышками со сторожками. Разбивка пикетажа работа трудоемкая и ответственная, поскольку именно к пикетажу привязывают все инженерно-геологические выработки по трассе, точки геофизической разведки и створы гидрометрических измерений.

По пикетажным точкам и поперечным профилям, а также по установленным вдоль трассы постоянным и временным реперам производят техническое нивелирование.

Постоянные реперы устанавливают при закреплении трассы через каждые 20 - 30 км, а также в местах пересечения трассы существующих магистралей, вблизи переходов через крупные реки и горные препятствия, в населенных пунктах, на площадках станций. Дополнительно устанавливают временные реперы на расстоянии 2 - 3 км друг от друга, их закрепляют деревянными столбами. Все реперы должны располагаться вне зоны земляных работ. На каждый из них составляют абрис с привязкой пикетажу трассы и к местным предметам.

Техническое нивелирование производят в два нивелира, то есть двумя бригадами. Первым прибором нивелируют пикетажные и плюсовые точки, геологические выработки, временные и постоянные реперы. Вторым нивелируют только реперы, связующие точки, а также поперечные профили. Километровые пикеты и реперы обязательно нивелируют как связующие точки обоими приборами.

Одинокое нивелирование вдоль трассы разрешается при длине трассы не более 50 километров. При нивелировании соблюдаются следующие требования:

- расстояние от нивелира до рейки 100 - 150 метров (при благоприятных условиях может быть до 200 метров);
- нивелирование выполняется по двухсторонним рейкам;
- если нивелирование ведется по связующим точкам через два пикета, то остальные пикеты определяются как промежуточные при одном взгляде на рейку (вычисление отметок этих точек ведется через горизонт инструмента).

Точность технического нивелирования по основной магистрали характеризуется невязкой замкнутого полигона или одиночного хода между исходными пунктами, равной $f_{\text{пред}} = 50 \text{ мм} \sqrt{L_{\text{км}}}$ и расхождением между суммами превышений, полученными из первого и второго нивелирования, которое не должно превосходить $\Delta h_{\text{пред}} = 50 \sqrt{L} \cdot \sqrt{2} \approx 70 \text{ мм} \sqrt{L_{\text{км}}}$.

Камеральные работы при обработке результатов технического нивелирования выполняются обычно в следующей последовательности.

1. *Проверка записей полевых отсчетов в журнале.* Отсчеты должны быть записаны в виде четырехзначных цифр и соответствовать наименованию точки и ее положению на местности. Разность отсчетов по красной и черной сторонам рейки на связующих точках не должна отличаться от стандартной разности пятков рейки (4783 или 4683) не более +3 мм.

2. *Вычисление превышений между связующими точками*

$$h_{\text{ч}} = \text{Зч} - \text{Пч}, \quad h_{\text{к}} = \text{Зк} - \text{Пк}. \quad (116)$$

Контролем работы на станции является $h_{\text{ч}} - h_{\text{к}} \leq 4 \text{ мм}$.

$$\text{Тогда, } h_{\text{ср}} = (h_{\text{ч}} + h_{\text{к}}) / 2 \quad (117)$$

С округлением по Гауссу до целых мм.

Например, 0546.5 округляют до 0546, а 0547.5 округляют до 0548 мм.

Выполняют постраничный контроль

$$(\Sigma \text{З} - \Sigma \text{П}) / 2 = \Sigma h_{\text{ср}},$$

где $\Sigma \text{З}$ и $\Sigma \text{П}$ - суммы задних и передних отсчетов по рейке.

Уравнивают превышение в нивелирном журнале:

а) находят невязку $f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_{\text{к}} - H_{\text{н}})$;

б) оценивают невязку $f_h < f_h \text{ доп}^*(30 \text{ мм} \sqrt{L})$;

в) вводят поправки $\delta_i = -f_h / n$;

г) выполняют контроль $\Sigma \delta_i = -f_h$

Вычисляют высоты связующих точек

$$H_{i+1} = H_i + h_{\text{испр}} \quad (118)$$

Для тех станций, где имеются промежуточные точки, определяют горизонт прибора, от которого вычисляют отсчет по рейке и получают ее высоту.

$$\Gamma\Pi = H_{\text{ПК}1} + \text{З}_{\text{ч}} \quad \Gamma\Pi = H_{\text{ПК}2} + \text{П}_{\text{ч}}. \quad (119)$$

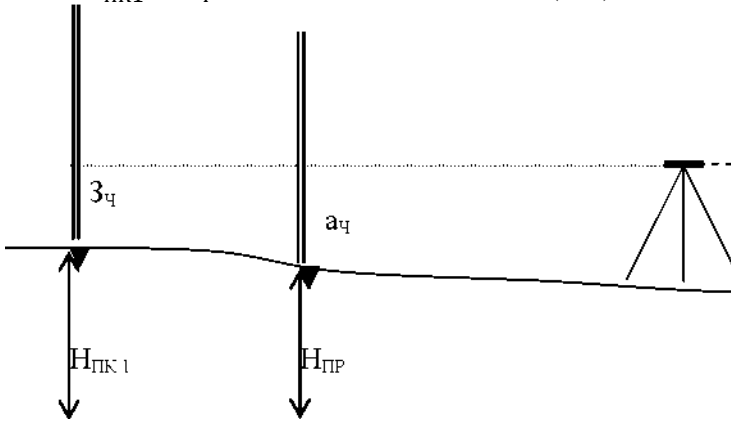


Рис.121. Определение высот промежуточных точек

Продольный профиль строится по всей трассе на миллиметровой бумаге. Масштаб горизонтальный 1:10000, масштаб вертикальный 1:1000 (или крупнее).

Составление начинают с вычерчивания сетки профиля согласно установленному образцу для данного вида сооружений.

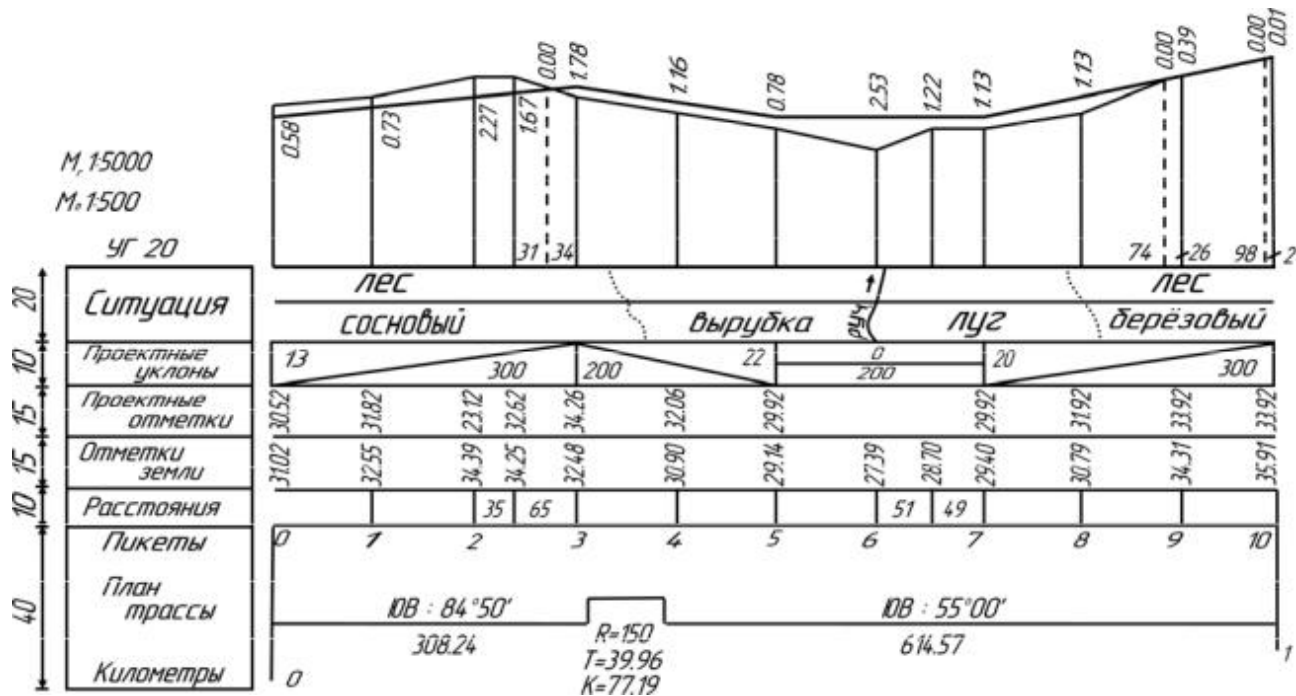


Рис. 122. Продольный профиль трассы

Первой заполняют графу “Расстояния”. В ней вертикальными отрезками обозначают пикеты, а их номера подписывают ниже. Между пикетами отмечают плюсовые точки и подписывают расстояния между ними (заполняется черным цветом).

В графу “Отметки земли по оси дороги” заносят отметки земли (фактические отметки) пикетов и плюсовых точек, которые определяют по карте путем интерполирования по горизонталям с точностью до 0,01 м (заполняется черным цветом).

В графе “Пикеты, Кривые, Километры” показывают условный план трассы. Начало и конец каждой кривой отмечают вертикальной чертой по их пикетажным значениям. Кривые участки изображают условными дугами, выпуклостью вниз при повороте трассы влево и выпуклостью вверх при повороте вправо, здесь же указывают значения θ , R и K . Для прямых вставок указывают их длину и азимут (румб).

Посередине графы “Развёрнутый план трассы” горизонтальной линией отображают трассу, а вершины углов поворота отмечают стрелками. Затем сюда же переносят ситуацию вдоль трассы с топографической карты (заполняется черным цветом).

При построении профиля земли на вертикалях (пикеты, плюсовые точки) отмечают точки, соответствующие отметкам земли в принятом вертикальном масштабе. Отметку условного горизонта (линии AB) выбирают так, чтобы линия профиля размещалась выше ее на 5 - 10 см.

При выборе проектного профиля линейного сооружения руководствуются определенными техническими условиями. Например, если проектный продольный профиль автомобильной дороги должен проходить через заданные точки в местах примыкания к существующим дорогам, мостам, то должна предусматриваться насыпь для предотвращения дороги от затопления на низменных участках и снеговых заносов на других участках. При резко пересеченном рельефе линию проектного продольного профиля предусматривают в выемках на местах возвышений и на насыпях над понижениями земной

поверхности, при этом стремятся к минимальным объемам работ по выемке грунта и строительству насыпей.

Нанесение на профиль проектной линии начинают от ПК0 с заданной отметкой. Для этого намечают конечную точку участка с постоянным уклоном. В графе “Уклоны и вертикальные кривые” вертикальными отрезками отмечают начало и конец каждого участка постоянного уклона, а диагональю - направление уклона (заполняется красным цветом). Под диагональю указывают длину участка, а над ней - окончательный уклон.

Предварительный уклон подсчитывают по формуле

$$i' = \frac{(H'_k - H_H)}{s}, \quad (120)$$

полученное значение уклона округляют до целых промилле и записывают в графу 2. Окончательная (проектная) отметка конца участка вычисляется по формуле

$$H_K = H_H + i \cdot s, \quad (121)$$

а проектные отметки промежуточных точек данного участка - по формуле

$$H_i = H_H + i \cdot s_i. \quad (122)$$

Вычисленные проектные отметки заносят в графу 3 продольного профиля (красным цветом).

Далее вычисляют рабочие отметки как разности проектных отметок и отметок земли для каждой точки трассы. Над линией проектного профиля записывают положительные рабочие отметки (высоты насыпи), под линией профиля - отрицательные (глубины выемки), но без знака минус.

Точки нулевых работ находятся в местах, где проектный профиль пересекается с линией земли. Их рабочие отметки равны нулю. Местоположение точек нулевых работ прочерчивают вертикальными штриховыми линиями. Для них вычисляют расстояния до ближайших пикетных или плюсовых точек и записывают синим цветом. Отметки точек нулевых работ определяют по формуле вычисления проектных отметок промежуточных точек.

Построение на профиле переходных и вертикальных кривых не предусматривается.

Решение инженерно-геодезических задач на сложных участках трассы.

Нивелирование *через реки шириной* до 100 м производят по общим правилам. При ширине реки от 100 до 300 м на обоих берегах реки, примерно на одной высоте над горизонтом воды, забивают два кола 1 и 2 (рисунок 120) и около них выбирают станции I_1 и I_2 так, чтобы $I_1 1 = I_2 2 \approx 10$ м и $I_1 2 = I_2 1$. Установив тщательно выверенный нивелир в точке I_1 , делают отсчеты сначала по обеим сторонам рейки на точке 1, а затем по обеим сторонам рейки в точке 2. После этого, не меняя фокусировку трубы, перевозят нивелир через реку и устанавливают его в точке I_2 . Делают отсчеты по рейке на точке 1, а затем, изменив фокусировку трубы, по рейке на точке 2. Вычислив два раза превышение точки 2 над точкой 1, за окончательный результат принимают среднее. Для получения наилучших результатов наблюдения следует производить в период спокойных изображений. Каждый раз отсчеты рекомендуется брать по трем горизонтальным нитям.

Если ширина реки более 300 метров и взять отсчеты непосредственно по рейке из-за больших расстояний нельзя, то применяют специальные щитки, передвигаемые речником вдоль реек по указанию наблюдателя до совмещения с проекцией нити. Отсчет по щитку-марке делает помощник наблюдателя или речник.

Зимой нивелирование через широкие реки может быть произведено по льду. Нивелир и рейки при этом устанавливают на специально замороженные в лед колья. Нивелирование по льду нужно выполнять в возможно кратчайший срок, так как лед нельзя считать неподвижным.

На прямых участках реки разность отметок уровня воды у противоположных берегов бывает, невелика (до ± 30 см), что можно использовать для приближенной передачи отметок через широкие водоемы.

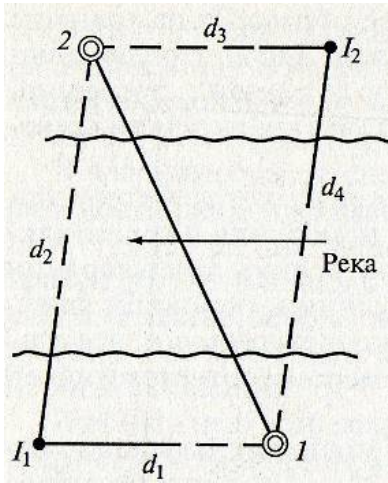


рис 123. Нивелирование через реки

Широкие и глубокие *овраги* нивелируют в два приема: сначала определяют превышение между точками, установленными на его берегах, по правилам передачи высот через реки, а затем нивелируют овраг между точками на его берегах.

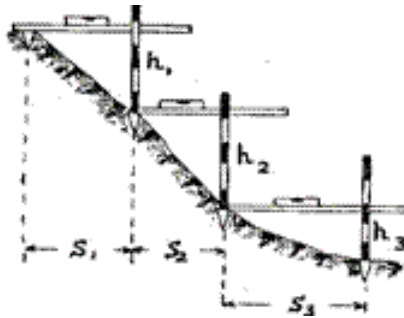


Рис. 124. Нивелирование склонов и оврагов

Нивелирование *склонов* и *дна оврага* можно произвести при помощи нивелира. Характерной особенностью здесь будут небольшие расстояния между связующими точками, что заставляет выбирать станции на 10–15 м в стороне от трассы.

Нивелирование крутых склонов оврага можно произвести также ватерпасовкой при помощи двух реек, одна из которых должна быть снабжена цилиндрическим уровнем, а другая круглым. Сущность этого способа нивелирования понятна из рисунка 124.

При нивелировании заболоченных участков для установки нивелира и реек забиваются колья до твердого грунта (рисунок 125). В этом случае наиболее точные результаты дает применение самоустанавливающихся нивелиров с компенсатором.

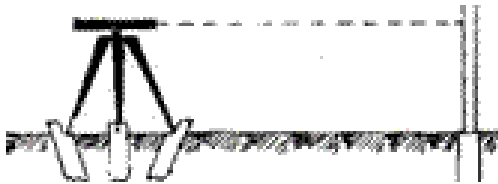


Рис 125. Нивелирование заболоченных участков

При нивелировании *крутых скатов* приходится уменьшать расстояния между связующими точками, так как при нормальных расстояниях бывает невозможно выполнить отсчеты по установленным в этих точках рейкам: визирный луч проходит либо над рейкой, либо под ней. Если такой случай произойдет при нивелировании линии с разбитым пикетажем, то в качестве связующих точек используют не пикеты, а плюсы. Если же плюсов нет, то выбирают дополнительную точку, называемую *иксовой*, или просто *иксом*, так как расстояние до нее не измеряется и потому неизвестно.

При пользовании *иксовыми* точками устанавливают нивелир так, чтобы выполнить по задней рейке возможно больший отсчет; переднего же реечника посылают вперед до тех пор, пока по установленной им рейке не будет выполнен отсчет порядка 300 мм. Иксовая точка служит лишь для передачи высот по ходу, поэтому она может быть выбрана где угодно – не только на оси нивелирования, но и в стороне от нее (рис. 126).

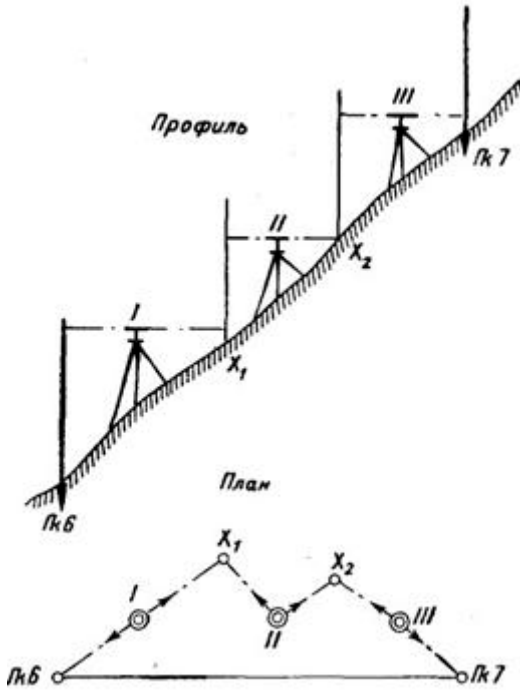


Рис.126. Нивелирование крутого ската.

Для установки рейки в иксовой точке забивают кол. Скатy иногда бывают столь крутыми, что иксовые точки приходится выбирать близко друг от друга. Чтобы иметь возможность выполнить отсчеты по установленным в них рейкам, нивелир ставят в стороне от оси нивелирования примерно на одинаковых расстояниях от связующих точек.

На очень крутых скатах установить нивелир невозможно. В таком случае пользуются упрощенным приемом нивелирования, называемым *ватерпасовкой* (от английских слов *water* — вода и *poise* — равновесие). Ватерпасовка производится ватерпасом, в простейшем случае (рис. 127) состоящим из трех линеек длиной 40 – 50 см, образующих треугольник.

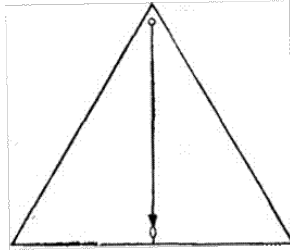


Рис 127. Ватерпас с отвесом.

В одном углу треугольника имеется крючок, на котором подвешен отвес на нити. На линейке против крючка с отвесом нанесены деления. При установке линейки с делениями в горизонтальное положение острие отвеса должно находиться точно против середины разделенной шкалы. При работе линейка с делениями накладывается на горизонтальный брусок.

Более удобен ватерпас с уровнем (рис. 128). Частями этого ватерпаса являются: уровень, легкий брусок длиной 2 – 3 м, толщиной 3 – 4 см и шириной 5 – 10 см и рейка с сантиметровыми делениями, устанавливаемая во время работы вертикально.

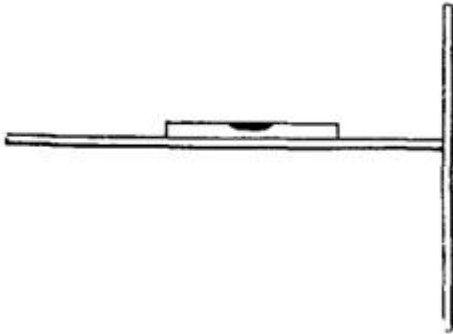
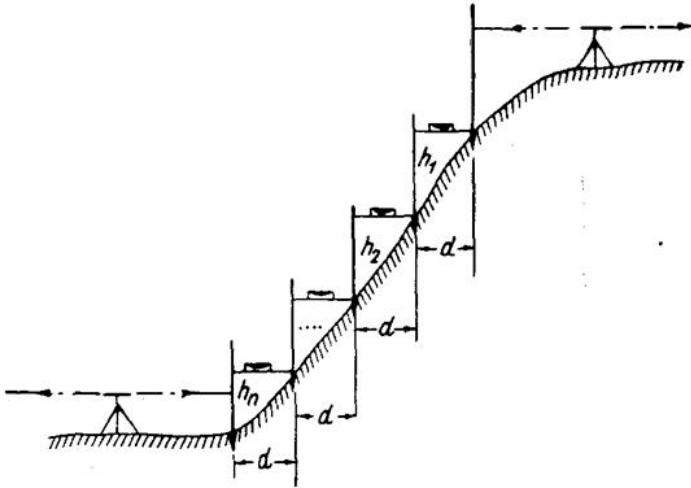


Рис. 128. Ватерпас с уровнем.

Порядок ватерпасовки. Между точками, разность высот которых должна быть определена, забивают кольца на расстояниях, равных длине горизонтального бруска. Затем на нижний кольешек ставят рейку, а на верхний укладывают конец бруска с привязанным к нему уровнем. Второй конец бруска

приподнимают до тех пор, пока пузырек уровня не окажется в нуль-пункте. После этого по рейке определяют деление, против которого находится нижняя грань бруска. Отсчет выполняют с точностью до 0,2 см. Для контроля накладывают на верхний колышек поочередно оба конца бруска. За окончательное значение отсчета принимают среднее арифметическое из отсчетов, выполненных при двух положениях бруска.



129. Ватерпасовка.

Рис.

ЛЕКЦИЯ 13. Исполнительные съемки автодорог, подземных коммуникаций и скрытых работ, отдельных элементов сооружений. Документация.

Исполнительной называют инженерно-геодезическую съемку строящихся или законченных строительных объектов с целью определения фактического положения в плане и по высоте элементов сооружений и линий коммуникаций, а также для выявления всех отклонений от проекта.

Исполнительные геодезические съемки выполняют учреждения, осуществляющие строительные-монтажные работы. При возведении особо сложных объектов съемки могут выполняться с привлечением специализированных организаций. Места, точки, параметры, методы, порядок проведения и объем съемок устанавливаются в соответствии с проектной документацией.

Материалы исполнительной съемки предъявляют рабочей и государственной комиссиям, принимающим объект в эксплуатацию.

Исполнительные съемки ведутся теми же способами что и топографические в период изысканий. Отличительными особенностями являются:

точность исполнительных съемок увеличивается. Вводятся более крупные масштабы чертежей, например 1:200;

используются дополнительно специальные приборы и приспособления - оптические отвесы для проецирования вертикали вниз или вверх, механические и интерференционные створопостроители, палетки из оргстекла, механические угольники и шаблоны;

координаты характерных точек сооружения определяются аналитически и указываются в исполнительной документации с целью использования в дальнейшем для привязок, выноса проекта в натуру при реконструкции, ремонте, благоустройстве;

инженерные подземные коммуникации в целях удобочитаемости и в связи с использованием различными специалистами снимаются и изображаются раздельно.

Геодезической основой исполнения съемок являются:

- а) разбивочные оси и строительные реперы в пределах отдельных зданий, сооружений;
- б) центры пунктов высотной разбивочной основы;
- в) пункты геодезической сети, созданные в процессе изыскательских работ.

При недостаточности пунктов производится их сгущение методами полигонометрического и геометрического нивелирования

Исполнительные съемки выполняются также после каждого законченного цикла строительства. Так, например, при строительстве многоэтажного сооружения из сборного железобетона исполнительные съемки ведутся после каждого окончания подготовки котлована, фундамента и далее после возведения каждого яруса.

Количество элементов сооружения, подлежащих съемке, а также расчет точности измерений определяется существующими нормативными документами на отклонения при монтаже конструкций.

Такие текущие исполнительные съемки предназначены для получения исходных данных для рихтовки узлов и обеспечения качественного монтажа сборных конструкций.

В состав *исполнительной съемки автомобильных дорог* входят следующие виды работ:

- съемка дорог в плане и по высоте;
- съемка и обследование искусственных сооружений;
- обследование состояния дорог; горизонтальная и высотная съемка территории в установленных техническим заданием границах;
- съемка и обследование инженерных коммуникаций.

Необходимый состав и методы работ определяются программой, составленной на основе технического задания, и зависят от того, является ли съемка автомобильных дорог самостоятельной работой или выполняется совместно с инженерно-геодезической съемкой территории предприятия.

Полевой работе по специальной съемке автомобильных дорог предшествует сбор и систематизация имеющихся

проектных и эксплуатационных материалов по существующим автомобильным дорогам, а также материалов прежних исполнительных съемок. На основании полученных сведений составляют план-схему автомобильных дорог, на котором показывают:

- автомобильные дороги, их названия и номера;
- вид дорожного покрытия по дорогам и отдельным участкам дорог;
- искусственные сооружения на дорогах (мосты, трубы и т.п.);
- знаки дорожной сигнализации (при необходимости).

Составленный по имеющимся материалам план-схему автомобильных дорог уточняют и дополняют в процессе рекогносцировки, а затем согласовывают с транспортной службой предприятия. Одновременно с решением технических задач рассматриваются вопросы техники безопасности, связанные с работой на автомобильных дорогах и вблизи них.

Исполнительная съемка *подземных инженерных коммуникаций* производится по мере их готовности, но до засыпки траншей.

Исключение составляет самотечная канализация, исполнительную съемку которой выполняют после засыпки траншей и гидравлических испытаний труб. Снимают углы поворота; точки на прямолинейных участках не реже, чем через 50 метров; точки начала, середины и конца кривых: места пересечения трасс, места присоединений и ответвлений, люки, колодцы, камеры, компенсаторы и т. д. Собирают данные о числе прокладок, диаметре труб, давлении в газовых и напряжении в кабельных сетях, материалах, из которых изготовлены трубы. Производят обмеры колодцев и фасонных частей к отвесной линии, проходящей через центр крышки люка.

По каждому отдельному виду подземных сетей и сооружений исполнительной съемке подлежат:

- по канализации, водостоку, дренажу – оси трасс, колодцы, углы поворота, изломы сетей в профиле, места присоединений и выпусков;

- по газопроводу – ось трассы, углы поворота, камеры, места подключений, вводы, изломы в профиле;
- по водопроводу – ось трассы, колодцы, вводы, аварийные выпуски, артезианские скважины;
- по теплосети – ось трассы, камеры, углы поворота, компенсаторы, места подключений, вводы;
- по телефонным сетям – ось трассы, колодцы, распределительные шкафы, места ввода и подключений;
- по силовым кабельным сетям – ось трассы кабелей (независимо от способов укладки), колодцы, тоннели и коллекторы, трансформаторные подстанции, киоски.

Исполнительную съемку инженерных коммуникаций производят от планово-высотного обоснования — сети триангуляции или полигонометрии, съемочных теодолитных ходов, а также нивелирных реперов IV класса и выше.

От твердых точек капитальной застройки горизонтальную съемку выполняют линейными засечками, способом перпендикуляров и способом створов. От точек съемочного обоснования и пунктов опорной сети определения производят линейными засечками, перпендикулярами, полярными расстояниями и комбинированным способом.

Линейные засечки делают не менее чем с трех точек, и линии засечек не должны превышать длину мерной ленты. Углы между смежными направлениями должны быть в пределах 30—120°. Длина перпендикуляра не может превышать 4 м, в случае применения экера — 20 м. Для более длинных перпендикуляров их используют в комбинации с засечками.

Плановое положение элементов инженерных сетей определяют с точностью, обеспечивающей погрешность не более 0,2 м.

Масштаб съемки зависит от характера снимаемой территории, плотности размещения сетей, назначения создаваемых планов и, как правило, составляет 1:5000–1:500, в исключительных случаях—1:200.

Обязательной съемке подлежат все подземные сооружения, пересекающие или идущие параллельно прокладке, вскрытые траншеи. Одновременно со съемкой указанных

элементов инженерных коммуникаций должны быть сняты все здания, прилегающие к проезду или трассам прокладок.

При расположении подземных сетей в блоках и тоннелях снимают только одну сторону, другую наносят по данным промеров. Выходы подземных сетей и элементы их конструкций должны быть связаны между собой или привязаны к твердым контурам, застройкам контрольными промерами. При съемке кабелей в пучках замеры производят до крайних кабелей с той или другой стороны. Съемкой охватывают полосу не менее 20 м в обе стороны от оси трассы. При производстве работ обычно дают единую нумерацию колодцев, камер и др. У круглых колодцев снимают центр крышки решеток, у люков прямоугольной формы — два угла. Для колодцев, выстроенных по типовым проектам, определяют только внецентренность и ориентировку. Внецентренность колодцев определяют, как правило, с помощью отвесов или рейки.

При глубине снимаемых элементов свыше 1 м точки их выносят на поверхность земли при помощи отвеса или рейки с круглым уровнем. Закругленные части снимают так, чтобы они сохранили подобие при вычерчивании на плане.

При съемке колодцев и камер производят обмер внутреннего и внешнего габаритов сооружения, его конструктивных элементов, расположения труб и фасонных частей с привязкой к отвесной линии, проходящей через центр крышки колодца. При этом устанавливают: назначение, конструкцию колодцев, камер, распределительных шкафов и киосков, характеристику имеющейся в них арматуры.

Результаты измерений заносят в абрис, где зарисовывают элементы ситуации и схему прокладываемого теодолитного хода, показывают привязки к опорной застройке, линейные размеры сооружения, сечения и т. д.

Высотное положение подземных сетей и сооружений определяют техническим нивелированием.

Нивелируют люки колодцев, лотки канализационных, водосточных и дренажных колодцев, верх труб и пол каналов (в непроходных — низ щебеночной подготовки) теплотрассы,

телефонной и электрокабельной канализации, в безколодезных прокладках— углы поворота трассы и точки излома профиля.

Строительство крупных объектов продолжается обычно несколько лет. Одновременно идет непрерывный процесс уточнения, дополнения, изменения проектной документации, генплана, разбивочных чертежей и т.д. В этих условиях необходим систематически обновляемый комплект *исполнительной технической документации*, позволяющий снабжать обновленными геодезическими данными исполнителей строительных работ. Для этой цели ведется *оперативный геодезический план* строительной площадки (ОГП).

Генеральный план строительства отражает строящийся объект (объекты) в статике, тогда как ОГП показывает динамику, текущие изменения на строительной площадке. В состав документов ОГП входит основная, детальная и вспомогательная документация. Основная графическая документация ОГП включает:

- обзорную карту района строительства в масштабе 1:10 000 – 1:50 000;
- сводный план строительства основных объектов и внешних инженерных сетей в масштабе 1:2000 – 1:10 000;
- план строительной площадки в масштабе 1:500 – 1:2000;
- план строящегося жилого поселка, микрорайона, квартала в масштабе 1:500 – 1:2000;
- план строительства подсобных зданий и сооружений в масштабе 1:500 – 1:2000;
- планы крупных карьеров строительных материалов с жилыми поселками при них в масштабе 1:1000 – 1:2000.

На сводном плане строительства показывают основные строительные объекты, существующие и входящие в строй инженерные сети, вспомогательные сооружения с их основными коммуникациями. На сводный план наносят пункты геодезической и разбивочной сети, рельеф и ситуация местности, внешние линейные сооружения и т.п. Всю графическую документацию оформляют в общепринятых

условных знаках, а в случае применения нестандартных обозначений дают пояснительные надписи. Все документы должны содержать точные цифровые данные (координаты, высоты, размеры и т.д.).

По окончании обработки материалов исполнительных съемок инженерных сетей составляют *исполнительный чертеж*. Его основой служит копия согласованного проекта инженерных сетей в масштабе 1:500 или план масштаба 1:500, составленный по результатам исполнительных съемок.

При вычерчивании исполнительного чертежа на кальке в полосе не менее 20 м в каждую сторону от оси трассы (если иная ширина полосы съемки не установлена заданием) показывают контуры зданий, их характеристики, контуры и покрытие улиц, деревья, опоры ЛЭП, ограды и прочие объекты, предусмотренные «Инструкцией по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500» ГУГК (М., «Недра», 1982).

В состав исполнительного чертежа входят:

- ситуационный план участка в масштабе 1:2000 с указанием месторасположения участка работ и наименованием близлежащих улиц и проездов для всех коммуникаций;
- план трассы в масштабе 1:500;
- продольный профиль, горизонтальный масштаб которого принимают равным масштабу плана, а вертикальный 1:100 или 1:200 и в отдельных случаях 1:50 (для тепловых сетей и кабеля связи);
- размеры колодцев (камер) с указанием материалов, высоты горловины, расположения и привязкой вводов труб в колодец;
- направления на смежные колодцы и вводы;
- характерные сечения коллекторов, каналов, футляров, блоков, накатов.

Состав исполнительной документации на трубопроводы и подземные сооружения определяют на основании технических условий и проектов на их сооружение. Если прокладка подземных сооружений выполнена с отклонениями от проекта, то на исполнительных чертежах должно быть указано, кем и

когда эти отклонения разрешены. Исполнительный чертеж входит в состав обязательной исполнительной документации, предъявляемой строительной организацией при сдаче в эксплуатацию законченного строительством инженерных сетей.

Контрольную геодезическую съемку подземных инженерных сетей выполняет заказчик (застройщик), осуществляющий технический надзор за строительством. Не позднее, чем за три дня до засыпки траншей и котлованов строительные организации обязаны вызывать заказчиков (застройщиков) для проведения инструментальной проверки соответствия планового и высотного положения построенных подземных инженерных сетей на местности их отображению на предъявляемых исполнительных чертежах.

По подземным инженерным сетям, имеющим большую протяженность и находящимся длительное время в процессе строительства, исполнительные чертежи представляют частями, оформленными по мере окончания строительства отдельных участков. Ответственность за правильное составление и своевременное представление исполнительных чертежей на проложенные подземные инженерные сети и сооружения несут руководители строительных (специализированных) организаций и лица, ответственные за производство работ и составление исполнительных чертежей.

ЛЕКЦИЯ 14. Геодезические работы при перенесении в натуру проектов инженерных сооружений.

Одним из основных видов инженерно-геодезической деятельности являются разбивочные работы. Выполняют их для определения на местности планового и высотного положения характерных точек и плоскостей строящегося сооружения в соответствии с рабочими чертежами проекта. Разбивочные работы диаметрально противоположны съёмочным. При съёмке на основании натуральных измерений определяют координаты точек относительно пунктов опорной сети. Точность этих измерений зависит от масштаба съёмки. При разбивке же, наоборот, по координатам, указанным в проекте, находят на местности положение точек сооружения с заранее заданной точностью. При разбивочных работах углы, расстояния и превышения не измеряют, а откладывают на местности. В этом основная особенность разбивочных работ.

Компоновка сооружения определяется его геометрией, которая задается осями. При строительстве различают главные, основные и промежуточные (детальные, вспомогательные) оси сооружения. Все оси относят к разбивочным. Относительно разбивочных осей в рабочих чертежах указывают местоположение всех элементов сооружения.

Главными осями линейных сооружений (дорог, каналов, плотин, мостов и т. п.) служат продольные оси этих сооружений.

В промышленном и гражданском строительстве в качестве главных осей принимают оси симметрии зданий (рис. 129). *Главные* оси разбивают для больших сооружений. *Основными* (Б-Б, А-А, 1-1, 12-12) называют оси, определяющие форму и габариты зданий и сооружений.



Рис. 130. Оси зданий

Вспомогательные оси – это оси отдельных элементов зданий, сооружений. Они обозначают положение и размеры строительных деталей и конструкций.

Высоты плоскостей и отдельных точек проекта на строительных чертежах задают от условной поверхности – *строительного ноля*. Для каждого сооружения условная поверхность соответствует определенной абсолютной отметке, которая указывается в проекте. В зданиях за строительный ноль принимают уровень «чистого пола» первого этажа.

На разбивочных чертежах указывают исходные данные для геодезических разбивочных работ здания или сооружения: знаки плановой и высотной геодезической основы и аналитические данные для разбивки – углы α и расстояния d . Указанные в проекте сооружения координаты, углы, расстояния и превышения называют *проектными*.

Весь *процесс разбивки* сооружения определяется общим геодезическим правилом перехода от общего к частному. Разбивка главных и основных осей определяет положение всего сооружения на местности, т. е. его размеры и ориентирование относительно сторон света и существующих контуров местности. Детальная же разбивка определяет взаимное положение отдельных элементов и конструкций сооружения. Рабочие чертежи состоят из комплектов. Каждому комплекту

присваивают наименование и марку, например, «Генеральный план и сооружения транспорта» (ГТ), «Архитектурно-строительные решения» (АС), «Конструкции железобетонные» (КЖ), «Конструкции металлические» (КМ) и др..

Организация и технология разбивочных работ определяется этапом строительства сооружения. В подготовительный период (на этапе изысканий) на местности строят плановую и высотную геодезическую разбивочную основу соответствующей точности, определяют координаты и отметки пунктов этой основы. Геодезическая подготовка проекта для перенесения его в натуру выполняется на этапе проектирования. Непосредственная разбивка сооружений на этапе строительства включает основные и детальные разбивочные работы.

Основные разбивочные работы включают определение на местности положения главных осей и строительного поля возводимого сооружения.

Детальные разбивочные работы состоят в определении планового и высотного положения всех частей возводимого сооружения, которые определяют и задают геометрическую форму этого сооружения. Эти работы ведутся от ранее вынесенных в натуру главных осей сооружения путем разбивки основных и вспомогательных осей, характерных точек и контурных линий, определяющих положение всех деталей сооружения.

Различают три способа расчётов при геодезической подготовке проекта: аналитический, графоаналитический и графический.

Графический способ заключается в определении разбивочных данных (координат, расстояний, углов и отметок) непосредственно по плану. Длины линейных отрезков определяют циркулем-измерителем и масштабной линейкой, углы измеряют с помощью топографического транспортира. Этот способ применяется в случаях, когда не требуется высокой точности исходных данных для разбивок.

При *аналитическом способе* все данные для разбивки находят путем математических вычислений, причем координаты

существующих зданий и сооружений определяют непосредственно геодезическими измерениями в натуре, а размеры элементов проекта задают, исходя из технологических расчетов. Этот способ применяют в основном при реконструкции и расширении предприятий, в стесненных условиях застройки.

Графоаналитический способ (рис.131) подготовки данных является более оперативным и в большинстве случаев обеспечивает достаточную точность, поэтому он широко применяется в строительной практике. При использовании данного способа координаты осевых точек сооружений определяют графически с генплана застройки, координаты пунктов опорной сети выбирают из ведомостей или каталогов, а дирекционные углы направлений и расстояния вычисляют по формулам обратной геодезической задачи.

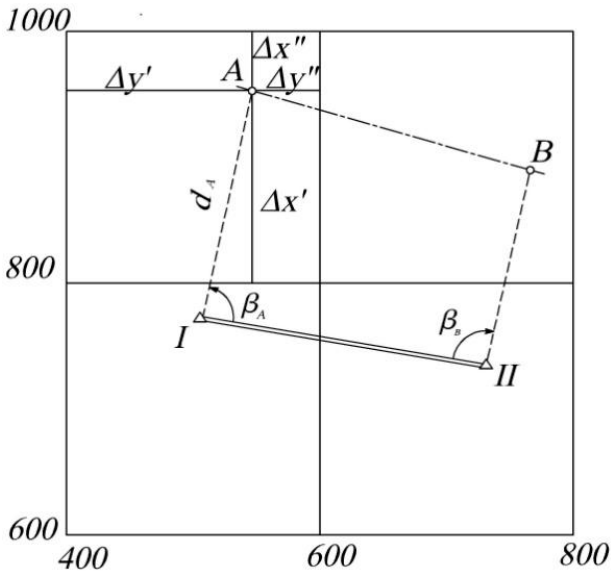


Рис. 131. Графоаналитический способ

Применение графоаналитического способа для вычисления координат сооружения заключается в том, что положение исходных точек определяют графически с

топографического плана, а остальных точек, жестко связанных с исходными,— аналитически. Например, для определения положения здания на местности по топографическому плану находят координаты одного из углов здания и дирекционное направление на другой угол. Далее по проектным размерам вычисляют координаты всех остальных углов здания.

Плановое положение проектных точек при их выносе на местность можно получить различными *способами*: полярных и прямоугольных координат, прямой угловой засечки, линейной засечки, промеров по створу и др. Применение каждого из способов диктуется топографическими условиями местности, густотой исходных пунктов, конфигурацией проектных объектов и другими факторами.

Независимо от выбранного способа выноса на местность проектных точек до начала полевых работ в камеральных условиях вычисляют соответствующие проектные значения горизонтальных углов β и расстояний D . По предварительно выполненным расчетам должен быть составлен разбивочный чертеж выноса в натуру проектных точек, являющийся одним из основных графических документов, включаемых в состав проекта производства разбивочных работ.

Способ полярных координат. Сущность работы по перенесению на местность проектной точки P (рис. 132) заключается в построении проектного горизонтального угла β или β_1 и откладывании по полученному направлению проектного расстояния D .

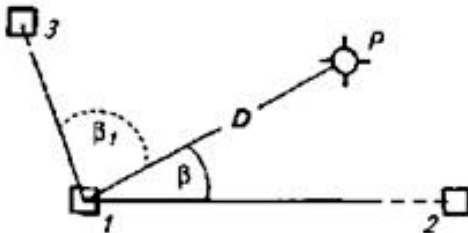


Рис. 132. Способ полярных координат.

Точность определения положения на местности точки P относительно исходной точки I будет зависеть от точности построения проектного угла и отложения проектного расстояния, а также фиксации положения проектной точки на местности. Среднюю квадратическую погрешность m_P положения проектной точки на местности относительно пункта межевой съемочной сети (без учета погрешностей исходных данных) можно вычислить по формуле

$$m_P^2 = m_D^2 + (m_\beta/\rho)^2 D^2 + m_\phi^2, \quad (123)$$

где m_D - средняя квадратическая погрешность построения проектного расстояния D ; m_β - средняя квадратическая погрешность построения проектного угла, с; m_ϕ - средняя квадратическая погрешность фиксации проектной точки (штырь, колышек и т. п.) на местности; $\rho = 206265''$.

С одного исходного пункта полярным способом можно перенести не одну, а несколько проектных точек, которые на местности могут служить, например, поворотными точками границы земельного участка и пр.

Способ прямоугольных координат. Этот способ используют в том случае, когда на местности положение проектной точки P может быть определено от исходной линии, например $I2$ (рис. 133), с помощью двух отрезков D_1 $t = x$ и $D_2 = y$, один из которых откладывают по направлению линии $I2$ а другой D_2 - по перпендикуляру к ней.

Полевые работы при реализации рассматриваемого способа сводятся к следующему. От исходной точки геодезической сети в створе направления $I2$ откладывают отрезок D_1 и намечают на исходной линии точку O . В этой точке строят прямой угол и по полученному направлению откладывают отрезок D_2 , конец которого закрепляют знаком. В результате на местности получают проектную точку P .

Прямой угол с вершиной в точке O можно построить в зависимости от требуемой точности различными способами. Так, при работах технической точности, если отрезок D_2 окажется менее 5 м, то прямой угол можно построить с помощью рулетки. В том случае, когда $5 \text{ м} \leq D_2 \leq 25 \text{ м}$, для

построения прямого угла можно применить экер, а во всех остальных случаях при работе нужно использовать теодолит.

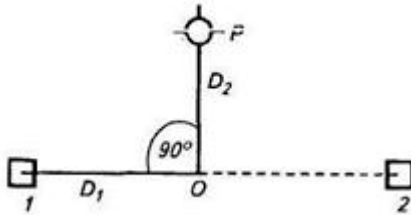


Рис.133. Способ прямоугольных координат.

Точность положения точки P относительно исходной линии на местности зависит главным образом от точности откладывания проектных расстояний, построения прямого угла и длины проектных отрезков. Среднюю квадратическую погрешность положения проектной точки относительно исходной линии

$$m_P^2 = m_{D1}^2 + m_{D2}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 * D_2^2 + m_\phi^2 \quad (124)$$

Из формулы следует, что при выносе на местность проектной точки способом прямоугольных координат наибольший из отрезков следует откладывать вдоль исходной линии, а наиболее короткий - по перпендикуляру к ней, чтобы уменьшить значение погрешности m_P .

Способ прямой угловой засечки. В том случае, когда на местности имеется густая сеть исходных пунктов или невозможно провести соответствующие линейные измерения, применяют способ прямой угловой засечки.

Камеральные работы по подготовке исходных данных для перенесения проекта заключаются в вычислении проектных горизонтальных углов β_1 , β_2 и β_3 по дирекционным углам соответствующих направлений. При этом проектный угол β_3 необходим для контроля полевых построений.

Построения проектных углов на местности выполняют одним или двумя теодолитами. Для этого в каждом из пунктов 1 и 2 (рис. 134) строят при двух положениях вертикального круга соответственно проектные горизонтальные углы β_1 и β_2 .

Положение проектной точки P получают на пересечении направлений $1P$ и $2P$, его достигают следующим образом.

В месте примерного пересечения лучей на каждом из направлений $1P$ и $2P$ намечают по две точки c и c' , d и d' . Затем натягивают тонкий шпагат соответственно между точками c и c' , d и d' и в пересечении отмечают на местности положение точки P .

Точность перенесения точки P на местность этим способом зависит главным образом от точности построения проектных углов, значения угла φ при выносимой в натуру точке P и расстояний a и b от исходных пунктов до определяемой точки.

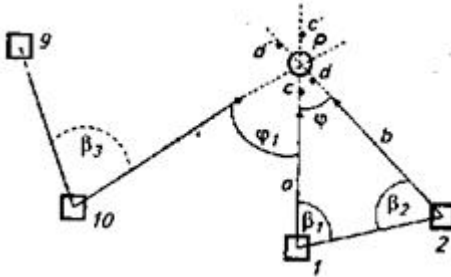


Рис. 134. Способ прямой угловой засечки.

Среднюю квадратическую погрешность m_P в положении проектной точки относительно исходных пунктов можно вычислить по формуле (без учета средней квадратической погрешности фиксации проектной на местности):

$$m_P = \frac{m_\beta}{\rho * \sin \varphi} \sqrt{a^2 + b^2} \quad (125)$$

Где m_β - средняя квадратическая погрешность построения угла, $\rho = 206265''$.

При выборе исходных пунктов для перенесения на местность точки P нужно стремиться к тому, чтобы угол был не менее 40° и не более 140° . Наилучшим вариантом в отношении точности определения положения проектной точки будет тот, при котором стороны a и b будут примерно равны между собой, а угол $\varphi = 109,5^\circ$.

Способ линейной засечки. Этот способ применяют в том случае, когда на местности имеется достаточно плотная сеть исходных геодезических пунктов и расстояния от них до проектных точек не превышают 10,..20м.

Камеральные работы заключаются в вычислении путем решения обратной геодезической задачи расстояний a и b (рис. 135).

На местности выполняют следующие работы. От исходных пунктов A и B с помощью рулетки радиусами, равными отрезкам a и b , описывают дуги, в месте пересечения которых будет находиться проектная точка P , ее положение на местности закрепляют геодезическим знаком. Для повышения точности определения месторасположения точки P необходимо, чтобы угол φ был не менее 40° и не более 140° . Наилучшим вариантом в этом случае будет тот, при котором угол $\varphi = 90^\circ$.

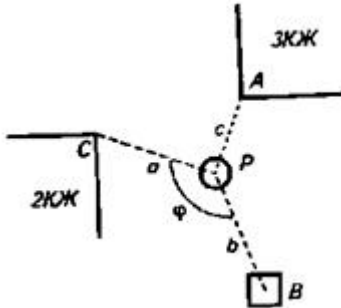


Рис 135. Способ линейной засечки.

Для контроля выноса в натуру проектной точки необходимо иметь еще одну дополнительную исходную точку C и от нее измерить расстояние до проектной точки P .

Точность перенесения точки P на местность зависит от точки отложения длины отрезков a и b и значения угла φ при этой точке. Среднюю квадратическую погрешность m_P , положения проектной точки на местности относительно исходных пунктов можно вычислить по формуле

$$m_P^2 = (m_a^2 + m_b^2) / \sin^2 \varphi + m_c^2 \quad (126)$$

где m_a и m_b – средние квадратические погрешности отложения соответствующих отрезков.

При равенстве этих погрешностей, т.е. когда $m_a=m_b=m_s$ и при $m_\phi = 0$, формула приобретает следующий вид

$$m_p = \frac{m_s \sqrt{2}}{\sin \phi} \quad (127)$$

Способ промеров по створу. Этот способ довольно прост, для его выполнения на местности необходимо иметь только стальную компарированную рулетку.

Сущность работы заключается в определении на местности положения проектных точек P_1, P_2, \dots, P_4 которые получаются при проектировании земельных участков в результате пересечения исходной прямой линии $1,2$ с проектными линиями (рис. 136).

В камеральных условиях аналитически из решения соответствующих обратных геодезических задач или по данным проекта определяют отрезки S_1, S_2, \dots, S_n . Для контроля необходимо иметь исходную длину всего отрезка $1,2$. В горизонтальные проложения $S_j (j = 1, 2, \dots, n)$ для перехода к длине D_j линии на местности при необходимости вводят соответствующие поправки.

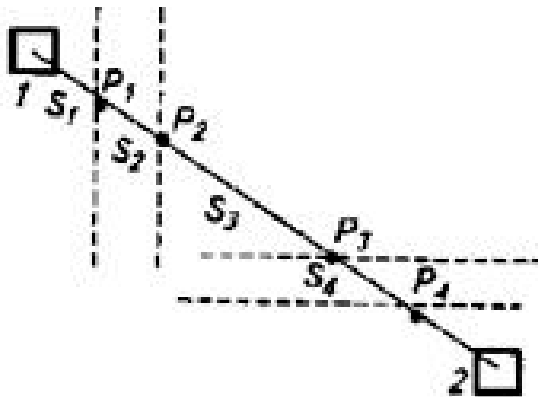


Рис.136. Способ промеров по створу.

В полевых условиях инструментально провешивают исходную линию и откладывают в ее створе отрезки D_j . В соответствующих местах забивают колья. Относительное расхождение отложенной длины всей линии и той, которая получена в камеральных условиях, не должно превышать своего допустимого значения. Если расхождение допустимо, то каждую из первоначально намеченных точек P_1, P_2, \dots, P_4 передвигают вдоль опорной линии в соответствующем направлении на значение поправки, прямо пропорциональной расстоянию от точки P^2 до исходного пункта. В результате этой работы получают окончательное положение проектных точек, которые закрепляют на местности соответствующими знаками.

Разбивочный чертеж является геодезическим проектом перенесения на местность проектных границ земельного участка, а также проектируемых зданий и сооружений и других объектов, расположенных на его территории. Элементы геодезических разбивочных работ, а также необходимые данные для привязки к исходным геодезическим пунктам (горизонтальные углы, расстояния и др.), получают аналитическими способами, решая прямые и обратные геодезические задачи, прямые угловые засечки и т. п..

Разбивочный чертеж составляют в масштабе, который позволяет без потери читаемости размещать на нем все необходимые элементы разбивочных работ, а также другие данные, которые рассмотрены далее. На разбивочном чертеже показывают:

- пункты исходной геодезической сети;
- данные проектирования границ земельных участков;
- проектные горизонтальные углы и проектные расстояния;
- исходные геодезические данные для привязки проекта границ земельного участка к геодезическим пунктам;
- контрольные измерения, необходимые для самоконтроля в полевых условиях;
- порядок полевых действий, который можно указать стрелками или порядком надписей значений проектных

расстояний (основание надписи перпендикулярно направлению движения исполнителя разбивочных работ).

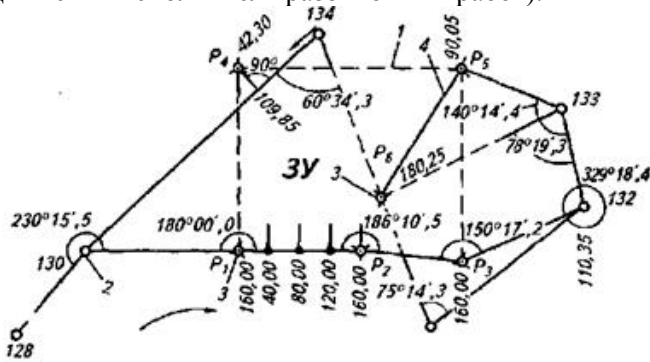


Рис.137. Разбивочный чертеж выноса на местность части сельского поселения

Элементы разбивочных работ и другие геодезические данные, необходимые для перенесения на местность проектных точек, записывают на разбивочном чертеже: горизонтальные углы с округлением до 0,1', а проектные расстояния-до 0,01 м. Разбивочный чертеж выноса на местность части сельского поселения показан на рисунке 137.

Элементы геодезических разбивочных работ:

1. Построение на местности проектного горизонтального угла.
2. Отложение на местности проектного расстояния (отрезка).
3. Перенесение на местность проектных отметок и линий проектных уклонов.

Построение на местности проектного горизонтального угла.

Проектный горизонтальный угол β на местности можно построить теодолитом или тахеометром.

При построении угла теодолит устанавливают над исходной точкой I и, приведя его в рабочее положение, при круге KL ориентируют визирную ось теодолита так, чтобы при визировании на точку 2 отсчет по лимбу горизонтального круга был равен $0^{\circ}00'00''$. Алидаду горизонтального круга вращают по ходу часовой стрелки до тех пор, пока отсчет по

горизонтальному кругу теодолита не станет равным проектному горизонтальному углу β . По полученному направлению визирной оси зрительной трубы выставляют вежу P_1 (рис. 138), Те же действия выполняют при круге право и выставляют вежу P_2 .

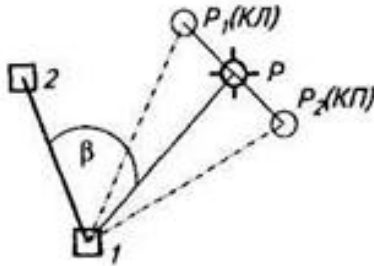


Рис. 138. Построение проектного горизонтального угла теодолитом.

Направления IP_1 и IP_2 могут не совпадать в основном из-за погрешностей визирования и отсчетов по лимбу теодолита, а также внешних условий.

За окончательное направление IP выбирают биссектрису угла P_1IP_2 . Для этого расстояние P_1P_2 делят пополам и в точке P устанавливают вежу.

Для контроля построения проектного горизонтального угла $2IP$ его измеряют на местности одним полным приемом.

При построении на местности проектного горизонтального угла с помощью электронного тахеометра после ориентирования его визирной оси по направлению исходной стороны 1,2 (см. рис. 139) в электронную память тахеометра вводят значение α_{12} ее дирекционного угла и затем вращают алидаду тахеометра до тех пор, пока на его табло не высветится значение дирекционного угла α_{1P} .

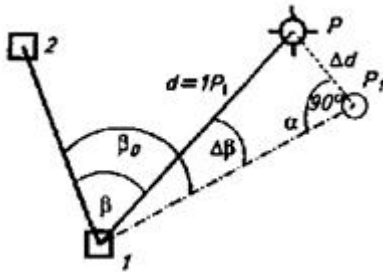


Рис. 139. Построение проектного горизонтального угла тахеометром.

Отложение на местности проектного расстояния. Перенесение проектного расстояния заключается в отложении на местности наклонного расстояния D , которое соответствует горизонтальному проложению S .

Формула для вычисления расстояния D если при построениях используют ком парированную стальную рулетку, имеет следующий вид

$$D = S + \Delta S_v - \Delta S_r + n(l_0 - l) + \alpha D_0(t_0 - t) \quad (128)$$

где S - горизонтальное проложение, найденное из решения обратной геодезической задачи; ΔS_v - поправка за угол наклона местности; ΔS_r - поправка за переход от плоскости проекции Гаусса-Крюгера к земной поверхности; n - полное число отложений мерного прибора; l_0 номинальная длина прибора; l - рабочая длина мерного прибора; α - коэффициент расширения металла, из которого изготовлен мерный прибор; D_0 - приближенная длина линии; t_0 и t - соответственно температура прибора в моменты компарирования и измерения расстояния.

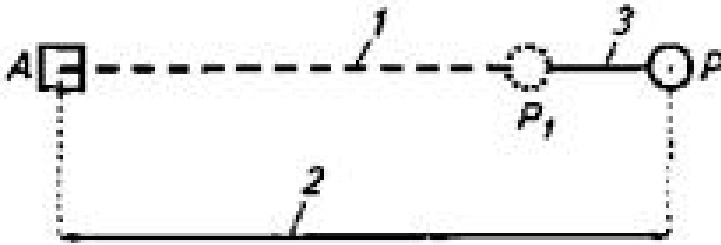


Рис. 140. Построение на местности проектной линии: 1 – измеренная длина линии, 2 – проектная длина линии, 3 – поправка ΔD

При перенесении на местность проектной линии применяют способ редуцирования, который заключается в следующем (рис. 140).

От пункта A в заданном направлении провешивают линию и в полученном створе откладывают проектную длину D . Затем светодальномером или другим мерным прибором с заданной точностью измеряют отложенное расстояние AP_1 и вычисляют его длину. Поправку ΔD определяют как разность между проектной и вычисленной длиной линии и откладывают от точки P_1 со своим знаком по направлению линии, после чего закрепляют положение проектной точки P . Затем делают контрольное измерение линии AP .

При использовании для построения проектного расстояния электронного тахеометра, конструктивными частями которого являются электромагнитный дальномер (светодальномер) и вычислительный блок, методика построения линии несколько отличается от той, которая была изложена ранее. Во-первых, тем, что поправки не имеют смысла (кроме ΔS_T) или автоматически учитываются в процессе полевых работ. Во-вторых, при наличии радиосвязи между наблюдателем, находящимся у тахеометра, установленного на одном из концов проектной линии, и его помощником с отражателем построение проектного расстояния возможно в так называемом следящем режиме. При работе в этом режиме помощник наблюдателя по

его командам постепенно перемещается по створу линии по направлению к проектной точке P . В то же самое время тахеометром непрерывно измеряют горизонтальное проложение до отражателя. Работу выполняют до тех пор, пока на табло тахеометра не высветится заданное значение проектного горизонтального проложения S (с учетом поправки ΔS_T). В этом месте закрепляют знак, фиксирующий положение точки P на местности.

Перенесение на местность проектных отметок и линий проектных уклонов. (Рис.141.)

Одной из наиболее распространенных задач геодезии является перенесение на местность *проектной отметки*. При укладке подземных коммуникаций, в частности, водопровода, канализации и др., необходимо передавать отметки на дно соответствующей траншеи. Кроме этого в строительстве необходимо передавать отметки на высокие части здания.

Для решения данной задачи в качестве исходных данных необходимо иметь на местности доступ к известной ближайшей отметке, называемой репером. Репером, в частности, может быть соответствующий пункт высотной государственной геодезической сети. Перенести на местность требуемую отметку – значит забить в необходимую точку земной поверхности колышек, верхний срез которого будет иметь заданную высоту. Для решения задачи между репером A с отметкой H_A и точкой B устанавливают нивелир.

По рейке, стоящей на репере, производят отсчет a . После получения отсчета a рассчитывают требуемый отсчет $b = H_A + a - H_B$. Далее в точке B забивают колышек на такую глубину, при которой отсчет по рейке, установленной на вершине колышка в точке B будет равен b . В этом случае высота пятки рейки, а следовательно и верхнего среза колышка в точке B будет равна проектной отметке H_B .

Следующей задачей геодезии представляется задача *перенесения на местность линии заданного уклона*. Такая задача, например, возникает при строительстве линейных сооружений (дорог, трубопроводов). В этом случае от точки A с

известной отметкой на местности H_A откладывается длина линии АВ, равная d . После этого по известной величине уклона i находят отметку точки В по формуле: $H_B = H_A + di$. Далее в точке В забивают колышек с отметкой H_B , так, как было рассмотрено в задаче по перенесению на местность точки с заданной отметкой. При необходимости на линии АВ разбивают промежуточные точки. Это можно сделать с помощью соответствующих расчетов отметок промежуточных точек или же с помощью наклонного луча нивелира, если превышение начальной и конечной точки невелико. Нивелир устанавливается в точке А так, чтобы один из подъемных винтов был направлен вдоль линии АВ, а линия, соединяющая два других подъемных винта, была перпендикулярна линии АВ.

При помощи подъемного винта, расположенного по линии АВ, ставят зрительную трубу нивелира на отсчет по рейке в точке В, равный высоте окуляра i . После этого в точках С и D забивают колышки такой высоты, при которой отсчеты по рейкам, установленным на верхних срезах колышков, также равнялся высоте i .

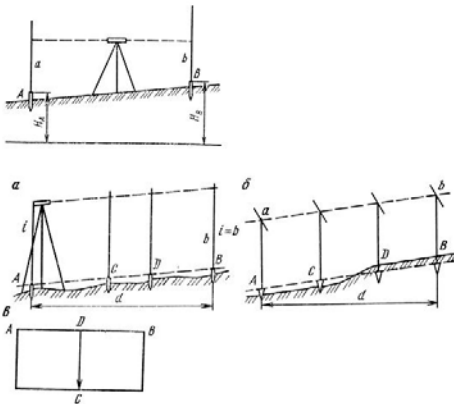


Рис.141. Перенесение на местность проектных отметок и линий проектных уклонов.

ЛЕКЦИЯ 15. Деформаций инженерных сооружений.

Для обеспечения нормальной работы сооружение должно быть устойчивым, т.е. сохранять в установленных пределах свое первоначальное (проектное) положение. Однако, вследствие конструктивных особенностей, влияния природных и техногенных факторов сооружения подвержены различного вида *деформациям*, характеризуемым изменением как его пространственного положения в целом, так и взаимного положения отдельных частей и элементов. Деформации могут приводить к нарушению прочности строительных конструкций, запроектированных условий эксплуатации технологического оборудования и даже вызывать опасные разрушения сооружений.

Природные факторы, вызывающие деформации, связаны в основном с инженерно-геологическими и гидрологическими процессами в толще горных пород и грунтов, используемых в качестве основания сооружения. К ним относятся подвижки земной поверхности в районе разрывных тектонических смещений, карстовые и склоновые процессы (оползни, обвалы), просадки - коренные изменения структуры грунтов под действием собственного веса грунта и его замачивание, изменение гидротермических условий, связанных с сезонными и многолетними колебаниями температуры, влажности и уровня грунтовых вод.

Основными техногенными факторами являются влияние на грунты давления от массы сооружения, изменение несущих свойств грунтов искусственным понижением или повышением уровня грунтовых вод, смещения грунтов над подземными выработками, вибрация фундаментов сооружения в связи с работой различных агрегатов, механизмов, движением транспорта и другими динамическими воздействиями, изменение давления на основание, вызванное возведением рядом новых сооружений.

На деформации сооружения также влияют форма, размеры и жесткость фундамента и строительных конструкций, распределение статических и динамических нагрузок внутри

сооружения. Причиной деформации могут быть боковое давление грунта, воды, ветра, неравномерный солнечный нагрев и др.

Под давлением возводимых конструкций грунты в основании фундамента постепенно уплотняются, и происходит смещение в вертикальной плоскости, этот процесс называют *осадкой* сооружения. В случае, когда грунты под фундаментом сжимаются неодинаково, осадка имеет неравномерный характер, что приводит к другим видам деформаций: *горизонтальным смещениям* (может быть вызвано боковым давлением грунта, воды, ветра), *сдвигам*, *перекосам*, *прогибам*, *кренам* (рис. 142), которые внешне могут проявляться в виде трещин и разломов. Высокие сооружения башенного типа испытывают *кручение и изгиб*, вызываемые неравномерным солнечным нагревом и давлением ветра.

Формы деформаций сооружений

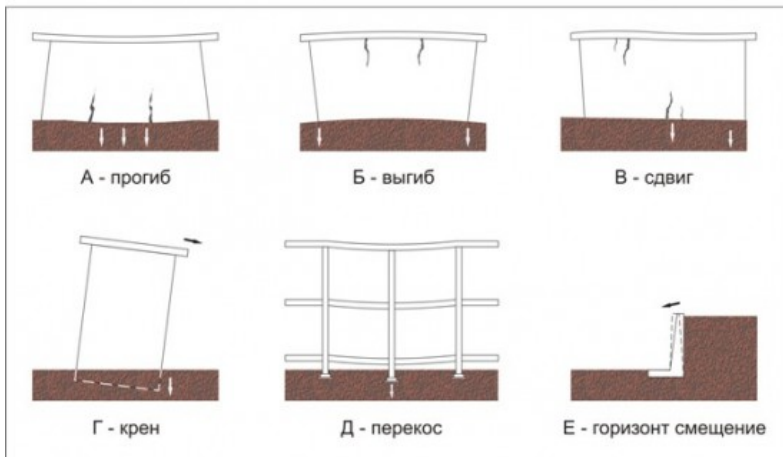


Рис. 142. Деформации инженерных сооружений

Просадка. По своей сути — это та же осадка, но с изменением структуры грунта под действием дополнительных факторов, например, грунтовых вод. Характеризуют просадку вертикальные трещины, которые кверху расширяются. Их начало указывает на место изгиба. Такое нарушение основания

строения вызвано, обычно, естественными процессами, происходящими в грунте.

Перекоб. Может возникнуть, как результат неравномерных осадок, двух соседних фундаментов. Характерен для зданий каркасной системы.

Прогиб. Такая деформация фундамента возникает в сооружениях, которые не обладают высокой жёсткостью. Чем выше жёсткость, тем меньше значение прогиба. Характерными признаками таких изменений в фундаменте являются трещины, которые похожи на перевернутую букву Y.

Крен может произойти с высотным зданием при его высокой изгибной жёсткости. Возникает такая деформация вследствие неравномерного проседания почвы и характеризуется разными её уровнями в крайних точках основания здания. Если величина крена растёт, то это грозит полным разрушением строения.

Для изучения деформаций в характерных местах сооружения фиксируют точки и определяют изменения их пространственного положения за выбранный интервал времени относительно принятого начального положения и начала счета времени. Оценку устойчивости и состояния сооружения производят на основе анализа величин полученных изменений (деформаций).

Геодезические наблюдения за перемещениями и деформациями зданий и сооружений (геодезический мониторинг строительных объектов) проводятся в целях:

- выполнения требований ведомственных инструкций и предписаний проектных организаций на постоянный геодезический мониторинг осадки и деформаций в процессе возведения и эксплуатации зданий и сооружений, имеющих большое народнохозяйственное значение (например атомных, гидро- и тепловых электростанций, других промышленных зданий и фундаментов под сложным оборудованием на крупных предприятиях, высоких башен и др.);

- измерения фактических пространственных перемещений элементов несущих конструкций в процессе возведения сложных сооружений для своевременного

выявления возможных чрезмерных деформаций объекта и принятия своевременных мер по предотвращению их аварийного состояния, а также для экспериментальной проверки методов расчета конструкций на устойчивость;

- корректировки норм на предельно допустимые величины нагрузки на грунтовые основания для различных видов грунтов и типов зданий и сооружений.

- выявления степени опасности деформаций оснований под фундаментами эксплуатируемых зданий и сооружений, развивающихся в результате извлечения жидких, твердых и газообразных полезных ископаемых, а также принятия своевременных мер по устранению последствий возникших деформаций объекта.

Геодезические наблюдения за перемещениями и деформациями (осадками, сдвигами, неравномерными осадками, кренами) оснований, фундаментов, а также возведенных на них зданий и сооружений, производятся по специальной программе, составленной на основе технического задания. Наблюдения могут начинаться со стадии устройства фундаментов или после окончания строительства при обнаружении признаков чрезмерных деформаций объекта.

Комплексные измерения вертикальных и горизонтальных перемещений сооружений надлежит выполнять с точностью, установленной проектной документацией или правилами технической эксплуатации объекта.

Для особо значимых сооружений требуемую точность измерения вертикальных и горизонтальных перемещений обосновывают специальными расчетами и предусматривают максимально надежные и точные методы геодезического мониторинга деформаций.

Для типовых сооружений при отсутствии специальных требований принимают следующие величины допустимых погрешностей измерения вертикальных и горизонтальных перемещений:

- для объектов в процессе возведения на песчаных, глинистых и других сжимаемых грунтах – 2 и 5 мм; • для объектов, длительное время находящихся в эксплуатации, а

также возводимых на плотных моренных и скальных грунтах, – 1 и 2 мм;

- для зданий и сооружений в процессе возведения на насыпных, просадочных, заторфованных и других сильно сжимаемых грунтах, – 5 и 10 мм;

- для земляных сооружений – 10 и 15 мм.

Геодезические наблюдения за перемещениями и деформациями зданий и сооружений следует проводить в соответствии с техническим заданием, например в течение всего периода строительства и в период эксплуатации до достижения параметров условной стабилизации деформаций, установленных проектной или эксплуатирующей организацией.

Перед началом измерений *вертикальных перемещений* (осадки) фундаментов необходимо установить опорные реперы (исходные геодезические знаки высотной основы) и деформационные (осадочные) знаки на контролируемых зданиях, для которых определяются вертикальные перемещения.

Опорные реперы числом не менее трех должны размещаться:

- в стороне от проездов, подземных коммуникаций, складских и других территорий;

- вне зоны распространения деформаций грунтового массива от давления на него здания или сооружения;

- вне зон влияния оползневых склонов, нестабилизированных насыпей, осадки земной поверхности от извлечения подземных твердых и жидких полезных ископаемых, карстовых образований и других неблагоприятных инженерно-геологических и гидрогеологических воздействий;

- на расстоянии от здания не менее тройной толщины слоя просадочного грунта;

- в местах, где исключены влияния вибраций грунта на устойчивость репера от транспортных средств, машин, механизмов;

- в местах, где в течение всего периода наблюдений возможен удобный подход к реперам для нивелирных работ.

После установки репера на него должна быть передана высотная отметка от ближайших пунктов геодезической сети. При значительном (более 2 км) удалении пунктов геодезической сети от устанавливаемых реперов допускается принимать условную систему высот.

Осадочные знаки устанавливают в нижней части несущих конструкций по периметру здания снаружи или внутри его, на стыках строительных блоков, по обе стороны осадочного или температурного шва, в местах примыкания продольных и поперечных стен, на поперечных стенах в местах пересечения их с продольной осью, на несущих колоннах, вокруг зон с большими динамическими нагрузками от оборудования, на участках с неблагоприятными геологическими условиями.

Геометрическое нивелирование (Рис.143.) служит основным способом измерения вертикальных перемещений. В результате нивелирования определяют отметки осадочных знаков относительно отметок опорных реперов. Величина осадки (приращения осадки) ΔH марки за соответствующий период наблюдений определяется как разность ее отметок, полученных по данным текущего (H_i) и начального циклов наблюдений (H_0), т. е. по формуле

$$\Delta H_i = H_i - H_0 . \quad (129)$$

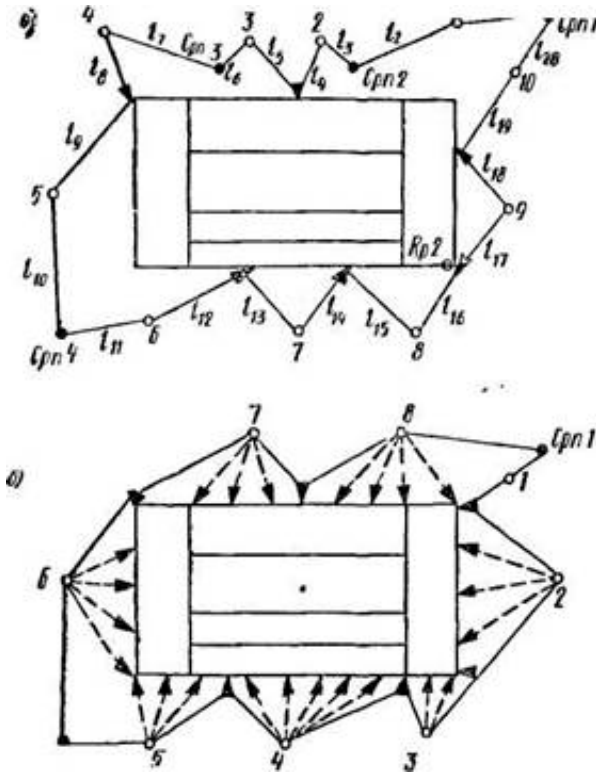


Рис. 143. Схемы нивелирования:

a — опорных реперов; *б* — осадочных марок; 1...10 — номера станций; Срп1...Срп4 — свайные реперы; А — осадочные марки; Rp2 — стенной репер; l_1 l_{26} — расстояния между станциями, свайными реперами и осадочными марками

Тригонометрическое нивелирование применяется при измерениях вертикальных перемещений фундаментов в условиях резких перепадов высот (больших насыпей, глубоких котлованов, косогоров и т.д.). Измерение вертикальных перемещений методом тригонометрического нивелирования выполняют короткими лучами (до 100 м), при помощи

высокоточных электронных тахеометров, а также теодолитов Т-1, Т-2, Т-5 и им равноточных.

Горизонтальные перемещения зданий и сооружений измеряют методом створных наблюдений (рис.143), отдельных направлений, полярным (с помощью электронного тахеометра), триангуляции, фотограмметрии или их комбинированием. Метод измерений горизонтальных перемещений принимают в зависимости от необходимой точности результатов.

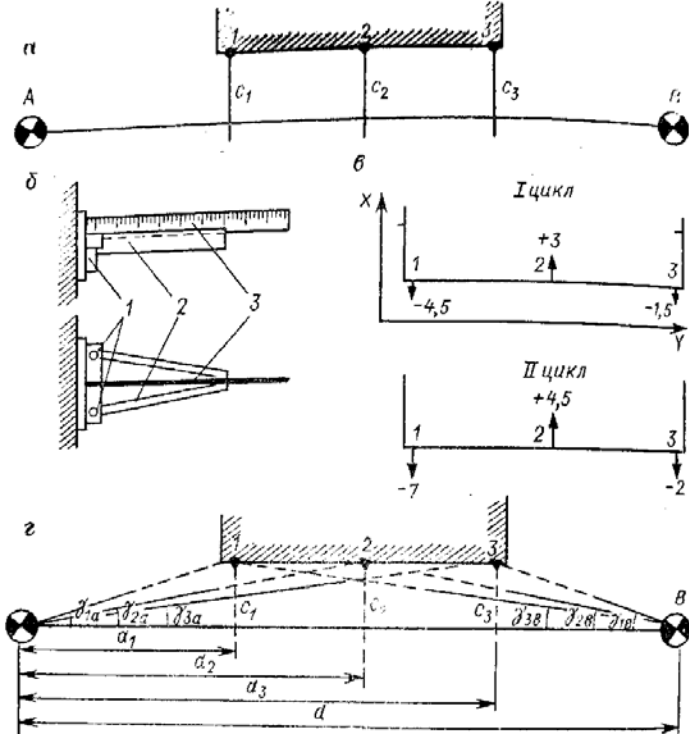


Рис. 144. Створный метод наблюдений за горизонтальными смещениями: а - определение отклонений от створа с помощью измерительных линеек; б - измерительная линейка; в - схема смещения точек; г - определение отклонений от створа с помощью измерения параллактических углов

Метод створных наблюдений при измерениях горизонтальных перемещений сооружений следует применять

для протяженных объектов. Измерение угла отклонения марки от створа следует проводить точным или высокоточным теодолитом. Средняя квадратическая погрешность измерения малых углов при расстоянии от опорного знака до марки, равном 100 и менее метров, не должна превышать 2", при расстоянии 600–1000 м – 0,5".

Способ струны следует применять в защищенных от воздушных потоков зданиях и прямолинейных галереях сооружений для непосредственного получения величин горизонтальных смещений конструкций относительно створа, обозначенного струной.

Метод отдельных пересекающихся направлений следует применять для измерения горизонтальных перемещений зданий при невозможности создать створ или обеспечить устойчивость концевых опорных знаков створа. На объекте закрепляют деформационные марки (визирные цели), а вне его в устойчивых грунтах закладывают не менее трех опорных знаков с расчетом, чтобы направления со знаков на каждую визирную цель пересекались под углами, не меньшими 30° и не большими 150° .

Крен (величину приращения крена) здания, сооружения измеряют методом вертикальной плоскости, отвесного проецирования, координирования, измерения углов или направлений, фотограмметрии, механическими способами с применением кренометров, отвесов, а также их комбинированием (рис.145, 146). Крен фундаментов определяется также нивелированием.

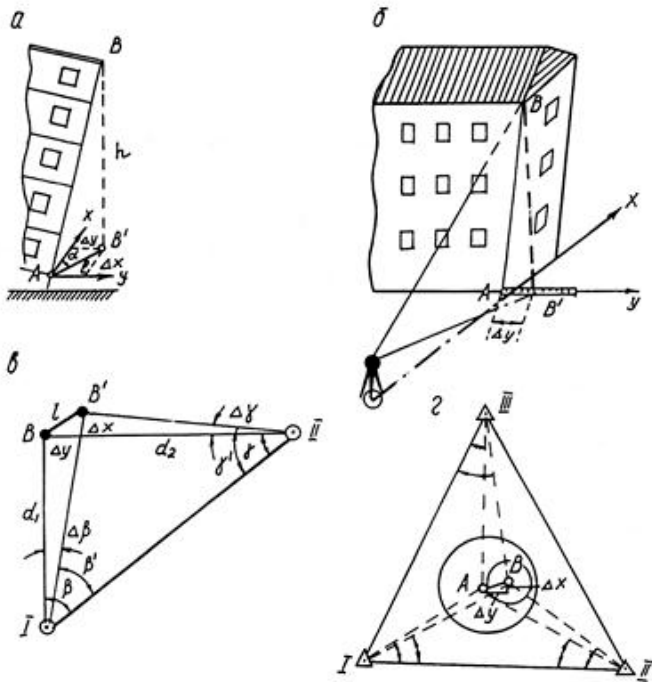


Рис. 145. Схемы измерения кренов зданий и сооружений:

a – общий случай способа вертикального проектирования; *б* – с помощью теодолита; *в* – способом горизонтальных углов; *г* – способом угловых засечек

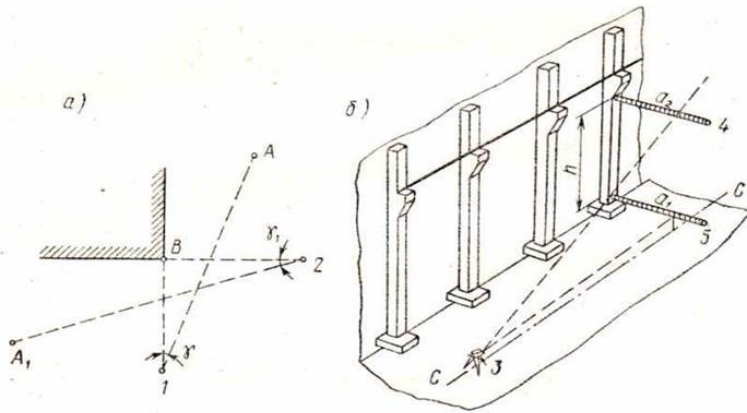


Рис. 146. Схема определения крена:
 а — измерением горизонтальных углов; б — методом бокового нивелирования; 1, 2, 3 — места расположения теодолита; A, A_1 — удаленные предметы местности; B — марка на верхнем обресе стены; C — створ; 4, 5 — положения реек для снятия отсчетов a_1 и a_2

Измерение крена здания, башенного сооружения методом вертикальной плоскости следует выполнять с двух опорных точек (станций) по возможности по взаимно перпендикулярным направлениям при помощи высокоточного теодолита или электронного тахеометра. Проецирование верхних и нижней (опорной) точек, принадлежащих данной вертикальной оси сооружения, на горизонтально установленную рейку необходимо выполнять при двух положениях вертикального круга (при КП и КЛ) теодолита.

С помощью оптических или лазерных приборов вертикального проецирования положение искомой точки должно определяться не менее чем тремя приемами при четырех ориентациях (через 90°) прибора. Проецирование производят на квадратную палетку, закрепленную на требуемом горизонте.

Новые технологии геодезических изысканий и геодезического обеспечения строительства транспортных коммуникаций.

Сущность инновационных технологий геодезических изысканий и использования цифровых моделей местности в автоматизированном проектировании автомобильных дорог. Цифровые данные результатов полевых геодезических работ на трассах автомобильных дорог и данные, полученные по имеющимся картографическим материалам, используются в проектировании дорог и дорожных сооружений.

В настоящее время проектирование выполняется в геоинформационных системах CREDO.

Указанные системы проектирования созданы компанией «Кредо-Диалог», имеющей эффективно работающий филиал в г. Минске.

Программные продукты компании обеспечивают вариантность проектирования автомобильных дорог с экономической и экологической оценкой вариантов проектных решений. Геоинформационная система наполняется набором цифровых данных в результате комплексных полевых геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и других изысканий. Функционал CREDO ДОРОГИ обеспечивает специалисту возможность проектировать автомобильные дороги всех технических категорий.

За время своего развития комплекс программных продуктов КРЕДО прошел путь от системы проектирования нового строительства и реконструкции автомобильных дорог (САПР КРЕДО) до многофункционального комплекса. С помощью программных продуктов КРЕДО обеспечивается автоматизированная обработка данных в геодезических, землеустроительных работах, инженерных изысканиях; подготовка данных для различных геоинформационных систем; создание и инженерное использование цифровых моделей местности; автоматизированное проектирование транспортных коммуникаций, генеральных планов объектов промышленного и гражданского строительства.

В настоящее время комплекс КРЕДО состоит из нескольких крупных систем и ряда дополнительных задач. Все они объединены в единую технологическую цепочку обработки информации - от производства изысканий и проектирования до последующей эксплуатации объекта. Каждая из систем комплекса позволяет не только автоматизировать обработку информации в различных областях (инженерно-геодезические, инженерно-геологические изыскания, проектирование и другие), но и сформировать единое информационное пространство, описывающее исходное состояние территории (модели рельефа, ситуации, геологического строения) и проектные решения создаваемого объекта.

Основные функции комплекса КРЕДО:

- камеральные работы при создании государственных и местных сетей геодезической опоры;
- камеральная обработка инженерно-геодезических изысканий;
- обработка геодезических данных при проведении геофизических разведочных работ;
- подготовка данных для создания цифровой модели местности инженерного назначения;
- создание и корректировка цифровой модели местности инженерного назначения на основе данных изысканий и существующих картматериалов;
- формирование чертежей топопланов и планшетов на основе созданной цифровой модели местности, экспорт данных по цифровой модели местности в системы автоматизированного проектирования и геоинформационные системы;
- обработка лабораторных данных инженерно-геологических изысканий;
- создание и корректировка цифровой модели геологического строения площадки или полосы изысканий;
- формирование чертежей инженерно-геологических разрезов и колонок на основе цифровой модели геологического строения местности, экспорт геологического строения разрезов в системы автоматизированного проектирования;

- маркшейдерское обеспечение процесса добычи полезных ископаемых;
- проектирование генеральных планов объектов промышленного, гражданского и транспортного строительства;
- подсчет объемов земляных работ;
- проектирование профилей внешних инженерных коммуникаций;
- проектирование нового строительства и реконструкции автомобильных дорог;
- проектирование транспортных развязок;
- решение задач проектирования железных дорог;
- ведение дежурных планов территорий и промышленных объектов;
- геодезическое обеспечение строительных работ;
- геодезические работы в землеустройстве;
- подготовка сметной документации при проведении инженерно-геодезических и инженерно-геологических изысканий.

К разбивочным работам при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог, как известно, относятся работы по переносу на местность элементов автомобильной дороги и искусственных сооружений на ней в соответствии с проектными данными. Накопленный к настоящему времени опыт производства таких работ основывается главным образом на методах разбивки с использованием традиционных геодезических приборов. Методы разбивочных работ должны обеспечивать требуемую точность, надежность, простоту использования и максимальную производительность.

Использование современных геодезических GPS технологий, вместе с последними достижениями в области средств связи, предоставляет геодезистам новые, более производительные возможности при выполнении различных видов работ. В настоящее время одним из эффективных методов геодезической GPS съемки является кинематическая съемка в режиме RTK (real time kinematic), благодаря которой геодезисты могут получать координаты с точностью до

нескольких сантиметров непосредственно в полевых условиях. Высокая точность координат, полученных в результате GPS-измерений, может достигаться за счет применения дифференциального метода, позволяющего исключать ошибки, обусловленные особенностями распространения радиоволн в ионосфере, тропосфере, неточностью эфемеридной информации и других.



Рис. 147. Спутниковое оборудование для RTK съемки

Применение RTK GPS позволяет существенно повысить производительность геодезических разбивочных работ. Помимо стандартного GPS оборудования, работа в режиме реального времени требует наличия дорогостоящих средств радиосвязи и получения специального разрешения на использование радиочастоты. Обычно в состав спутникового оборудования для RTK съемки входит комплект из двух или более двухчастотных приемников GPS с антеннами и полевыми контроллерами (рис. 147). Один комплект, называемый базовой (опорной или референцной) станцией, жестко устанавливают на пункте с

известными координатами. Остальные комплекты, называемые мобильными (подвижными или роверами) приемниками, используют для определения координат объектов съемки.

Для получения высокоточных координат в режиме реального времени в состав каждого комплекта включают радиомодемы, задача которых принимать спутниковую и служебную информацию, передаваемую от базовой станции. В последнее время актуально использование сети постоянно действующих пунктов (ПДП) спутниковой системы точного позиционирования (ССТП) Республики Беларусь. На данный момент территория республики охвачена действующей сетью из 63 ПДП. При подключении GPS приемника к сети ПДП дает возможность использовать только один приемник, не приобретая второй в качестве базовой станции. Это существенно сокращает затраты на оборудование, одновременно предоставляя все преимущества работы в режиме реального времени.

В местах, где в настоящее время пока недоступна RTK съемка, работы одним приемником осуществляются с последующей камеральной обработкой полученных данных. С использованием RTK GPS-технологии можно осуществлять вынос на расстояниях до 10 км и более от пункта с известными координатами, в качестве которых можно использовать пункты ГГС или созданных ранее опорных геодезических сетей для строительства автомобильных дорог или искусственных сооружений на них. Отдельные исследования в области применения GSM-модемов показали возможность их использования на расстояниях до 30 и более километров.

Определенные в камеральных условиях проектные координаты характерных точек и элементов автомобильной дороги, подлежащих выносу и закреплению на местности, вводятся в полевой контроллер. В поле исполнитель, ориентируясь по отображаемым на дисплее контроллера координатам, корректирует положение вехи с GPS-приемником и осуществляет вынос в натуру необходимых точек.

Преимущества съемки в режиме RTK очевидны:

- Обеспечивается высокая производительность работы, так как на каждую точку съемки тратится несколько секунд.

- Качество результатов измерений гарантировано. Исполнитель может записывать готовые координаты в контроллер, отслеживать их качество и точность в любой момент, а при необходимости повторить измерения. Режим RTK съемки позволяет работать в любых системах координат, включая местные.

- Имеется возможность непосредственно в полевых условиях решать стандартные геодезические задачи (определять азимут, расстояние или площадь участка), просматривать результаты съемки и определять пропущенные участки, выносить в натуру проектные данные (от отдельных точек до сложных 3D проектов трасс и поверхностей). В камеральных условиях при передаче рабочего файла в компьютер можно сразу увидеть результаты работы без дополнительной обработки.

- Возможность использования радиомодемов на большие расстояния позволяет существенно повысить производительность работ. Расстояние от пункта с известными координатами определяется рельефом местности, погодными условиями, техническими характеристиками радиоаппаратуры (модема, радиоантенны).

В современном мире высокие технологии с невероятной скоростью проникают во все сферы жизнедеятельности и производства. Возрастают требования к оборудованию и к самому процессу производства работ, всё чаще возникает задача с минимальными трудозатратами производить работы с большой точностью и скоростью.

Принимаются решения, позволяющие вывести строительство на новый технологический уровень — работать в едином информационном пространстве с использованием автоматических систем управления техникой, внедрять технологии комплексной автоматизации и удалённого контроля за состоянием машин. В таких реалиях задача геодезического обеспечения строительства изменяется, во многом упрощается,

но во многом и усложняется — становится комплексной, многосложной.

В качестве примера можно привести современный подход к геодезическому обеспечению дорожного строительства. Он обусловлен развитием электроники и информационных технологий. Спутниковые приёмники, системы управления дорожными машинами Leica iCON (системы нивелирования 3D) — всё это позволяет минимизировать человеческий фактор в производстве работ, получить точные результаты быстро, с минимальными затратами.



Рис. 148. Система управления дорожными машинами Leica iCON

Проектные данные загружаются напрямую, удалённо, задача геодезиста заключается в подготовке данных и в периодическом контроле полученной поверхности. В результате использования этих новых технологий представителями подрядчиков, проектировщиков и заказчиков были сделаны следующие выводы:

- системы нивелирования 3D высокоэффективны для формирования поверхностей любой сложности, даже при отсутствии геодезической разбивки. Точность сформированной поверхности соответствует нормативам строительства и составляет ± 2 см в плане и по высоте;

- для работы системы нивелирования по всем слоям дорожной одежды необходимы цифровые модели поверхностей по каждому слою, благодаря чему машинист сможет работать, контролируя боковое смещение отвала и край насыпи. Данные модели экспортируются напрямую из программного комплекса AutoCAD, «Топоматик Robur — Автомобильные дороги» или другого ПО;

- использование роверного геодезического комплекта позволяет мастеру участка, а также другим специалистам, производить работы по разбивке, съёмке, подсчёту объёмов, контролю формируемых поверхностей без дополнительной подготовки, в режиме реального времени круглосуточно;

- экономия на ГСМ, за счёт количества проходов, а также независимость от геодезической разбивки, отсутствие брака и переделок, автономность работы системы позволяет получить производственный и экономический эффект сразу, особенно на крупных объектах дорожного строительства;

- внедрение систем 3D-нивелирования в производственный процесс обосновано.

Современные решения Leica iCON позволяют исключить постоянные операции по разбивке, системы работают независимо — 24 часа в сутки, что позволяет сразу прогнозировать результат в единицах готового полотна.

РАЗДЕЛ II. ПРАКТИЧЕСКИЙ

Перечень тем лабораторных занятий

1. Изучение устройства мерной ленты, рулетки, лазерной рулетки, эккера, эклиметра, работа с ними.
2. Устройство технического теодолита, геометрические требования к осям, приведение его в рабочее положение: центрирование, горизонтирование, установка зрительной трубы для наблюдений по глазу и предмету, устранение параллакса.
3. Поверки и юстировки технического теодолита.
4. Измерение горизонтальных углов способом приемов, измерение вертикальных углов.
5. Изучение устройства нивелира. Типы нивелиров и их основные части, установка прибора в рабочее положение, определение превышений между точками.
6. Поверки и юстировки нивелира с уровнем и с компенсатором.
7. Тахеометрическая съемка наклонным и горизонтальным лучом визирования с записью в журнал, обработка журнала.
8. Изучение номенклатуры карт и планов.
9. Определение географических и прямоугольных координат точек по карте. Ориентирование линий. Определение дирекционных углов и азимутов, сближения меридианов.
10. Определение высот точек по карте, расстояний между ними, вычисление уклонов, измерение заложений и определение крутизны ската.
11. Изучение основных форм рельефа.
12. Подготовка данных (расчет разбивочных элементов) для выноса оси сооружения в натуру с оценкой точности. Вынос оси в натуру.

Перечень тем расчетно-графических работ.

Расчетно-графические работы по составлению топографического плана участка местности.

1. Обработка полевого журнала измерения углов и длин линий теодолитного хода.
2. Определение координат точек теодолитного хода: уравнивание измеренных углов, вычисление дирекционных углов сторон хода и приращений координат. Оценка точности угловых и линейных измерений, вычисление координат.
3. Построение координатной сетки и ее оцифровка. Составление контурного плана горизонтальной съемки.
4. Обработка полевого журнала технического нивелирования: вычисление и уравнивание превышений, определение высот точек нивелирных ходов.
5. Вычислительная обработка журнала тахеометрической съемки. Составление плана тахеометрической съемки.
6. Обработка результатов нивелирования по квадратам, составление плана.
7. Изображение рельефа горизонталями.
8. Рисовка элементов ситуации, их вычерчивание в условных топографических знаках. Зарамочное оформление топографического плана.
9. Вычислительная обработка журнала технического нивелирования трассы автодороги.
10. Расчет элементов и пикетных значений главных точек круговых кривых.
11. Составление ведомости углов поворота, прямых и кривых.
12. Построение продольного и поперечного профилей трассы автодороги.

Лабораторная работа № 1

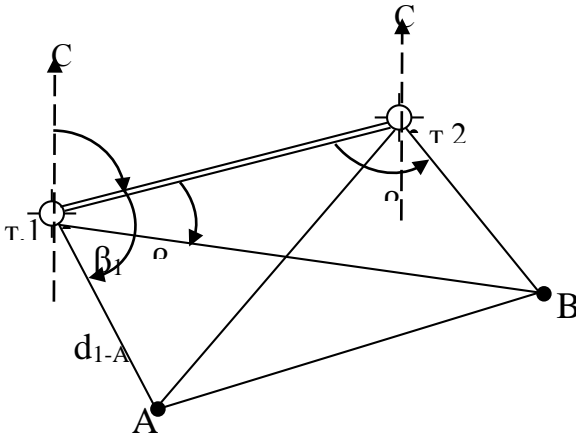
Расчет геодезических элементов по выносу оси трассы в натуру

1. На плане М 1:1000 запроектировать ось трассы от точки А до точки В длиной 120-130 м.

2. Выполнить расчеты для выноса в натуру точки А полярным способом, точки В – угловой засечкой.
3. Координаты точек А и В определить графически с плана с точностью до 0,01 м (до 1 см).
4. Координаты точек т.1 и т.2 и дирекционный угол α_{1-2} выписать из ведомости вычисления координат точек теодолитного хода (см. листок).

Таблица исходных данных

Номер точки	Дирекц. угол α	Координаты, м	
		X	Y
т.1			
т.2			
А			
В			



Решение

$$1. \operatorname{tg} \alpha_{1-A} = \frac{Y_A - Y_1}{X_A - X_1} = \frac{\Delta Y_{A-1}}{\Delta X_{A-1}} = \alpha_{1-A} =$$

$$\beta_1 = \alpha_{1-A} - \alpha_{1-2} =$$

$$d_{1-A} = \frac{\Delta Y_{A-1}}{\sin \alpha_{1-A}} = \frac{\Delta X_{A-1}}{\cos \alpha_{1-A}} = \sqrt{\Delta Y_{A-1}^2 + \Delta X_{A-1}^2} =$$

$$2. \operatorname{tgr}_{1-B} = \frac{Y_B - Y_1}{X_B - X_1} = \alpha_{1-B} = \alpha_{2-B} =$$

$$3. \operatorname{tgr}_{2-B} = \frac{Y_B - Y_2}{X_B - X_2} = \beta_2 = \alpha_{1-B} - \alpha_{1-2} = \alpha_{2-1} = \alpha_{1-2} + 180^\circ =$$

$$\beta_3 = \alpha_{2-1} - \alpha_{2-B} =$$

4. Оценка точности выноса в натуру точки А полярным способом:

$$m_A = \sqrt{\left(\frac{m_d}{d}\right)^2 d_{1-A}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho'}\right)^2 d_{1-A}^2 + m_\phi^2} =$$

где $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{2000}$ – относительная погрешность откладывания

расстояния;

$m_\beta = \pm 0,5'$ – погрешность построения проектного угла; $\rho' = 3438'$;

$m_\phi = 0,005^m$ – погрешность фиксации положения точки А на местности;

На схеме показать дирекционные углы направлений: α_{1-B} ,

α_{2-B} , α_{2-1} .

Вместо значений d_{1-A} , β_1 , β_2 , β_3 на схеме указать их вычисленные значения.

Лабораторная работа № 2

Работа с нивелиром НЗ

Измерение превышений в треугольнике ABC и вычисление отметок его вершин.

Формулы для вычислений C_{T2}

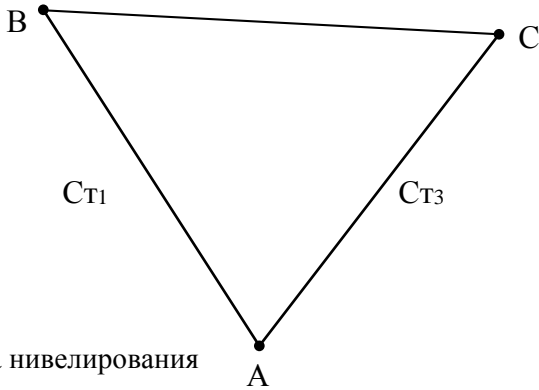


Схема нивелирования

Формулы для вычислений

$$h_1 = a_1 - b_1 \quad h_2 = a'_1 - b'_1$$

$$|h_1 - h_2| \leq 5 \text{ мм}$$

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{2} \quad f_h = \sum h_{\text{ср}}$$

$$f_{h_{\text{доп}}} = 30 \text{ мм} \sqrt{L(\text{км})} =$$

$$= 30 \sqrt{\quad} = \pm$$

$$f_h \leq f_{h_{\text{доп}}}$$

Журнал технического нивелирования (рейки односторонние)

$H_A = 200,000$ м + количество метров, равное номеру студента в журнале

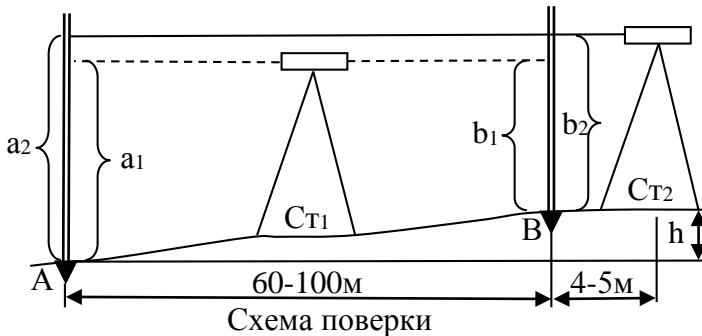
№ станции	Номер точки	Отсчеты по рейке		Превышения ()		Высота точки, Н
		задней	передней	вычисленное	среднее	
1	А	a ₁ _ a' ₁ _	b ₁ _ b' ₁ _			

	B					
2	B	a'_{1-}	b_{1-}			
	C	a'_{1-}	b'_{1-}			
3	C	a_{1-}	b_{1-}			
	A	a'_{1-}	b'_{1-}			

$$\sum h_{cp} =$$

Проверка главного геометрического условия нивелира НЗ:

Визирная ось и ось цилиндрического уровня должны быть параллельны.



$$h_1 = a_1 - b_1 =$$

$$h_2 = a_2 - b_2 =$$

Если $|h_1 - h_2| \leq 5\text{мм}$ – условие выполнено.

В противном случае для юстировки вычисляют правильный отсчет по дальней рейке в точке А $a'_2 = b_2 + h_1$. Горизонтальную нить сетки наводят элевационным винтом на этот отсчет (при этом пузырек уровня отклонится от середины). Ослабляют боковые исправительные винты и возвращают вертикальными винтами пузырек уровня на середину.

Выполнил студент _____ гр. _____

Лабораторная работа № 3
Работа с нивелиром НЗ в полевых условиях

1. Поверки и юстировки нивелира НЗ

1.1. Поверка круглого (установочного) уровня: ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

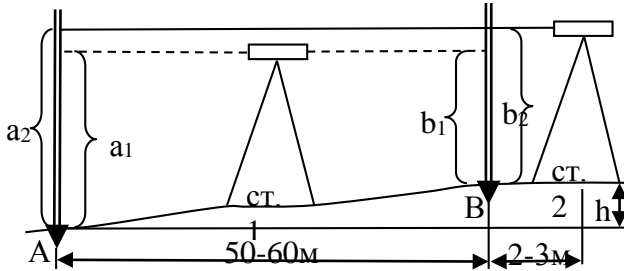
Порядок выполнения. Двумя подъемными винтами приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Если после поворота верхней части нивелира на 180° пузырек останется в нуль-пункте – условие выполнено.

Юстировка. В противном случае, действуя исправительными винтами уровня, перемещают пузырек в направлении к нуль-пункту на половину дуги отклонения.

1.2. Поверка главного геометрического условия нивелира НЗ: визирная ось трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня.

Порядок выполнения. Поверку выполняют двойным нивелированием «из середины» и «вперед». Для этого закрепляют неподвижно две нивелирные рейки на расстоянии 50-60 м, а нивелир устанавливают между ними на середине с погрешностью 1 м. Расстояния до реек измеряют нитяным дальномером. Определяем превышение h_1 между рейками как разность отсчетов на заднюю a_1 и переднюю b_1 рейки. Затем выбираем вторую станцию на расстоянии предела фокусирования (2-3 м) от одной из реек и берем отсчеты a_2 и b_2 . Превышения, полученные на ст.1 и ст.2, не должны отличаться, более чем на 5 мм.

Юстировка. В противном случае вычисляем правильный отсчет по дальней рейке в точке А $a'_2 = b_2 + h_1$. Устанавливаем вычисленный отсчет на рейке элевационным винтом (при этом пузырек цилиндрического уровня отклонится от середины), а исправительными винтами цилиндрического уровня (двумя вертикальными, предварительно ослабив один горизонтальный) приводят пузырек уровня на середину.



$$h_1 = a_1 - b_1 =$$

$$h_2 = a_2 - b_2 =$$

$$|h_1 - h_2| \leq 5\text{мм}$$

$$a'_2 = b_2 + h_1 = \underline{\quad}$$

Номер станции	Номер точки	Отсчеты по рейке		Превышение	
		задней	передней	Вычисленное	разность
ст. 1	A	a ₁ _		h ₁ =	h ₁ - h ₂ =
	B		b ₁ _		
ст. 2	A	a ₂ _		h ₂ =	—
	B		b ₂ _		

Нивелирование замкнутого нивелирного хода из 3-х точек

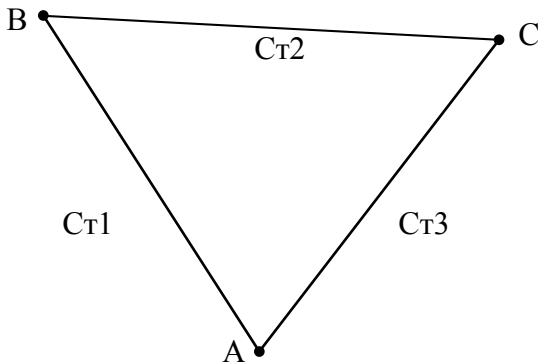


Схема нивелирования

$$h_1 = a_1 - b_1, \quad h_2 = a'_1 - b'_1$$

$$|h_1 - h_2| \leq 5 \text{ мм}$$

$$f_h = \sum h_{\text{ср}}$$

$$f_{h_{\text{доп}}} = 30 \text{ мм} \sqrt{L} (\text{км}) =$$

$$= 30 \sqrt{0,25} = \pm 15 \text{ мм}$$

$$f_h \leq f_{h_{\text{доп}}}$$

№ стан-ции	Номер точки	Отсчеты по рейке		Превышение (Высот а точки, Н
		зад ней	пере дней	вычислен ное	среднее	
1	А	a ₁ _				20..,00 0
	В	a' ₁ _	b ₁ _ b' ₁ _			
2	В	a ₁ _	b ₁ _			
	С	a' ₁ _	b' ₁ _			
3	С	a ₁ _				20..,00 0
	А	a' ₁ _	b ₁ _ b' ₁ _			

$$\sum h_{\text{ср}} =$$

3. Вынос проектной отметки в натуру

При выполнении полевых работ всегда известна проектная отметка точки В ($H_{B_{\text{пр.}}}$) и высота временного репера

А ($H_{P_{п.А}}$).

$$\text{Дано: } H_{P_{п.А}} = \text{---}; \quad H_{B_{\text{пр.}}} = \text{---}; \quad a \text{ ---}.$$

Порядок выполнения. Для выноса проектной отметки нивелир устанавливают примерно посередине между репером и точкой B , приводят его в рабочее положение и берут отсчет a по черной стороне рейки, установленной на репере. Вычисляем горизонт прибора $ГП = H_{рп.А} + a$.

$$ГП = \underline{\hspace{2cm}}$$

Потом вычисляем отсчет $b_{пр.}$ $b_{пр.} = ГП - H_{Впр.}$

$$b_{пр.} = \underline{\hspace{4cm}}$$

Затем передвигают рейку на точке B по команде наблюдателя вверх или вниз до получения вычисленного отсчета $b_{пр.}$, называемого «проектной рейкой». В этом случае пятка (нуль) рейки будет находиться на необходимой проектной высоте, которую отмечают карандашом или мелом на сооружении.

Для проверки достоверности выноса проектной отметки выполняют повторное нивелирование относительно другого репера.

4. Построение линии заданного уклона с помощью нивелира

Дано: $H_{рп.А} = \underline{\hspace{2cm}}$; $a = \underline{\hspace{2cm}}$; $i_{пр.} = 0,0 \underline{\hspace{2cm}}$; $d_{B-1} = d_{1-2} = d_{2-3} = 3,5$ м.

Выверенный нивелир устанавливаем вблизи линии и берем отсчет a по рейке, поставленной на точке B . Находим горизонт прибора $ГП = H_{рп.А} + a$.

$$ГП = \underline{\hspace{4cm}}$$

$$H_{Впр.} = H_B = \underline{\hspace{2cm}} \text{ (из задания № 3).}$$

Затем определяем проектные высоты точек 1, 2 и 3:

$$H_1 = H_B + id_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$H_2 = H_B + i(d_1 + d_2) = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$H_3 = H_B + i(d_1 + d_2 + d_3) = \underline{\hspace{2cm}}$$

Отсчеты по рейке, устанавливаемой последовательно на верхние срезы вбиваемых колышков в грунт, в точках 1, 2, 3 будут:

$$b_1 = ГП - H_1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$b_2 = \text{ГП} - H_2 = \underline{\hspace{10em}}$$

$$b_3 = \text{ГП} - H_3 = \underline{\hspace{10em}}$$

Над каждой точкой 1, 2, 3 опускаем или поднимаем рейку до тех пор, пока отсчет по ней окажется соответственно равным b_1 , b_2 , b_3 , тогда пятка рейки будет находиться на соответствующих проектных высотах. Прямая, проходящая через отмеченные точки, и будет линией проектного уклона.

Выполнил студент гр. ___ (фамилия)

Лабораторная работа № 4 **Работа с теодолитом 2 Т30**

1. Поверки теодолита

1.1. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора.

Порядок выполнения. Устанавливают цилиндрический уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая их, приводят пузырек на середину. Затем поворачивают уровень на 180° и, если пузырек отклонился более чем на одно деление, то исправительными винтами уровня смещают его к центру ампулы на половину отклонения.

1.2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна оси вращения трубы.

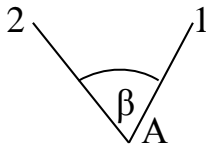
Порядок выполнения. Теодолит горизонтируют, наводят трубу на удаленную точку и берут отсчеты по горизонтальному кругу (ГК) при КЛ и КП. Если отсчеты отличаются не более чем на $2t$ ($1'$), то теодолит исправен. В противоположном случае имеет место коллимационная погрешность (c'). Вычисляют отсчет $\text{КЛ}_{\text{испр.}} = \text{КЛ} - c$, или $\text{КП}_{\text{испр.}} = \text{КП} + c$.

1.3. Место нуля (M_0) – это отсчет по вертикальному кругу (ВК), когда визирная ось трубы горизонтальна, а пузырек уровня при алидаде находится в нуль-пункте. M_0 должно быть равно нулю или отличаться от нуля не более чем на двойную точность отсчетного устройства, т.е. на $2t$. Порядок выполнения. Совместно с пунктом 1.2 берут отсчеты по ВК при КЛ и КП при наведении средней нити на точку. Если M_0 больше чем $2t$, то вычисляют $\text{КЛ}_{\text{испр.}} = \text{КЛ} - M_0$, или $\text{КП}_{\text{испр.}} = \text{КП} + M_0$.

Порядок юстировки. Устанавливают на ГК и ВК теодолита отсчеты КЛиспр. (или КПиспр.). При этом центр сетки нитей сойдет с наблюдаемой точки. Действуя исправительными винтами сетки, передвигают ее до совмещения центра сетки нитей с изображением точки. Затем выполняется контрольная поверка.

№ станции	№ точки визир.	Круг	отсчеты		2 ТЗ0 C = (КЛ-КП±180) / 2 ≤ 1' МО = (КЛ+КП)/2 ≤ 1' v = КЛ - МО
			ГК (С)	ВК (МО)	
А	1	КЛ КП	— —	— —	C = _____ МО = _____ v = _____

2. Измерение горизонтального угла способом приемов



№ ст.	№ точки визир.	Круг	Отсчеты по ГК ° ,	Горизонтальный угол		Схема измерения угла
				Измерен. ° ,	Средний ° ,	
А	1	КЛ	_____			
	2		_____			
	1	КП	_____		—	
	2		_____			

3. Тахеометрическая съемка 3-х точек теодолитом-тахеометром

Станция А. Ориентирование на станцию В

Высота станции $H_{ст.} =$ _____ м Дата наблюдения _____

Высота прибора $I =$ _____ м Наблюдения при КЛ.

Горизонт прибора $\Gamma\Pi =$ _____ м Место нуля ВК М0

№ точки	Расстояние по дальномеру d	Отсчеты по		Угол наклона v	Высота наведения V	Неполное превышение h'	I-V	Полное превышение h	Высота точки H
		ГК ° '	рейке или ВК ° '						
В		0°00'							
1									
2									
3									
В		0°00'							

Выполнил студент гр. _____

Лабораторная работа № 5
Работа с теодолитом 2Т30 в полевых условиях

1. Поверки и юстировки теодолита 2Т30

1.1. Ось цилиндрического уровня (касательная к внутренней поверхности ампулы в нульпункте) должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения прибора.

Порядок выполнения. Устанавливают цилиндрический уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая их, приводят пузырек на середину. Затем поворачивают уровень на 180° , пузырек уровня должен оставаться в центре ампулы.

Юстировка. Если пузырек уровня отклонился более чем на одно деление, исправительными винтами уровня перемещают его на половину дуги отклонения от середины ампулы, на вторую половину дуги отклонения пузырек уровня перемещают при помощи подъемных винтов, по направлению которых он стоит.

1.2. Визирная ось зрительной трубы (ось, проходящая через оптический центр объектива и перекрестие сетки нитей) должна быть перпендикулярна оси вращения трубы.

Порядок выполнения. Наводят визирную ось трубы на удаленную четко видимую на горизонте точку и снимают отсчеты по горизонтальному кругу при КЛ и КП. Отсчеты должны отличаться на $180^\circ 00'$, в противном случае имеет место коллимационная погрешность. $C = (КЛ - КП \pm 180^\circ) / 2 \leq 2t$, t – точность отсчетного устройства.

Юстировка. Вычисляют средний отсчет и устанавливают его на ГК. В этом случае наблюдаемая точка не будет совпадать с перекрестием сетки нитей. Предварительно ослабив один вертикальный исправительный винт, двумя горизонтальными совмещают перекрестие сетки с наблюдаемой точкой.

1.3. Место нуля (М0) вертикального круга (отсчет по ВК, когда визирная ось трубы и ось цилиндрического уровня горизонтальны) должно быть близким к нулю или отличаться от нуля не более чем на двойную точность отсчетного устройства.

Порядок выполнения. Снимают отсчеты по вертикальному кругу при КЛ и КП при наведении средней горизонтальной нити на точку. Определяют M_0 по формуле: $M_0 = (КЛ + КП) / 2 \leq 2t$.

Юстировка. Если значение M_0 недопустимо, устанавливают наводящим винтом трубы отсчет по ВК, равный углу наклона на точку ($v = КЛ - M_0$). Исправительными вертикальными винтами сетки нитей, ослабив один горизонтальный винт, совмещают среднюю горизонтальную нить с наблюдаемой точкой. Проверка осуществляется совместно с пунктом 1.2.

№ ст.	№ точки визир.	Круг	Отсчеты		2Т30 $C = (КЛ - КП \pm 180^\circ) / 2 \leq 1'$ $M_0 = (КЛ + КП) / 2 \leq 1'$ $v = КЛ - M_0$
			ГК (С)	ВК (M0)	
А	1	КЛ КП	_____ _____	_____ _____	$C =$ _____ $M_0 =$ _____ $v =$ _____

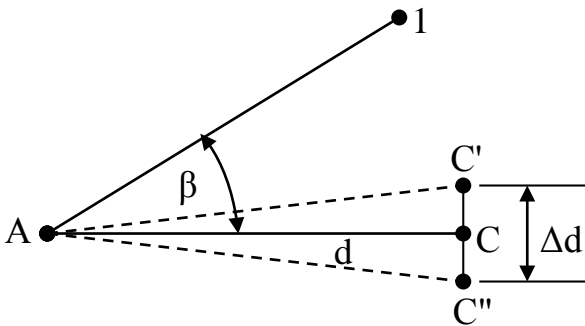
2. Измерение горизонтального угла способом приемов

Измерение горизонтального угла способом приемов заключается в том, что один и тот же угол измеряется дважды, при двух положениях вертикального круга относительно зрительной трубы – при круге слева (КЛ) и при круге справа (КП). Контроль: разность значений угла, полученная из двух измерений (КЛ и КП), не должна превышать двойной точности отсчетного устройства: $\beta_{КЛ} - \beta_{КП} \leq 2t$.

№ ст.	№ точки визир	Круг	Отсчеты по ГК	Горизонтальный угол		Схема измерения угла
				Измерен	Средний	
А	1	КЛ	_____		_____	
	2		_____			
	1	КП	_____			
	2		_____			

3. Построение на местности проектного угла с контролем (способ отложения)

Порядок выполнения. Для построения проектного угла на местности теодолит центрируем над точкой А с погрешностью 1-2 мм, приводим в рабочее положение, визируем на цель (точку 1 или север). Берем отсчет по горизонтальному кругу (ГК) при КЛ. К отсчету прибавляем численное значение угла β и устанавливаем его на ГК. На линии визирования устанавливаем шпильку, получаем точку С'. Затем построение угла повторяют при втором положении вертикального круга КП, закрепляем угол другой шпилькой и получаем точку С". Полученный отрезок между точками обусловлен коллимационной погрешностью. За окончательное положение проектного угла берем среднее из С' и С", получаем точку С. Допустимое отклонение СС" – 0,02-0,03 м на каждые 100 м расстояния АС. Погрешность построения угла 0,5-1'.



Отсчет при КЛ: _____
+ _____
= _____

$$\Delta d = (2C \times d) / \rho';$$

$$\rho' = 3438'$$

$$C = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$d = 70 \text{ м.}$$

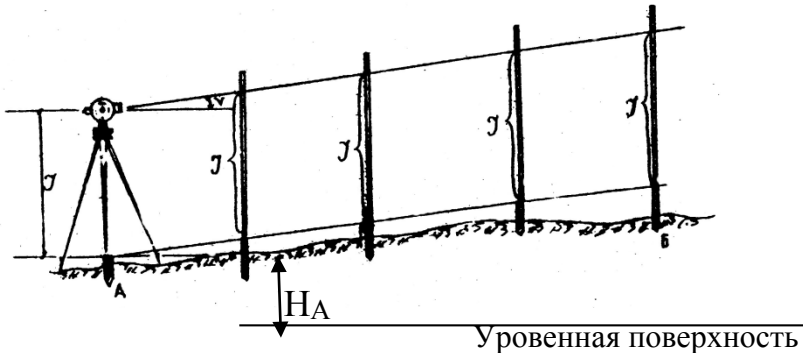
$$\Delta d = \underline{\hspace{4cm}}$$

Отсчет при КП:

4. Построение линии заданного уклона теодолитом

Порядок выполнения. Для этого располагают теодолит над точкой А с вынесенной в натуру проектной отметкой H_A , приводят его в рабочее положение, измеряют высоту прибора I и определяют место нуля (М0) вертикального круга (ВК). Вычисляют отсчет по ВК теодолита, при котором наклон визирной оси будет равен проектному уклону, для чего вычисляют угол наклона $v = \arctg i$. Отсчет по вертикальному кругу теодолита, соответствующий проектному уклону, $КЛ = M0 + v$.

Далее наводят трубу теодолита по заданному направлению, устанавливают на вертикальном круге вычисленный отсчет КЛ и в нужных местах забивают колышки до уровня, при котором отсчет по рейке будет равен I .



$M0 =$ _____

$I =$ _____

$i =$ _____

$v =$ _____

$КЛ =$ _____

Выполнил студент гр. _____

РАЗДЕЛ III. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы.

1. Предмет и задачи инженерной геодезии.
2. Форма и размеры Земли.
3. Влияние кривизны Земли при измерении расстояний и высот.
4. Основные системы геодезических координат.
5. Зональная система прямоугольных координат Гаусса-Крюгера.
6. Система высот в геодезии.
7. Ориентирование линий. Азимуты, дирекционные углы, румбы.
8. Связь между ориентируемыми углами.
9. Прямая и обратная геодезические задачи.
10. Уравнивание приращений координат теодолитного хода.
11. Государственные геодезические сети. Плановая геодезическая сеть. Высотная геодезическая сеть.
12. Методы построения плановых геодезических сетей.
13. Геодезические пункты. Высотные знаки.
14. Разграфка и номенклатура топографических карт.
15. Масштабы планов и топографических карт.
16. Условные знаки топографических карт.
17. Изучение рельефа по карте.
18. Погрешности измерений.
19. Свойства случайных погрешностей измерений.
20. Измерение горизонтальных углов.
21. Погрешности измерения горизонтальных углов.
22. Измерение вертикальных углов. Место нуля вертикального круга.
23. Методы нивелирования.
24. Способы геометрического нивелирования.

25. Линейные измерения. Средства измерений их точность.

Измерение расстояний стальной лентой.

26. Определение неприступных расстояний.

27. Теодолитная съемка. Способы съемки ситуации.

28. Построение плана теодолитной съемки.

29. Тахеометрическая съемка. Используемые приборы и формулы.

Порядок работы на станции.

30. Классификация видов и методов аэрофотосъемки

31. Виды космических съемок

32. Нивелирование поверхности участка по квадратам.

Вычислительная обработка журнала технического нивелирования.

33. Погрешности измерений. Средняя квадратическая погрешность. Формулы Гаусса и Бесселя.

34. Разбивочные сети, назначение, точность. Строительные сетки.

35. Способы определения разбивочных элементов.

36. Вынос и закрепление основных осей. Детальная разбивка сооружений.

37. Вынос проектных высот.

38. Виды деформаций и методы их измерения.

Наблюдение за осадками сооружений.

39. Трасса и ее основные элементы.

40. Полевое и камеральное трассирование.

41. Процессы полевого трассирования.

42. Профиль трассы, его содержание.

43. Основные элементы круговых кривых.

44. Расчет прямых вставок, пикетажных значений начала и конца круговой кривой.

Вопросы и примеры задач для подготовки к экзамену

1. Предмет и задачи инженерной геодезии.
2. Форма и размеры Земли.
3. Основные системы геодезических координат.
4. Зональная система прямоугольных координат Гаусса-Крюгера.
5. Географические координаты.
6. Система высот в геодезии.
7. Ориентирование линий. Азимуты, дирекционные углы, румбы.
8. Связь между ориентируемыми углами.
9. Прямая и обратная геодезические задачи.
10. Вычисление приращений координат теодолитного хода.
11. Государственные геодезические сети. Плановая геодезическая сеть. Высотная геодезическая сеть.
12. Методы построения плановых геодезических сетей.
13. Разграфка и номенклатура топографических карт.
14. Масштабы планов и топографических карт.
15. Условные знаки топографических карт.
16. Изучение рельефа по карте.
17. Решение инженерно-геодезических задач по картам и планам.
18. Свойства случайных погрешностей измерений.
19. Способы измерения горизонтальных углов.
20. Измерение вертикальных углов. Место нуля вертикального круга.
21. . Способы геометрического нивелирования.
22. Тригонометрическое нивелирование.
23. Работа и контроль на станции при техническом нивелировании. Расчет высотной невязки.
24. Линейные измерения. Средства измерений их точность. Измерение расстояний стальной лентой.
25. Определение недоступных расстояний.

26. Теодолитная съемка. Способы съемки ситуации.
27. Построение плана теодолитной съемки.
28. Тахеометрическая съемка. Используемые приборы и формулы. Порядок работы на станции.
29. Нивелирование поверхности участка по квадратам.
30. Плановое съемочное обоснование. Теодолитные ходы.

Задачи:

Вычислить координаты точки В, если известны координаты точки А, горизонтальное проложение d_{AB} и дирекционный угол α направления АВ.

Вычислить МО и вертикальный угол, если отсчеты по вертикальному кругу при КП: $-10^{\circ}33'$ и КЛ: $10^{\circ}30'$.

Вычислить превышение определяемое методом тригонометрического нивелирования, если расстояние $D = 100,0$ м, а угол наклона визирной оси $45^{\circ}00'$.

Вычислить высоты точек В и С через горизонт прибора при геометрическом нивелировании, если высота точки А $H_A = 199,367$ м, а отсчеты по рейкам в точках А, В и С соответственно равны $a = 2956$, $b = 1911$, $c = 2511$ мм.

Определить поправку за температуру в измеренную лентой длину линии, если $D = 182,35$ м, температура компарирования $T_k = 20^{\circ}\text{C}$, а температура, при которой производились измерения $T = -2^{\circ}\text{C}$.

Уравнять (увязать) измеренные горизонтальные углы в треугольнике, вычислить дирекционные углы, указать знаки приращений координат.

Уравнять (увязать) превышения разомкнутого нивелирного хода.

При помощи теодолита измерить горизонтальный угол.

При помощи нивелира измерить превышение.

По топографической карте, определить географические широту φ и долготу λ , определить прямоугольные координаты x и y , высоту (отметку) H .

По топографической карте определить дирекционный угол, магнитный азимут и географический азимут назначенной преподавателем прямой линии.

Даны координаты точки А, горизонтальное проложение d_{AB} , дирекционный угол линии АВ α_{AB} . Вычислить координаты точки В.

Вычислить горизонтальное проложение (d_{AB}) и дирекционный угол (α_{AB}) линии АВ по известным координатам ее точек.

Вычислить поправку за наклон ΔD в измеренное расстояние D , если его угол наклона ν . Найти горизонтальное проложение d .

Интерполировать квадрат со стороной (М) с высотами.

Определить превышение между точками тригонометрического нивелирования если: угол наклона зрительной трубы ν , высота прибора I , высота наведения V , а отсчёт по дальномеру D .

Определить неприступное расстояние между точками А и С, если горизонтальный угол в точке В, а базисы АВ и СВ.

РАЗДЕЛ IV. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ

УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

Учебная программа по учебной дисциплине «Инженерная геодезия» разработана для специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги».

Распределение аудиторных часов по курсам, семестрам и видам занятий приведено ниже.

Таблица 1.

Очная форма получения высшего образования					
Курс	Семестр	Лекции, ч.	Лабораторные занятия,ч.	Всего	Форма текущей аттестации
1	1	32	16	48	экзамен
1	2	18	18	36	экзамен
Итого		50	34	84	

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

ГЛАВА I. ГЕОДЕЗИЯ

Тема 1.1. Общие понятия и определения

Предмет геодезии, решаемые задачи, значение в народном хозяйстве.

Объекты геодезических измерений: горизонтальный и вертикальный углы, линия, превышение.

Современные представления об обобщенных геометрических моделях Земли: геоид, квазигеоид, эллипсоид, референц-эллипсоид, земной шар, их размеры. Изображение земной поверхности на сфере и плоскости.

Системы координат, используемые в геодезии: географическая (геодезическая, астрономическая), геоцентрическая и квазигеоцентрическая, плоская прямоугольная Гаусса-Крюгера, местная прямоугольная, полярная.

Ориентирование направлений. Азимуты, румбы, дирекционные углы. Сближение меридианов, склонение магнитной стрелки. Связь между углами ориентирования, между прямыми и обратными дирекционными углами и азимутами, между дирекционными углами смежных линий. Прямая и обратная геодезические задачи на плоскости.

Геодезические сети (ГС). Принципы и методы построения государственной геодезической сети (ГГС). ГС сгущения, съёмочное обоснование. Закрепление пунктов ГС на местности.

Топографические карты и планы. Содержание карт и планов, масштабы и точность изображения. Номенклатура топографических карт и планов. Основные формы рельефа. Изображение ситуации и рельефа на топографических картах и планах. Условные знаки, их виды. Определение площади участков (способы: аналитический, геометрический, механический).

Основные понятия теории погрешностей и оценки точности геодезических измерений. Правила ведения числовой обработки результатов измерений.

Классификация погрешностей измерений, свойства случайных погрешностей. Среднее арифметическое. Средняя квадратическая и предельная погрешности измерений. СКП функций измеренных величин. Неравноточные измерения.

Тема 1.2. Геодезические измерения

Угловые измерения. Горизонтальные и вертикальные углы, принцип их измерения, приборы для измерения углов. Устройство теодолита, отсчетные приспособления: штриховой и шкаловый микрометры, микрометр. Приведение теодолита в рабочее положение. Типы теодолитов. Электронные теодолиты и тахеометры. Поверки и юстировки теодолитов. Способы и методики измерения горизонтальных углов. Измерение

вертикальных углов, место нуля (М0) вертикального круга. Погрешности угловых измерений и их источники.

Измерение расстояний. Обозначение линий на местности. Вешение линий. Средства линейных измерений, их классификация по используемой физической основе и по точности измерений, основные точностные характеристики. Компарирование лент и рулеток. Оптические дальномеры (нитяные, двойного изображения), принцип их действия, устройство, поверки. Светодальномеры. Лазерные дальномеры, принцип их работы, методика измерений. Навигационная система глобального позиционирования.

Нивелирование. Сущность. Методы: геометрическое, тригонометрическое, физическое, стереофотограмметрическое, автоматическое. Геодезические спутниковые системы. Нивелиры с цилиндрическим уровнем и с компенсатором, цифровые и лазерные нивелиры. Классификация нивелиров по точности. Способы геометрического нивелирования и вычисления высот. Устройство нивелиров. Полевые поверки и юстировки нивелиров с уровнем и с компенсатором. Работа и контроль измерений на станции при техническом нивелировании. Последовательное нивелирование и обработка журнала. Источники погрешностей при нивелировании, их выявление и устранение.

Тригонометрическое нивелирование: сущность, схема и расчетные формулы.

Тема 1.3. Топографические съемки

Топографические съемки, их виды. Плано-высотное съемочное обоснование. Горизонтальная съемка: сущность, способы, абрис, приборы и приспособления, составление контурного плана.

Тахеометрическая съемка: сущность, приборы, методика съемки, абрис, составление топографического плана. Автоматизация тахеометрической съемки.

Аэрофотосъемка. Классификация видов и методов аэрофотосъемки. Геометрические параметры аэрофотосъемки.

Космическая съемка. Сущность космической съемки. Виды космических съемок. Способы определения масштаба космического снимка.

Нивелирование поверхности. Способы нивелирования: по квадратам, по параллельным линиям, по магистралям, полярный. Нивелирование улиц, площадей, застроенных участков, составление топографического плана

ГЛАВА II. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Тема 2.1. Картометрические работы

Определение географических, зональных прямоугольных координат точек, их высот, углов ориентирования линий, общих и частных уклонов линий, крутизны скатов аналитическим и графическим способами. Построение профиля местности по картометрическим данным.

Тема 2.2. Геодезические работы при изысканиях транспортных объектов

Трасса и ее основные элементы. Прямые и кривые, виды кривых. Основные точки и элементы круговой кривой. Разбивка и расчет пикетажа. Камеральное трассирование. Ведомость углов поворота, прямых и кривых.

Переходные (клатоидные) кривые: их сущность, назначение, основные элементы. Формулы вычисления координат клатоидного закругления. Расчет пикетажных значений основных точек переходных кривых.

Полевое трассирование, состав работ: рекогносцировка и вынесение проекта трассы в натуру, определение углов поворота, линейные измерения, разбивка пикетажа, разбивка и закрепление поперечных профилей на трассе, съемка притрассовой зоны, вычисление и разбивка основных точек круговых кривых, детальная разбивка кривых, способы разбивки. Перенос пикетов на кривую. Обработка полевых материалов трассирования.

Нивелирование трассы. Связующие и промежуточные точки, иксовые точки. Контроль при нивелировании трассы. Точность нивелирования. Обработка журнала. Составление продольного и поперечного профилей.

Решение инженерно-геодезических задач на сложных участках трассы: вешение линий через преграду, определение неприступного расстояния, определение основных точек кривой при недоступности вершины угла, нивелирование на заболоченных участках, крутых склонах и оврагах, через водотоки.

Исполнительные съемки (ИС) автодорог. ИС подземных коммуникаций и скрытых работ, отдельных элементов сооружений. Исполнительная документация.

ГЛАВА III. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации транспортных объектов.

Тема 3.1. Геодезические работы при перенесении в натуру проектов инженерных сооружений.

Построение плановых и высотных разбивочных сетей. Теодолитный ход, линейно-угловые построения, аналитические сети, строительная сетка, нивелирные ходы.

Перенесение в натуру проектов инженерных сооружений. Сущность и основные принципы разбивочных работ. Способы определения разбивочных элементов: графический, аналитический, графоаналитический. Способы перенесения проектов в натуру: полярных координат, линейной и угловой засечек, прямоугольных координат, створных засечек.

Построение проектных углов, расстояний, превышений и высот, их закрепление. Построение линий заданного уклона. Построение плоскости по заданным уклонам.

Тема 3.2. Деформаций инженерных сооружений.

Определение деформаций инженерных сооружений. Виды деформаций, измерение осадок, сдвигов и кренов применительно к объектам транспортных коммуникаций.

Новые технологии геодезических изысканий и геодезического обеспечения строительства транспортных коммуникаций.

Средства диагностики результатов учебной деятельности

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале в соответствии с критериями, утвержденными Министерством образования Республики Беларусь.

Для оценки достижений студента используется следующий диагностический инструментарий:

- устный и письменный опрос во время лабораторных занятий;
- защита выполненных на лабораторных занятиях индивидуальных заданий;
- проведение текущих контрольных заданий по отдельным темам;
- выступление студента на конференции по подготовленному реферату;
- сдача экзамена.

Методические рекомендации по организации и выполнению самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

- решение индивидуальных заданий (задач);
- выполнение чертежей, расчетно-графических;
- подготовка рефератов по индивидуальным темам;
- подготовка сообщений, тематических докладов, презентаций по заданным темам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Инженерная геодезия: учебник для вузов / Под. Ред. Д.Ш. Михелева. – М.: Академа, 2004.
2. Инженерная геодезия: учебник / В.П. Подшивалов, М.С. Нестеренок. – Минск: Вышш. шк., 2011. – 463 с.
3. Булгаков Н.П., Рывина Е.М., Федотов Г.А. Прикладная геодезия. – М.: Недра, 1990. – 415 с.
4. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия: Учебник для вузов. –М.: Вышш. шк., 2000. –464 с.
5. Геодезия:Учебник / М.С. Нестеренок, В.Ф. Нестеренок, А.С. Позняк. – Мн.:Университетское, 2001. – 310 с.
6. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с., [32] с цв. ил.:ил.
7. Афанасьев В.Г., Егоров А.П. Геодезия и маркшейдерское дело в транспортном строительстве. М., «Недра», 1978, 407 с.
8. Федоров В.И., Титов А.И., Холдобаев В.А. Практикум по инженерной геодезии и аэрогеодезии. – М.: Недра, 1987.

Дополнительная литература

1. Курс инженерной геодезии / Под ред. В.Е.Новака. – М.: Недра, 1989.
2. Левчук Г.П., Новак В.Е., Конусов В.Г. Прикладная геодезия: Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ – М.: Недра, 1981. – 438 с.
3. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия: Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. – М.: Недра, 1983. – 400с.
4. Лабораторный практикум по инженерной геодезии: учебн. Пособие для вузов/В.Ф. Лукьянов [и др.]. – М.: Недра, 1990. – 334 с.

5. Несцяронак В.Ф. Інжынерная геадэзія: падручнік для вузаў/
В.Ф. Несцяронак, М.С. Несцяронак. – Мн.: БДТУ, 1998. –
320 с.
6. Муравьев А.В., Гойдышев Б.И. Инженерная геодезия.
Учебник для техникумов. М., Недра, 1982, 459 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	2
РАЗДЕЛ I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ	3
КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ	3
ЛЕКЦИЯ №1 Общие сведения о геодезии и ее научных дисциплинах	3
ЛЕКЦИЯ № 2. Системы координат применяемые в геодезии	19
ЛЕКЦИЯ № 3. Прямая и обратная геодезические задачи	40
ЛЕКЦИЯ № 4. Государственные геодезические сети	49
ЛЕКЦИЯ № 5. Топографические карты и планы	60
ЛЕКЦИЯ № 6. Элементы теории погрешностей геодезических измерений	75
ЛЕКЦИЯ № 7. Угловые измерения	84
ЛЕКЦИЯ №8. Линейные измерения	103
ЛЕКЦИЯ №9. Нивелирование	122
ЛЕКЦИЯ № 10. Топографические съемки	141
ЛЕКЦИЯ 11 Картометрические работы	177
ЛЕКЦИЯ 12. Геодезические работы при изысканиях транспортных объектов	184
ЛЕКЦИЯ 13. Исполнительные съемки автодорог, подземных коммуникаций и скрытых работ, отдельных элементов сооружений. Документация	219
ЛЕКЦИЯ 14. Геодезические работы при перенесении в натуру проектов инженерных сооружений	227
ЛЕКЦИЯ 15. Деформаций инженерных сооружений	244
РАЗДЕЛ II. ПРАКТИЧЕСКИЙ	263
Перечень тем лабораторных занятий	263
Перечень тем расчетно-графических работ	263
Лабораторная работа № 1	264

Лабораторная работа № 2.....	266
Лабораторная работа № 3.....	269
Лабораторная работа № 4.....	273
Лабораторная работа № 5.....	276
РАЗДЕЛ III. КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ.....	280
Перечень контрольных вопросов и заданий для самостоятельной работы.....	280
Вопросы и примеры задач для подготовки к экзамену	282
РАЗДЕЛ IV. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ.....	285
УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА	285
СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА.....	285
ГЛАВА I. ГЕОДЕЗИЯ.....	285
ГЛАВА II. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ.....	288
ГЛАВА III. Геодезические работы при строительстве и эксплуатации транспортных объектов.	289
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	291
Основная литература.....	291
Дополнительная литература.....	291