

Министерство образования Российской Федерации
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Учебное пособие

Санкт-Петербург
Издательство СПбГПУ
2003

УДК 528.3(076.5)

Инженерная геодезия. Геодезические сети: Учеб. пособие / В.С. Ермаков, Е.Б. Михаленко, Н.Н. Загрядская, Н.Д. Беляев, Ф.Н. Духовской. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 40 с.

Пособие соответствует государственному образовательному стандарту дисциплины «Инженерная геодезия» направления бакалаврской подготовки 653500 «Строительство».

Изложены сведения о геодезических сетях, – важнейшем элементе картографо-топографического обеспечения широкого круга измерений, выполняемых на местности для удовлетворения нужд народного хозяйства. Приведены необходимые данные о методах построения геодезических сетей, инструментальном оснащении работ, выполняемых на местности, точности измерений, правилах закладки и конструкции центров и реперов на пунктах сетей.

Предназначено для студентов первого курса инженерно-строительного факультета специальностей «Гидротехническое строительство», «Мелиорация, рекультивация и охрана земель», «Гидроэлектроэнергетика», «Промышленное и гражданское строительство», «Инженерная защита окружающей среды», «Городское строительство и хозяйство».

Табл. 3. Ил. 21.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

© Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, 2003

ВВЕДЕНИЕ

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.).

1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

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

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 назначению на плановые и высотные. По точности измерения, площади размещения и плотности пунктов геодезические сети подразделяются на государственные, местные – сети сгущения и съемочные.

1.1. Общие сведения о плановых геодезических сетях

Одной из главных задач геодезии является определение с заданной точностью координат сравнительно небольшого числа специально закрепленных на земной поверхности точек – *геодезических пунктов*.

Геодезический пункт состоит из центра, являющегося носителем координат, и геодезического знака, обозначающего положение центра на местности и обеспечивающего взаимную видимость смежных пунктов сети. Центр призван надежно и долговременно сохранять неизменным положение своей основной детали – марки центра, к метке которой относятся координаты пункта.

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).

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.1).

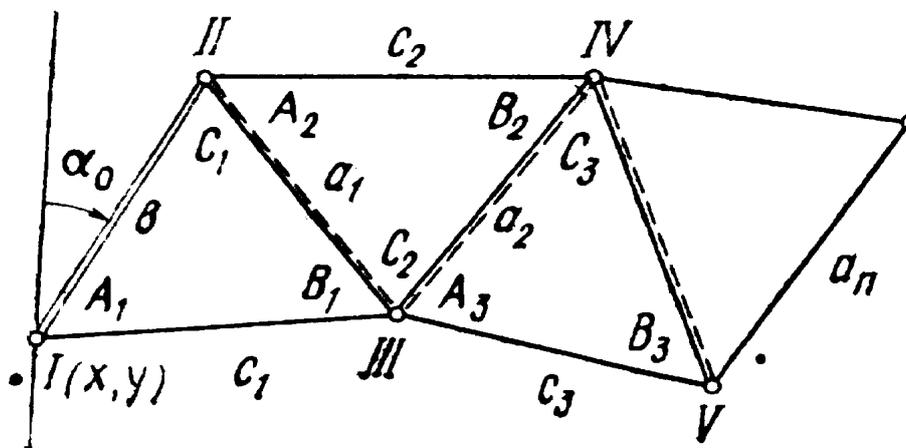


Рис. 1. Триангуляция

В основе метода триангуляции лежит решение треугольника по стороне и двум углам – теорема синусов. Многократное последовательное применение этой теоремы к треугольникам триангуляционной цепи, в которой каждый последующий $(i + 1)$ -й треугольник связан с предшествующим i -м общей стороной a_i (см. рис. 1), приведет к следующим выражениям

$$a_n = b \frac{\sin A_1 \sin A_2 \dots \sin A_n}{\sin B_1 \sin B_2 \dots \sin B_n}; \quad c_n = a_{n-1} \frac{\sin C_n}{\sin B_n}, \quad (1)$$

где a_n – связующая, c_n – промежуточные стороны i -го треугольника.

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

В полигонометрии система геодезических пунктов образует полигон-многоугольник, который может быть замкнутым или разомкнутым (рис. 2). Измеряемыми элементами являются стороны полигона d_1, d_2, \dots, d_n и его углы $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ или дирекционные углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$.

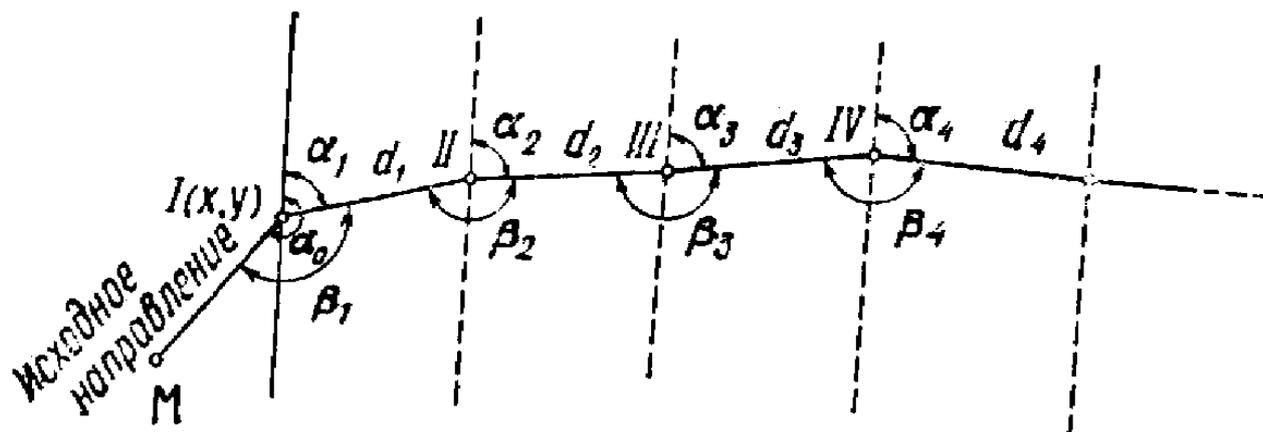


Рис. 2. Полигометрия

3. *Трилатерация* – построение геодезической сети в виде системы треугольников, в которых измерены все их стороны.

Метод трилатерации основан на возможности решения треугольника по трем его сторонам a , b , c . Углы при этом определяются по теореме косинусов. Например, для угла A между сторонами b и c можно записать

$$\cos A = (c^2 + b^2 - a^2) / 2bc. \quad (2)$$

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 сети.

1.2. 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 нуль Кронштадтского футштока принята горизонтальная черта на медной пластине, которая укреплена на устое моста через обводный канал в Кронштадте. Нуль 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.

Наблюдения за уровнем моря во всех развитых странах, имеющих выход к берегам морей и океанов, ведутся систематически уже в течение многих лет. Для этого на берегу строят стационарные или временные уровенные посты или сооружают мареографы.

На рис. 3 показано устройство уровенного поста, на рис. 4 — мареограф. На стационарных уровенных постах отсчеты по рейке производят в 01, 07, 13 и 19 часов местного времени. На временных уровенных постах наблюдения выполняют в начале каждого часа. Мареограф записывает уровень моря непрерывно на специальной ленте.

Уровенные посты бывают речные и свайные. Речный пост состоит из одной или нескольких рек, позволяющих вести наблюдения за уровнем моря

по всему возможному диапазону колебаний уровня моря. Диапазон колебаний в разных морях, омывающих территорию России, различен. Так, например, в Карском море – около 2 м, в Охотском море – от 3 до 10 м в зависимости от расположения пункта наблюдений.

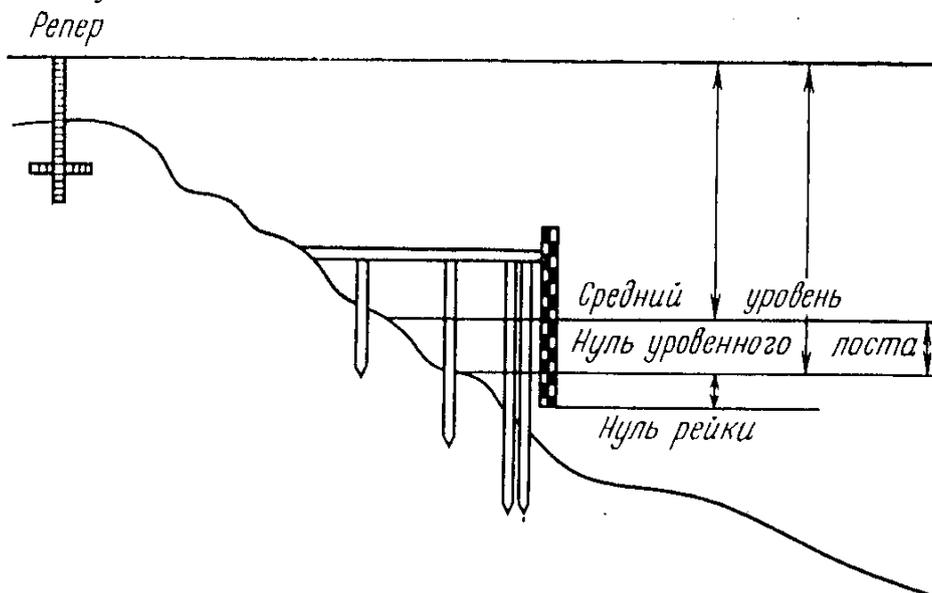


Рис. 3. Устройство уровня поста

Свайный пост строят на местах с пологим берегом моря. Он состоит из нескольких свай, на головки которых затем ставят переносную рейку для снятия отсчетов уровня моря. Сваи забивают на расстоянии до 50 м друг от друга так, чтобы превышения между головками соседних свай были менее 80 см.

На уровнях поста Государственного комитета по гидрометеорологии и контролю природной среды устанавливают металлические рейки ГМ-3 длиной 2,8 м, массой 86 кг. Применяются и деревянные рейки, но они менее долговечны. Деления на рейках двухсантиметровые, оцифрованные через 10 см. При волнении берут отсчеты в моменты прохождения гребня и подошвы волны и по ним вычисляют среднее. Для повышения точности при волнении производят три пары отсчетов.

Результаты наблюдений за уровнем моря на уровнях станциях и постах публикуются в Каталогах уровней наблюдений на морях и океанах и Таблицах справочников основных гидрологических характеристик, составляемых в Госкомгидромете.

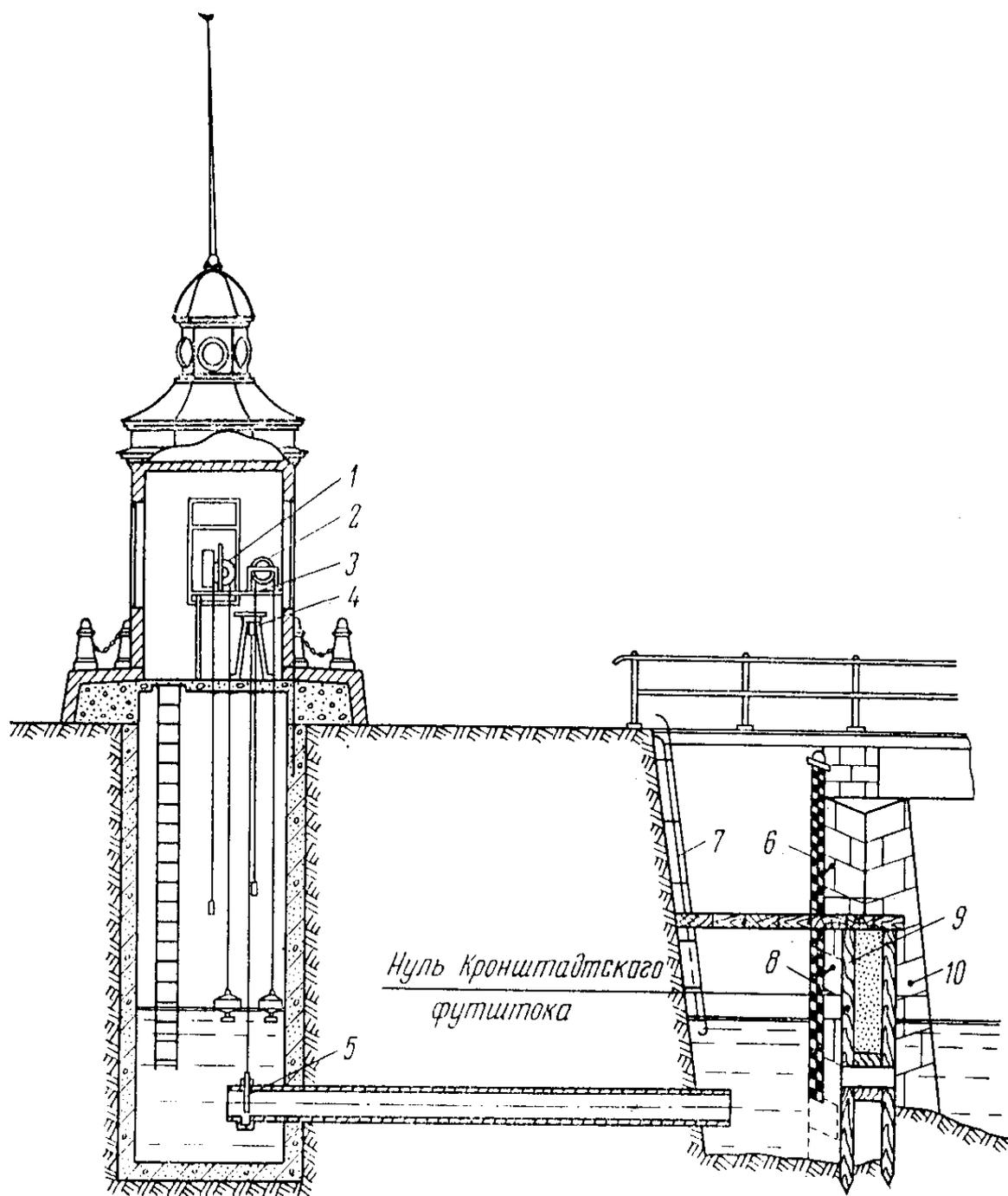


Рис. 4. Устройство Кронштадтского футштока

- 1 – мареограф; 2 – копинист; 3 – столик мареографа; 4 – шток задвижки;
 5 – задвижка Лудло; 6 – футшток; 7 – металлический трап;
 8 – пластина Тонберга; 9 – отстойник мареографа; 10 – устой моста

Средний уровень вычисляют по формуле

$$H = \frac{\sum H_i}{n},$$

где H – средний уровень моря за определенный период (суточный, месячный, годовой, многолетний); H_i – разовое определение уровня моря (при выводе годового уровня моря – месячные уровни, при выводе многолетнего уровня моря – годовые); n – число наблюдений (при вычислении многолетнего уровня моря – это число лет наблюдений за уровнем моря на данной станции или посту).

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.

2. ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Государственной геодезической сетью называют геодезическую сеть, обеспечивающую распространение координат и высот на территории государства и являющуюся исходной для построения других геодезических сетей.

Государственная геодезическая сеть России является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов и должна удовлетворять требованиям народного хозяйства и обороны страны при решении соответствующих научных и инженерных задач. Для этого геодезические сети должны покрывать всю территорию страны сплошь с необходимой густотой и точностью определения положения пунктов.

Построение и поддержание в надлежащем состоянии геодезических сетей у нас в стране – задача государственной топографо-геодезической службы. Это

работа сложная и организационно, и технически, к тому же дорогостоящая. Поэтому принимаются все меры для сохранения на местности сети геодезических пунктов.

Государственные геодезические сети делятся на плановые и высотные.

2.1. Государственная плановая геодезическая сеть

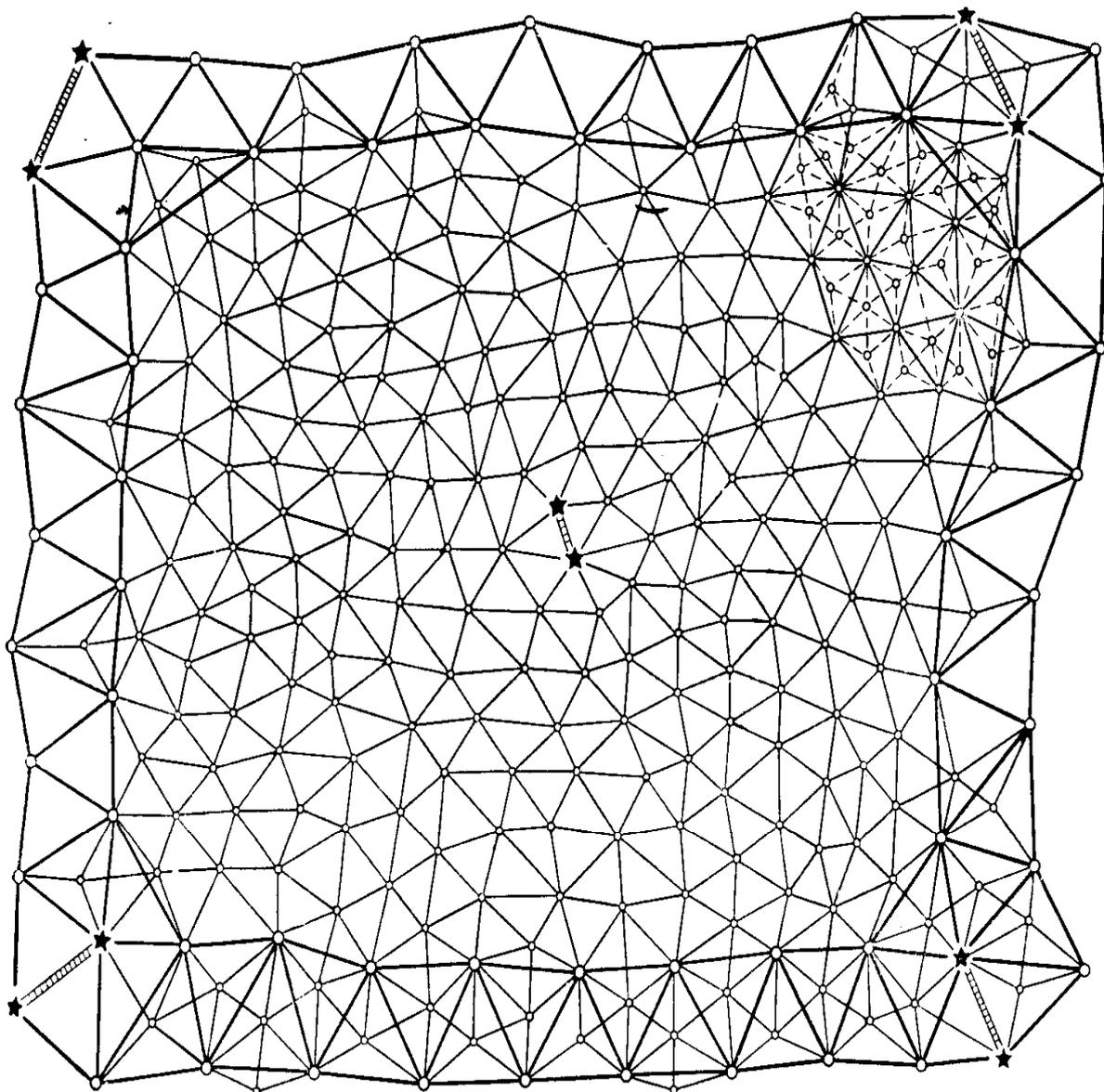
Работы по созданию государственной плановой сети на всей территории страны были в основном закончены к 1989 году.

Государственная плановая сеть подразделяется на сети 1, 2, 3 и 4-го классов, различающиеся между собой точностью угловых и линейных измерений и длиной сторон или плотностью пунктов.

Государственная геодезическая сеть 1-го класса строится в виде полигонов периметром 800–1000 км, образуемых триангуляционными, полигонометрическими или трилатерационными звеньями длиной порядка 200 км, расположенными по возможности вдоль меридианов и параллелей (рис. 5). Звено триангуляции (трилатерации) состоит из треугольников, близких к равносторонним, или из комбинаций треугольников, геодезических четырехугольников и центральных систем.

На концах звеньев триангуляции 1-го класса измеряют базисные стороны, которые опираются на так называемые пункты Лапласа (см. рис. 5). *Пункты Лапласа* – это пункты, долгота и широта которых найдены из астрономических наблюдений. Азимут базисной стороны также определяется в результате астрономических наблюдений. Это необходимо для переноса сети на поверхность референц-эллипсоида. Геодезическую сеть, имеющую пункты с определенными на них астрономическим путем координатами и азимутами, называют *астрономо-геодезической сетью*. Проект государственной астрономо-геодезической сети был предложен и разработан профессором Ф.Н. Красовским.

В сетях триангуляции 1-го класса стороны треугольников составляют от 20 до 25 км. Допустимая погрешность в определении углов треугольника 0,7". Ошибки в определении длин сторон треугольников допускаются в пределах 7–10 см, т.е. не более 1/400 000. Общая погрешность в звене триангуляции длиной 200 км не превышает 0,6 м.



Условные знаки:

★ *Пункт Лапласа* ——— *Сторона триангуляции 1 класса* - - - *Сторона триангуляции 3 класса*
 ——— *Базис* ——— *Сторона триангуляции 2 класса*

Рис. 5. Схема построения геодезической сети методом триангуляции 1, 2 и 3-го классов

Относительная ошибка положения пунктов триангуляции задается настолько малой, что при дальнейшем развитии сети пункты 1-го класса можно считать определенными безошибочно.

Государственная геодезическая сеть 2-го класса строится внутри полигонов 1-го класса в виде сплошной триангуляционной сети (см. рис. 5) или в виде пересекающихся ходов полигонометрии.

Внутри полигонов 1-го класса на нескольких пунктах 2-го класса производятся астрономические определения широты, долготы и азимута, т.е. устанавливаются пункты Лапласа.

Сеть 2-го класса, в свою очередь, заполняется сетями триангуляции 3-го и 4-го классов.

Стороны треугольников 2-го класса имеют в длину от 7 до 20 км, в среднем 13 км. Длины сторон треугольников 3-го класса составляют 5–8 км, а 4-го класса – 2–5 км.

Углы треугольников 2-го класса измеряются со средней квадратической ошибкой, не превышающей 1", на пунктах 3-го класса ошибка не должна быть более 1,5", а 4-го класса – 2".

Наряду с методом триангуляции государственная геодезическая сеть может строиться методами полигонометрии или трилатерации.

Полигонометрия 1-го класса строится в виде замкнутых полигонов. Полигонометрия 2-го класса строится внутри полигонов триангуляции или полигонометрии 1-го класса в виде сети замкнутых полигонов.

Пункты полигонометрии 3-го и 4-го классов определяются относительно пунктов полигонометрии или триангуляции высших классов проложением одиночных ходов или систем ходов, образующих узловые пункты.

Основные характеристики полигонометрии различных классов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Основные характеристики полигонометрии различных классов

Наименование элемента полигонометрии	1-й класс	2-й класс	3-й класс	4-й класс
Периметр полигона, км	700–800	150–180		
Длина диагонали полигонометрического хода не более, км	200	60	30	11–15
Длина стороны хода (звена), км	8–30	5–18	3–10	Не менее 0,25
Число сторон в ходе (звене) не более	12	6	6	20
Средняя квадратическая ошибка измерения угла, с	0,4	1,0	1,5	2,0
Средняя квадратическая ошибка измерения длины стороны	1:400 000	1:200 000	1:100 000	1:40 000

Каждый пункт государственной плановой геодезической сети любого класса закрепляют на местности центром. Он создается с целью сохранения пункта геодезической сети на возможно длительное время. Конструкции центров в зависимости от физико-географической характеристики района могут быть различными.

На рис. 6,а показан центр пункта, закладываемый в районе с неглубоким промерзанием грунта (до 1,5 м). Для большей сохранности центр состоит из нескольких ярусов бетонных блоков. В каждом ярусе ось центра отмечается специальной маркой (рис. 6,б). Все марки должны располагаться на одной отвесной линии.

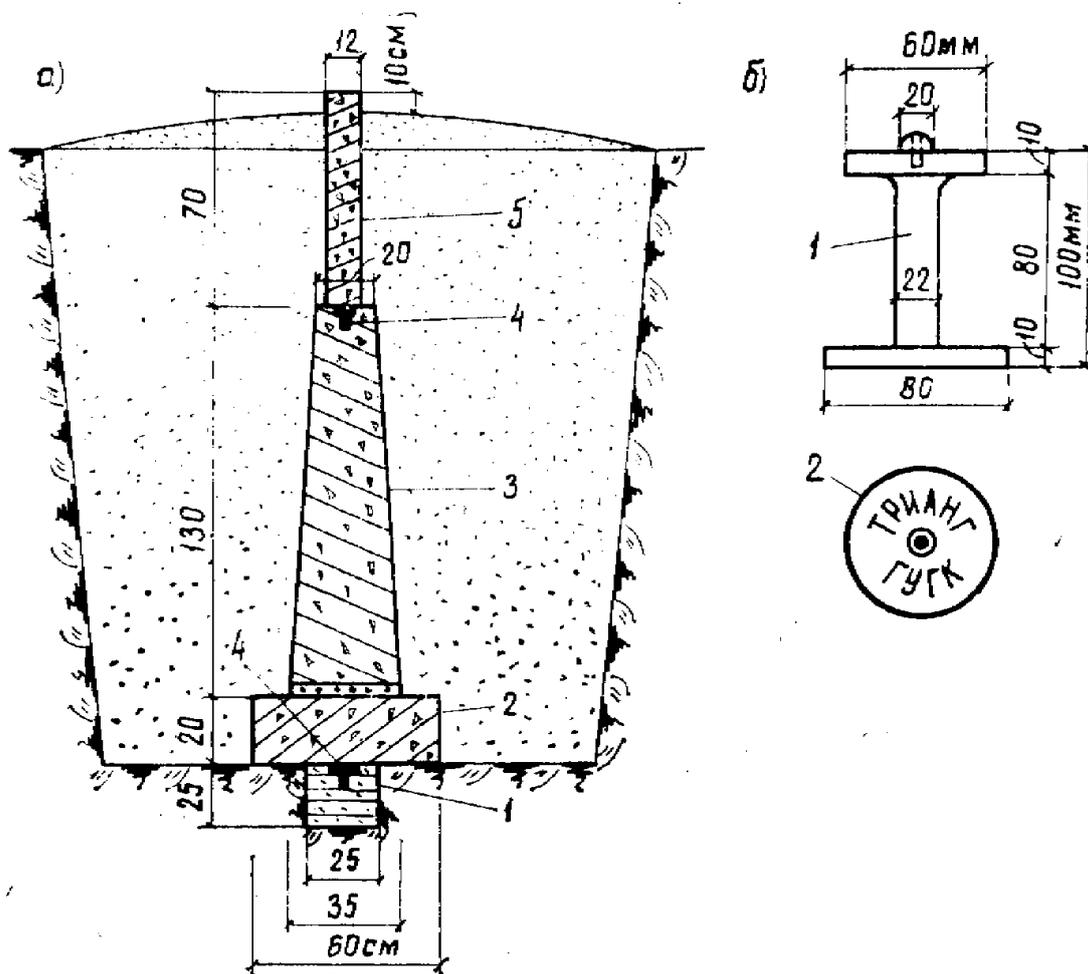


Рис. 6. Центр плановой геодезической сети:

а – центр:

1 – монолит; 2 – якорь; 3 – пилон; 4 – чугунная марка; 5 – опознавательный столб;

б – чугунная марка:

1 – разрез; 2 – вид торца

С целью обеспечения видимости между смежными пунктами над центрами сооружаются геодезические знаки. В зависимости от характеристик местности они могут быть различной высоты и имеют визирный цилиндр, столик для установки прибора и площадку для наблюдателя. Применяют знаки следующих типов: тур, простая пирамида, простой и сложный сигналы (рис. 7).

Туры и пирамиды сооружают в пунктах, с которых видимость на соседние пункты открывается с земли. Простые сигналы строят в тех случаях, когда для наблюдений необходим подъем прибора над землей на 10 м, а сложные – более 10 м. Пирамиды и сигналы могут быть четырехгранными и трехгранными.

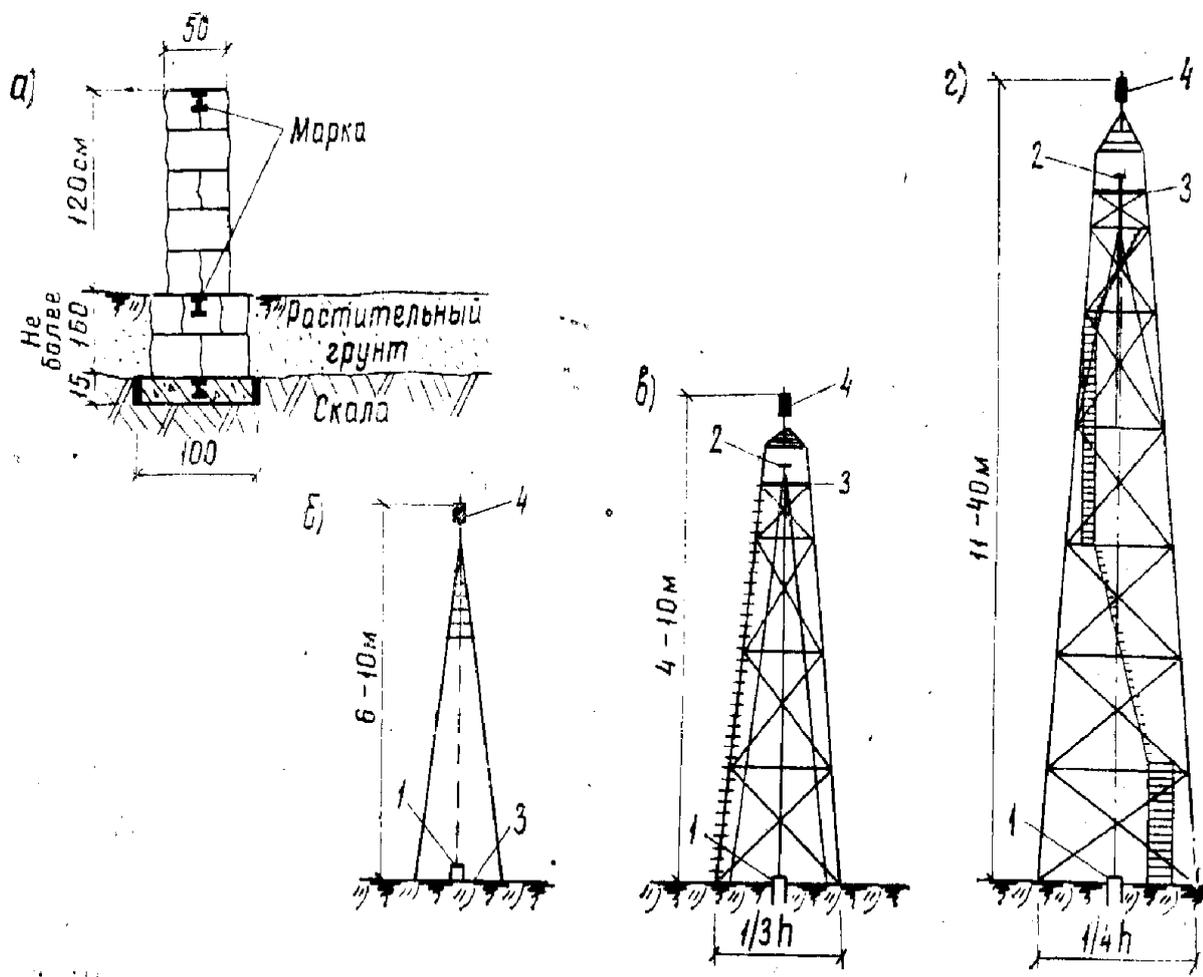


Рис. 7. Геодезические знаки:

- a* – тур; *б* – простая пирамида; *в* – простой сигнал; *г* – сложный сигнал;
 1 – центр; 2 – столик для установки теодолита; 3 – площадка для наблюдателя;
 4 – визирный цилиндр для наблюдения со смежного пункта

Вблизи каждого пункта государственной сети устанавливают по два ориентирных пункта для удобства привязки в последующем сетей сгущения. *Ориентирные пункты* устанавливаются на расстоянии 0,5–1,0 км от пункта государственной сети (в лесу расстояния сокращаются до 0,25 км). Каждый ориентирный пункт отмечается на местности центром (рис. 8).

Углы между основными сторонами сети и направлениями на ориентирные пункты измеряются на данном пункте с погрешностью не более $\pm 2,5''$.

Необходимо отметить, что если сеть пунктов 1-го и 2-го классов по возможности сплошь покрывает территорию страны, то сети 3-го и особенно 4-го классов развиваются по мере надобности, например, для обеспечения топографических съемок.

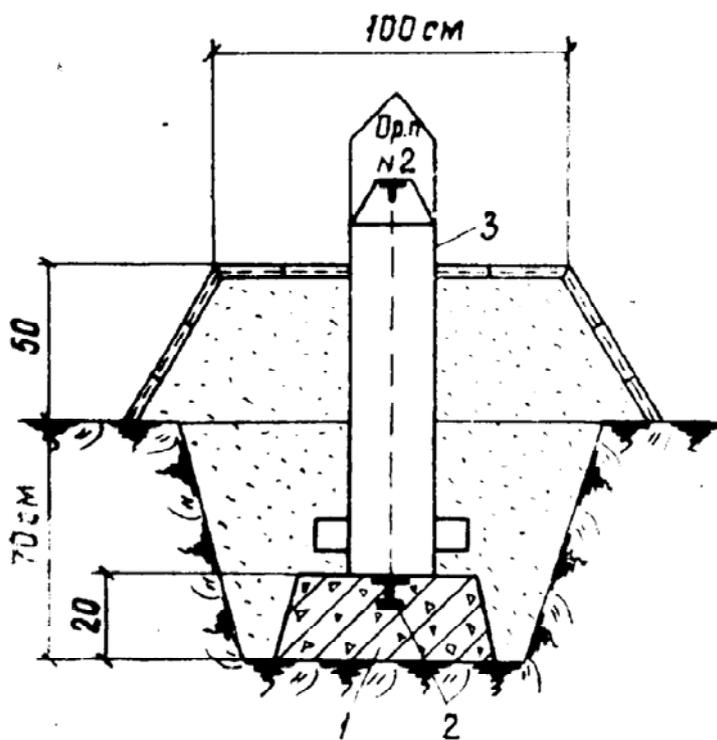


Рис. 8. Ориентирный пункт:

1 – монолит; 2 – чугунная марка; 3 – опознавательный столб

Создание электронных дальномеров, при помощи которых стали возможными измерения длин линий с высокой точностью, позволило применять их для развития геодезических сетей методом трилатерации и в ряде случаев взамен рядов треугольников прокладывать полигонометрические ходы, равноценные по точности триангуляции.

2.2. Государственная высотная (нивелирная) геодезическая сеть

Государственная высотная сеть устанавливает единую систему высот (отметок) на территории страны и является основой для исследовательских и поисковых работ в геологии, экологии, при топографических съемках и проектировании сооружений. Кроме того, точное определение высот необходимо для наблюдений за движениями земной коры, колебаниями уровня воды в морях, реках и озерах.

Высоты пунктов государственной нивелирной сети определяются геометрическим нивелированием. По точности и назначению государственная нивелирная сеть делится на нивелирные сети I, II, III и IV классов. Нивелирные сети состоят из ходов или полигонов. Технические допуски нивелирных сетей приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Технические допуски нивелирных сетей

Наименование допуска	Единица измерений	Класс нивелирования				Техническое нивелирование (ТН)
		I	II	III	IV	
Длина хода или полигона	км	3000–4000	500–600	150–200	–	2–16
Расстояние от прибора до реек	м	50	65	75	100	150
Неравенство расстояний от нивелира до реек на отдельных стадиях	м	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
Высота визирного луча над почвой не менее	м	0,8	0,5	0,3	0,2	0,2
Допустимые расхождения в превышениях на станции	мм	0,5	0,7	3	5	5
Допустимые расхождения в превышениях хода	мм	$3\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$	$50\sqrt{L}$
То же, но при числе станций более 15 для I – IV классов и 25 для ТН на 1 км	мм	$4\sqrt{L}$	$6\sqrt{L}$	$2,6\sqrt{L}$	$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$

Примечание: L – длина хода, км; n – число станций в ходе.

Нивелирные сети I и II классов обеспечивают единую систему высот на всей территории страны. Они служат основой для решения научных задач по изучению вертикальных движений земной коры и сейсмических явлений, изучения физической поверхности Земли и определения разностей уровней морей и океанов. Нивелирные сети III и IV классов обеспечивают топографические съемки и решение инженерно-геодезических задач.

Основной системой отсчета высот государственной нивелирной сети является нормальная система высот. Она позволяет получить точные значения высот точек земной поверхности относительно референц-эллипсоида.

Государственная нивелирная сеть I класса прокладывается по специально разработанной схеме, предусматривающей:

- а) обеспечение территории страны исходными высотными пунктами для развития нивелировок II класса и ниже по единой системе;
- б) связь с водомерными постами морей и океанов, расположенными внутри и по границам страны;
- в) использование наиболее благоприятных для нивелирования трасс (железных и шоссейных дорог);
- г) образование по возможности замкнутых полигонов;
- д) учет научных и практических требований, вытекающих из задачи изучения динамических процессов, связанных с жизнью Земли как планеты, ее поверхности и недр.

Нивелирные линии I класса прокладываются и повторяются каждые 25 лет по заранее избранным направлениям, пересекающим территорию страны. Кроме того, в целях изучения движения земной коры и прогноза землетрясений сетью нивелировок I класса покрыты некоторые избранные участки – полигоны.

Нивелирование I класса характеризуется невязкой хода, которая не должна превышать

$$\Delta h = \pm 3\sqrt{L} \text{ мм}, \quad (3)$$

где L – длина хода, км.

Линии нивелирования II класса прокладываются между пунктами нивелирования I класса. Они начинаются и заканчиваются на пунктах нивелирования I класса и образуют замкнутые полигоны с периметром 500–600 км (рис. 9). Нивелирные ходы II класса прокладывают главным образом вдоль железных и шоссейных дорог, а также вдоль больших рек.

Нивелирование II класса характеризуется невязкой хода, которая не должна превышать

$$\Delta h = \pm 5\sqrt{L} \text{ мм.} \quad (4)$$

Линии нивелирования III класса прокладываются внутри полигонов I и II классов в виде как отдельных, так и систем пересекающихся ходов с таким расчетом, чтобы полигон II класса был разбит на 6–9 полигонов с периметром 150–200 км каждый. На севере и северо-востоке страны периметр достигает 300 км.

Нивелирование III класса производят с невязкой в ходе не более

$$\Delta h = \pm 10\sqrt{L} \text{ мм.} \quad (5)$$

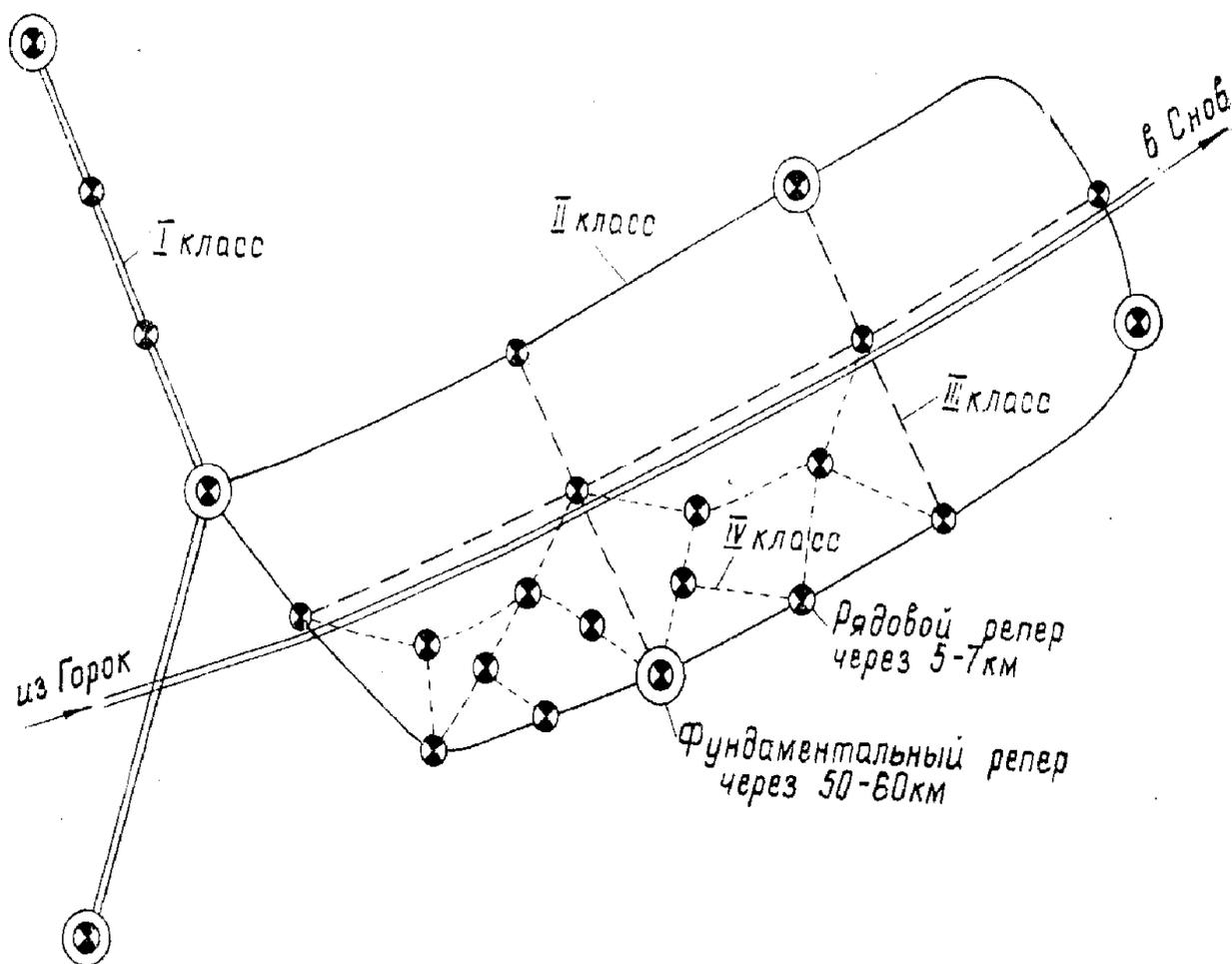


Рис. 9. Схема построения государственной нивелирной сети

Нивелирование IV класса является сгущением нивелирной сети III класса. Линии нивелирования IV класса опираются на пункты нивелирной сети высшего класса; они могут прокладываться в виде одиночных ходов, пересекающихся в узловых точках.

Невязка в ходах IV класса не должна превышать

$$\Delta h = \pm 20\sqrt{L} \text{ мм.} \quad (6)$$

Нивелирование IV класса выполняется для топографических съемок и проектируется в комплексе со всеми съемочными работами. Расположение и густота линий нивелирования IV класса устанавливаются исходя из условий задания – масштаба предстоящей топографической съемки, обеспечения предстоящего строительства высотной основой и т.п. Нивелирование IV класса – один из массовых видов геодезических работ при строительстве.

Нивелирные сети I и II классов – главная высотная основа топографических съемок и инженерно-геодезических работ; нивелирные сети III и IV классов являются по отношению к ним сетями сгущения.

Государственная нивелирная сеть любого класса для сохранения ее на длительное время закрепляется на местности постоянными знаками, называемыми *реперами и марками*. На линиях нивелирования различных классов закладывают реперы следующих типов: вековые, фундаментальные, рядовые и временные.

Каждый репер должен иметь свой индивидуальный номер, не повторяющийся на данной линии, а по возможности и на ближайших линиях нивелирования.

На всех нивелирных ходах, независимо от класса, через 5–7 км (в труднодоступных районах через 10–15 км) закладываются *рядовые реперы*. Кроме того, при нивелировании I и II классов через 50–80 км закладываются *фундаментальные реперы* после предварительного исследования грунта бурением на глубину до 20 м. При нивелировании I класса закладываются *вековые реперы*, являющиеся наиболее устойчивыми. При закладке репера в грунт его называют *грунтовым*, в скалу – *скальным*, а в стену здания – *стенным*.

Вековые реперы обеспечивают сохранность главной высотной основы на продолжительное время, позволяют изучать происходящие в настоящее время вертикальные движения земной коры, колебания уровней морей и океанов.

Вековыми реперами закрепляют места пересечений линий нивелирования I класса. В пределах бывшего Советского Союза эти реперы заложены:

в районе городов Ашхабад, Барановичи, Барнаул, Взморье, Витим, Волгоград, Дудинка, Душанбе, Енисейск, Иркутск, Вятка, Самара, Москва, Нахичевань, Нижневартовск, Нукус, Пржевальск, Екатеринбург, Ставрополь,

Сургут, Тбилиси, Тура, Тында, Ужгород, Хабаровск, Харьков, Целиноград, Чита, Чудово, Якутск и бухты Провидения;

вблизи уровенных постов, ведущих наблюдения за вековой изменчивостью моря Анадырь, Аральск, Балтийск, Ванкарем, Владивосток, Диксон, Кронштадт, Махачкала, бухта Нагаево, Певск, Петропавловск-Камчатский, Полярный, Севастополь, Сосновец, Таганрог, Тикси.

Фундаментальные реперы обеспечивают сохранность высотной основы на значительные сроки. Их закладывают на линиях нивелирования I и II классов не реже чем через 60 км, а также на узловых пунктах, вблизи морских, основных речных и озерных уровенных постов. В сейсмоактивных районах фундаментальные реперы закладывают не реже чем через 40 км. На расстоянии 50–150 м от фундаментального репера закладывают репер-спутник.

Временные реперы обеспечивают сохранность высотной опоры в течение нескольких лет и служат высотной основой при топографических съемках. Временные реперы включают в ходовые линии нивелирования II, III и IV классов.

Географические координаты реперов определяются с точностью 0,25'. На каждый репер составляют абрис и дают описание его местоположения. Кроме того, расположение реперов показывают на карте масштаба 1:100 000, которую прилагают к материалам нивелирования.

Нивелирные сети в городах, населенных пунктах и на промышленных площадках должны обеспечивать все потребности городского хозяйства и строительства. Превышения между наиболее удаленными друг от друга реперами нивелирной сети города должны быть известны с ошибкой не более 30 мм.

Требования к методике нивелирования, нивелирам и рейкам те же, что и при создании сетей государственного нивелирования соответствующего класса. Отличие состоит в допустимых длинах ходов и частоте закреплений нивелирных линий реперами.

В городах, территория которых более 500 км², создают нивелирную сеть I класса. Схемы построений нивелирных сетей I класса в городах различаются – это или система полигонов, или система пересекающихся линий. Вид сети и расположение линий зависят от очертаний городской территории. Дальнейшее сгущение сети выполняют нивелированием II, III и IV классов.

В городах и поселках, расположенных в области сезонного промерзания грунта, реперы закладывают в стены кирпичных, каменных, бетонных и железобетонных зданий и сооружений.

Стенные реперы закладываются вблизи перекрестков улиц, а также в середине кварталов. Они должны располагаться на высоте 30–60 см от поверхности земли так, чтобы выступы стен не мешали установке реек. Здание, в котором заложен стенной репер, фотографируют. Кроме того, фотографируют сам репер так, чтобы в кадре был виден его номер.

Разнообразные физико-географические условия страны обуславливают использование различных типов реперов, которые соответствуют определенным районам.

Конструкция *векового репера* зависит от глубины залегания геологически устойчивых, несжимаемых пород. Вековые реперы могут быть скальными и грунтовыми. В зависимости от глубины залегания скалы закладываются разные типы вековых реперов. Сохранность векового репера обеспечивается качеством закладки, добротностью материалов, из которых он изготовлен, а также местом расположения и внешним оформлением. Стабильность векового репера обуславливается заглублением его основания в несжимаемые породы не менее чем на 120 см для трубчатых реперов и 20 см – для скально-бетонных.

Если скала находится на глубине до 120 см, то закладывают группу из четырех скальных реперов типа 173 (рис. 10,*а*), расположенных на расстоянии 25–50 м друг от друга.

Высоты смежных реперов должны отличаться друг от друга не менее чем на 15 см. Репер состоит из марки (нержавеющая сталь или бронза) и бетонного колодца с крышкой. Размеры колодца зависят от глубины залегания скалы. При выходе скалы на дневную поверхность внешние размеры колодца 50×50 см. Если глубина залегания скалы 50 см и более – это колодец диаметром до 100 см.

При залегании скалы на глубине до 500 см закладывают вековой репер типа 174 (рис. 10,*б*), который состоит из пилона (гранит или высококачественный бетон) формы параллелепипеда с поперечным сечением 35×35 см, бетонной плиты (якоря) размерами 150×150×40 см и колодца диаметром более 160 см. В верхнюю часть пилона на расстоянии 20 см цементируют две марки (горизонтальную и вертикальную). Верхний конец пилона располагают на глубине 100 см от поверхности земли. Бетонную плиту

изготавливают на месте установки репера и цементируют в нее третью марку. До установки колодца и засыпки котлована грунтом измеряют превышения между всеми марками с точностью до 1 мм. Репер в колодце засыпают гравием, а на расстоянии 100–150 м от него устанавливают фундаментальный репер со спутником.

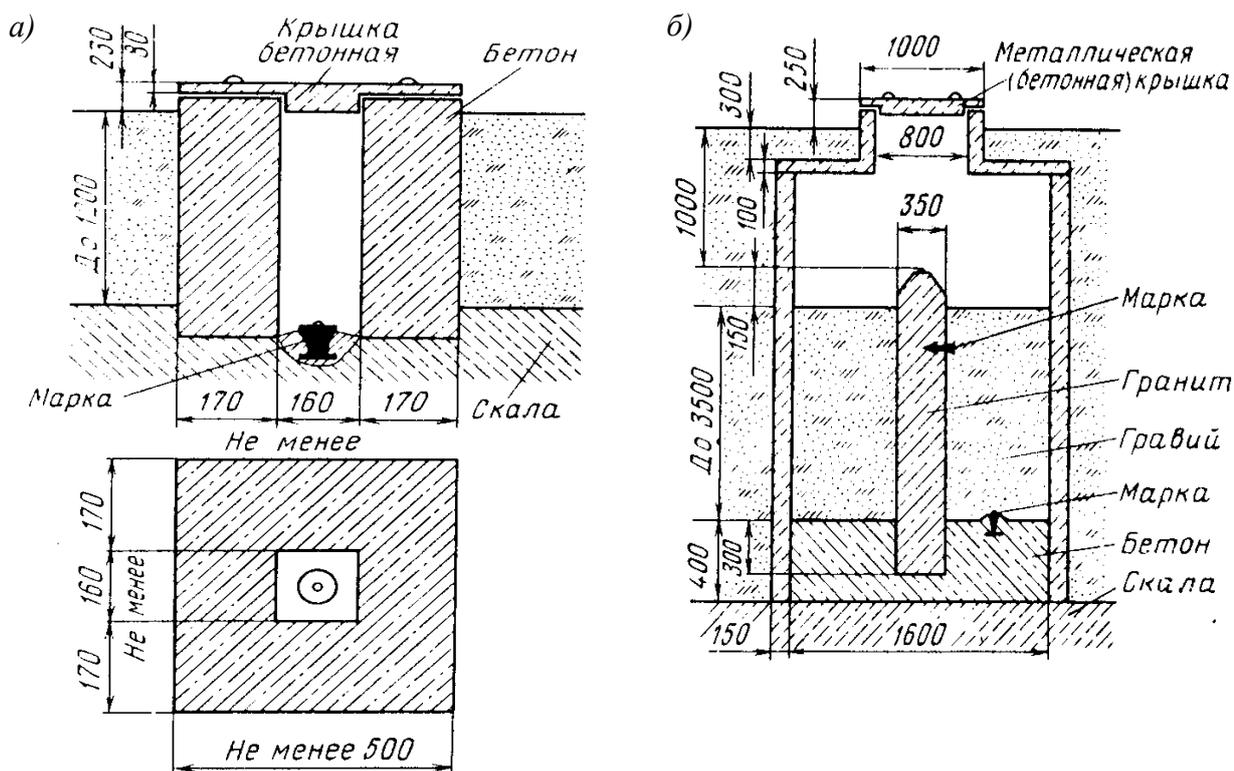


Рис. 10. Вековые реперы для скальных грунтов:
а – тип 173; б – тип 174

Вековой трубчатый репер типа 175 (рис. 11) закладывают при залегании несжимаемых пород на глубине более 500 см. Репер устанавливают в скважину диаметром 25 см. Он состоит из металлической трубы диаметра 8–15 см с толщиной стенок не менее 1 см. На верхнем конце трубы на расстоянии 20 см друг от друга укрепляют две марки (горизонтальную и вертикальную), а на нижнем конце крепят диск с диаметром на 2–3 см меньше диаметра скважины. В скважину опускают трубу и при помощи бетона скрепляют с несжимаемыми породами, в которые она должна войти не менее чем на 120 см. Верхний конец репера располагают на глубине 100 см от поверхности земли. Рядом с вековым репером на расстоянии 100–150 м закладывают фундаментальный репер со спутником.

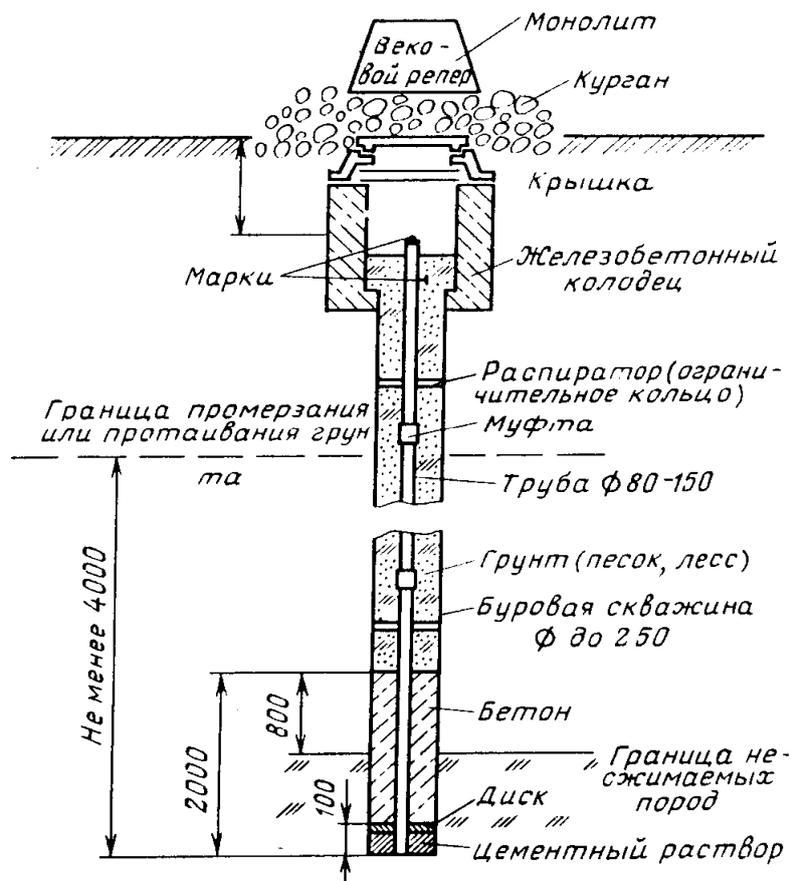


Рис. 11. Вековой трубчатый репер. Тип 175

Фундаментальные реперы в зависимости от условий закладки подразделяются на грунтовые (железобетонные, асбоцементные, трубчатые металлические) и скальные.

Устройство грунтового фундаментального репера для области с сезонным промерзанием грунтов показано на рис. 12,а. Конструкции грунтовых реперов различаются в зависимости от климатических условий района и характеристик грунта закладки (сезонное промерзание, вечная мерзлота, сыпучие пески, скалистый грунт, труднодоступные районы).

Рядовые грунтовые реперы в области сезонного промерзания грунтов, как правило, закладывают в пробуренные скважины диаметром 50–60 см (рис. 12,б).

Если нивелирный ход проходит рядом с капитальным зданием или сооружением (водонапорная башня, каменный устой моста и т.п.), то в стены закладывают либо марки (отметка отнесена к центру отверстия знака), либо

реперы (отметка отнесена к выступающей полочке знака). Общий вид таких знаков показан на рис. 13.

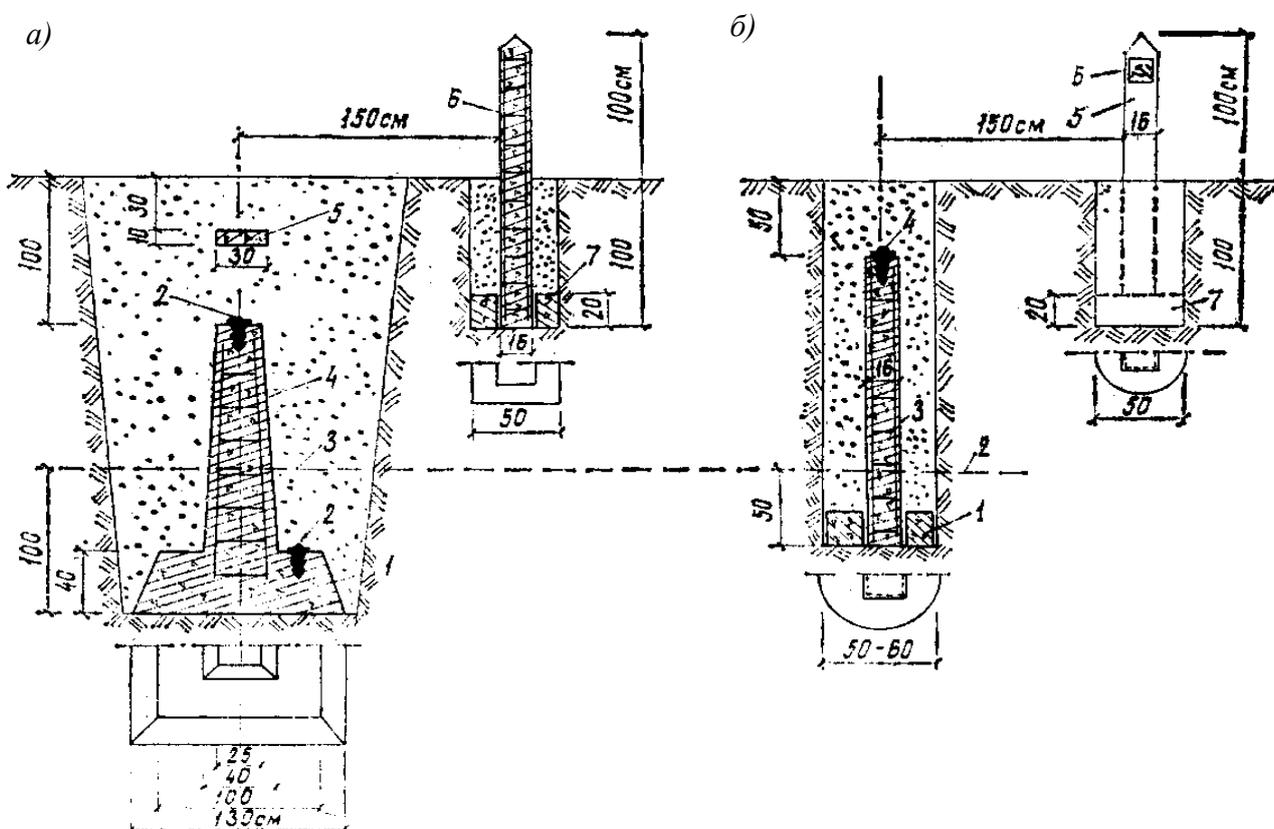


Рис. 12. Нивелирные знаки, закладываемые в грунт:

а – фундаментальный репер:

1 – якорь репера; 2 – марка; 3 – граница промерзания грунта; 4 – пилон репера; 5 – опознавательная плита; б – опознавательный столб с охранной плитой; 7 – якорь опознавательного столба;

б – рядовой репер:

1 – якорь репера; 2 – граница промерзания грунта; 3 – столб-пилон репера; 4 – марка; 5 – опознавательный столб; б – охранная плита; 7 – якорь опознавательного столба

Каждый репер имеет соответствующее наружное оформление. Наружное оформление векового репера состоит из железобетонного колодца с защитной крышкой и запором; кургана, сложенного из камней; указательного монолита и ограждения из четырех отрезков рельс или железобетонных столбов сечением 20×20 см с якорями, закладываемыми на глубину 140 см и выступающими над поверхностью земли на 110 см (рис. 14). Допускается применять и другое внешнее оформление, обеспечивающее сохранность векового репера.

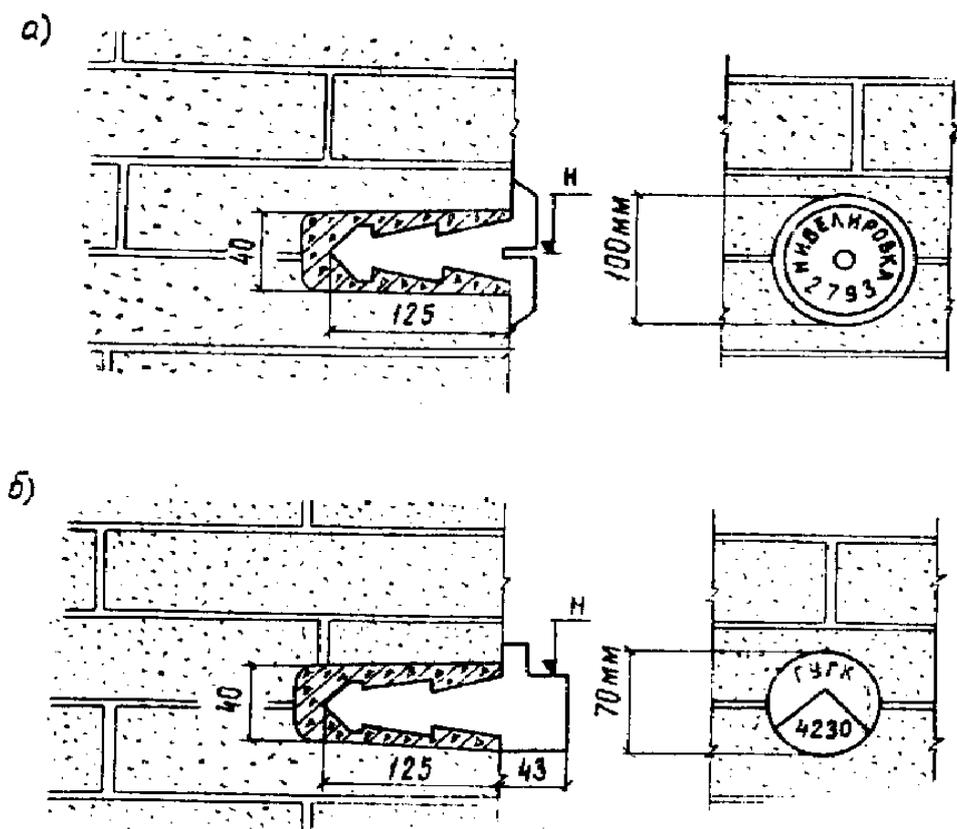


Рис. 13. Марка и репер, закладываемые в стены:
а – разрез и вид на стене марки; *б* – разрез и вид на стене репера

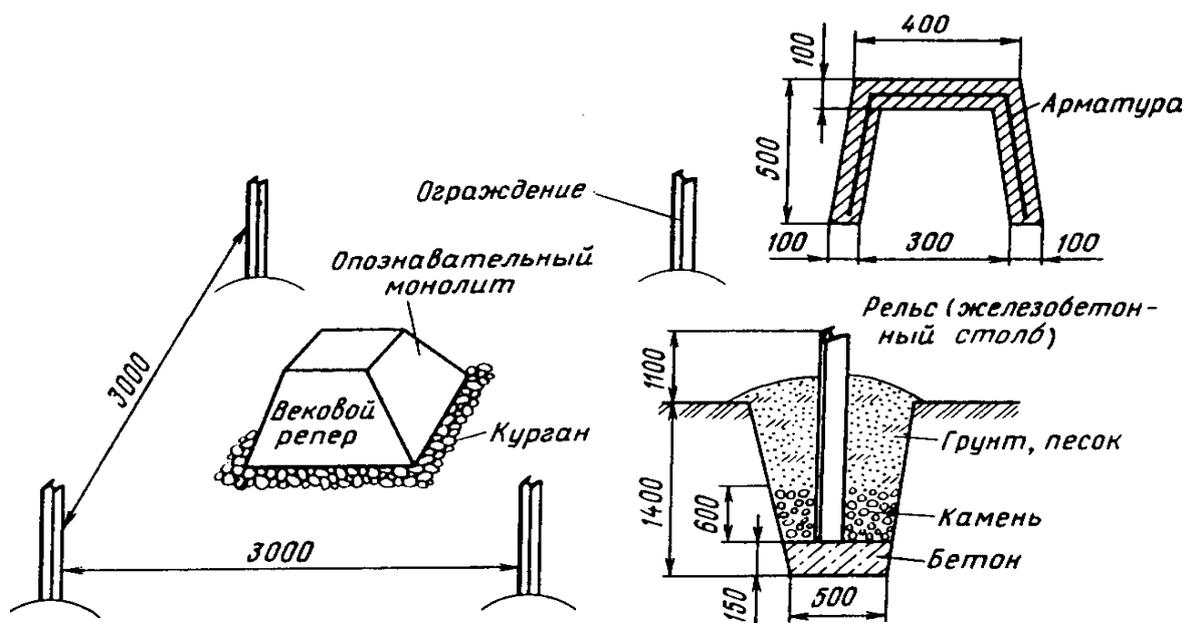


Рис. 14. Внешнее оформление вековых реперов

Оформление фундаментального репера в области сезонного промерзания грунта состоит из канавы прямоугольной формы (рис. 15) и железобетонного или металлического опознавательного столба (рис. 16) с охранной пластиной (рис. 17) толщиной не менее 0,8 мм. Пластина должна быть обращена в сторону репера. Над репером делают курган высотой 30 см и диаметром 150 см. Выступающую над землей часть опознавательного столба окрашивают масляной краской ярких цветов. Сечение канавы по нижнему основанию 20 см, по верхнему – 120 см, глубина 70 см. Черной краской пишут на опознавательном столбе название организации и номер репера (например, ГУГК, 1274).

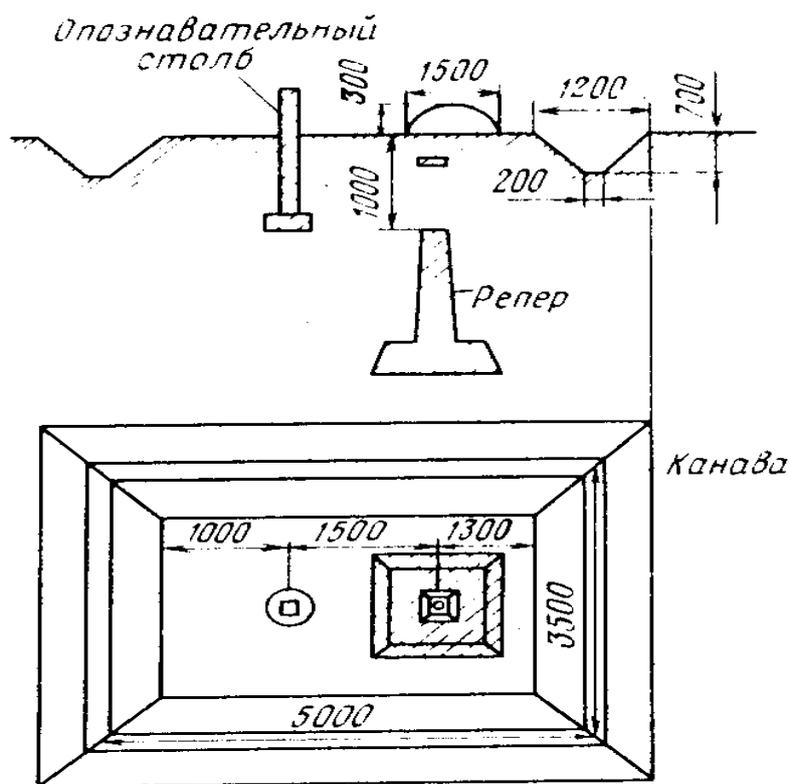


Рис. 15. Внешнее оформление фундаментальных реперов в области сезонного промерзания грунта

Наружным оформлением рядового грунтового репера являются канава и опознавательный столб в виде железобетонного пилона с плитой (якорем), устанавливаемого вблизи репера. В лесистых районах разрешается устанавливать деревянные опознавательные столбы. Размер нижнего основания канавы 20 см, верхнего – 120 см, глубина 50 см, длина 1280 см. Над репером насыпают курган высотой 30 см и диаметром 100 см.

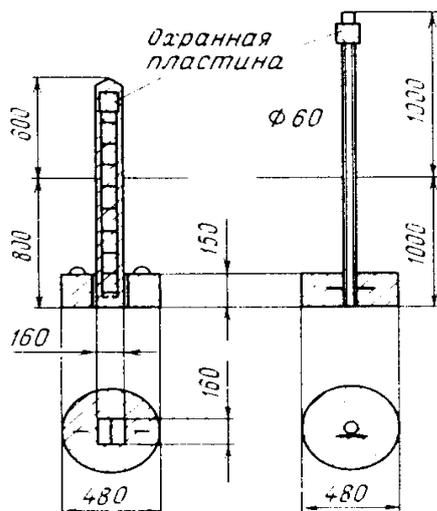


Рис. 16. Оповестительные столбы для сезонного промерзания грунтов

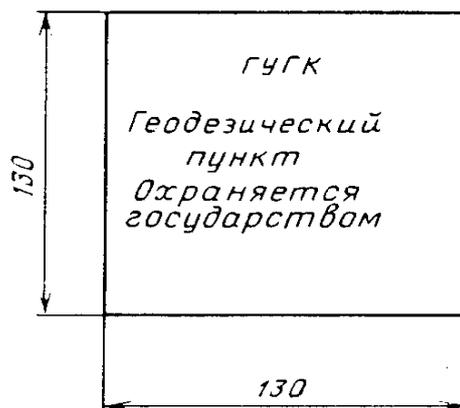


Рис. 17. Охранная пластина

К оповестительному столбу надежно прикрепляют (при отливке пилона) охранную пластину (см. рис. 17). Надпись на пластине отливают или штампуют. При установке оповестительного столба охранная пластина должна быть обращена в сторону репера.

3. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ СГУЩЕНИЯ

Геодезическая сеть, развиваемая на основе геодезической сети более высокого порядка, называется геодезической *сетью сгущения*.

Для обоснования съемок масштаба 1:5000 и крупнее, а также для обеспечения топографо-геодезических работ при инженерных изысканиях и строительстве зданий и сооружений государственную геодезическую сеть сгущают путем построения дополнительной сети.

В городах, поселках и на больших строительных объектах создается геодезическая сеть сгущения специального назначения. Ранее такие сети сгущения называли геодезическими сетями местного значения, или *местными сетями*.

Как и пункты государственных геодезических сетей, пункты сетей сгущения закрепляются постоянными знаками.

Сети сгущения, как и государственные геодезические сети, подразделяются на плановые и высотные (нивелирные).

3.1. Плановые геодезические сети сгущения

Плотность пунктов государственной геодезической сети на 1 км² должна быть не менее: четырех пунктов – на застроенных территориях, одного пункта – на незастроенных, двух пунктов – на вновь осваиваемых.

При недостаточной плотности пунктов государственной плановой геодезической сети прокладывают сеть 4-го класса, которая может иметь некоторое отличие от государственной. Если на расстоянии 5 км от границ участков работ отсутствуют пункты государственной геодезической сети и площади участков не превышают 20 км² (для съемки в масштабе 1:2000 и крупнее), то сети сгущения строят как локальные.

Геодезические сети сгущения строят методом триангуляции, трилатерации и полигонометрии 4-го класса, а также 1-го и 2-го разрядов.

Для примера в табл. 3 приведены основные показатели плановой геодезической сети сгущения, построенной методом триангуляции.

Т а б л и ц а 3

Основные показатели плановой геодезической сети сгущения (триангуляция)

Наименование показателей	4-й класс	1-й разряд	2-й разряд
Длина стороны треугольника, км	1–5	0,5–5	0,25–3
Относительная средняя квадратическая погрешность: базисной стороны	1:100 000	1:50 000	1:20 000
стороны сети в самом слабом месте	1:50 000	1:20 000	1:10 000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (вычисленная по невязкам треугольников), с	2	5	10

Триангуляционные, трилатерационные и полигонометрические сети одинаковых разрядов являются равноценными в отношении точности. Поэтому геодезические сети сгущения создают тем методом, который дает наибольшую экономию сил и денежных средств.

Каждый пункт сети сгущения любого разряда закрепляется на местности центром (рис. 18 и 19) в соответствии с действующими нормативными документами. Наружными знаками центров служат вежи и простые пирамиды высотой до 6 м.

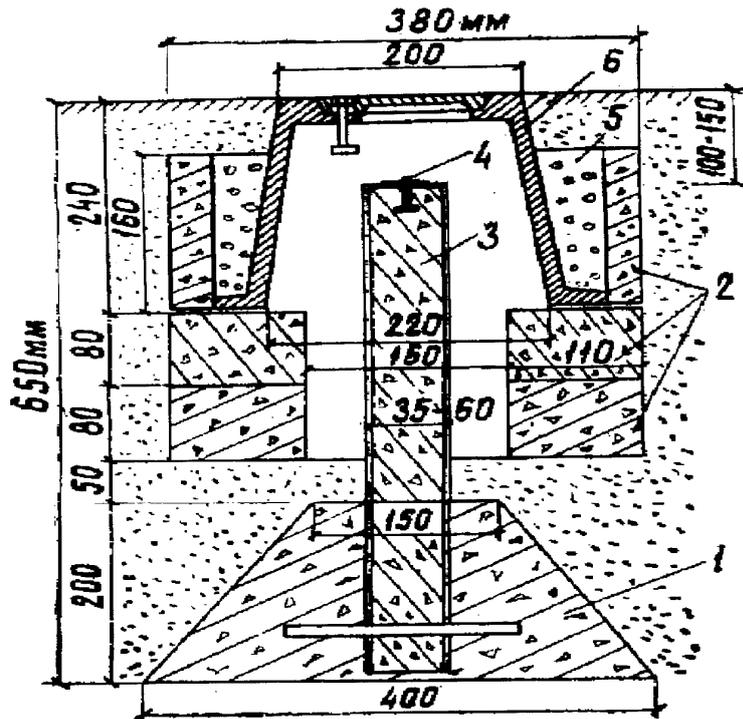


Рис. 18. Центр пункта триангуляции, трилатерации и полигонометрии в районах сезонного промерзания грунта:
 1 – монолит из бетона; 2 – бетонные кольца; 3 – труба диаметром 35 – 60 мм; 4 – марка; 5 – бетон; 6 – чугунный колпак

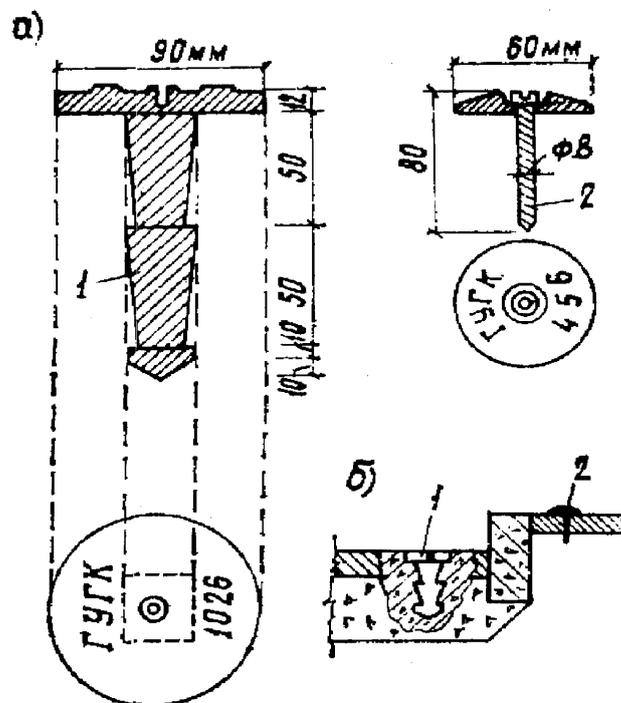


Рис. 19. Закрепление пунктов сетей сгущения:
 а – центр пункта полигонометрии на участке с твердым покрытием: 1 – марка; 2 – дюбель-гвоздь;
 б – закрепление марки и гвоздя в твердом покрытии

3.2. Высотные (нивелирные) сети сгущения

Высотную сеть сгущения развивают в отдельных районах при недостаточном числе реперов государственной нивелирной сети для обоснования съемок в масштабе 1:5000–1:500 и инженерно-геодезических работ. Ее создают проложением отдельных ходов, как нивелирование II, III и IV классов, но со своими характеристиками:

длина хода между исходными пунктами высшего класса: 40 км для II класса, 15 км для III класса;

длина хода между узловыми точками: 10 км для II класса, 5 км для III класса;

средняя квадратическая погрешность среднего превышения на 1 км хода: 0,8 мм для II класса, 1,7 мм для III класса и 6,7 мм для IV класса;

расстояние между знаками: на застроенной территории – 2 км для II класса, 0,2 км для III и IV классов; на незастроенной территории – 5 км для II класса, 0,5–2 км для IV класса.

В горной местности отметки пунктов сетей сгущения могут определяться тригонометрическим нивелированием для съемок с высотой сечения рельефа 2 и 5 м, а в особых случаях – при высоте сечения рельефа 1 м.

Сеть сгущения закрепляется на местности грунтовыми или стенными реперами, а также марками.

4. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЪЕМОЧНЫЕ СЕТИ

Съемочной геодезической сетью называют геодезическую сеть сгущения, создаваемую для производства топографических съемок. Съемочную сеть часто называют съемочной основой.

Съемочные сети и геодезические сети более высокого порядка, используемые для обеспечения топографических съемок, называют *съемочным обоснованием*. Съемочное обоснование и съемочная основа являются разными понятиями, причем первое понятие – более широкое.

Съемочные геодезические сети отличаются от геодезических сетей сгущения, рассмотренных ранее, во-первых, меньшей точностью (в 2–3 раза), и во-вторых, бóльшим числом пунктов на единицу площади (в 3–10 раз). Заметим, что густота пунктов при масштабе топографической съемки 1:5000

должна быть не менее 4 пунктов на 1 км², при масштабе 1:2000 – не менее 12, а при 1:1000 – не менее 16 пунктов.

Различают высотные и плановые съемочные геодезические сети.

4.1. Плановые съемочные сети

Плановые съемочные сети строятся в развитие сетей сгущения или в качестве самостоятельной геодезической основы.

Определение координат пунктов съемочных сетей выполняют методами полигонометрии и триангуляции. Ходы плановых съемочных сетей, развиваемые методом полигонометрии, называют *теодолитными ходами*. Теодолитные ходы подразделяют на сомкнутые (полигоны), разомкнутые и висячие.

Сомкнутые теодолитные ходы начинаются и заканчиваются на одном из пунктов опорной геодезической сети и представляют собой многоугольники, в которых углы измерены теодолитом полным приемом, а длины сторон – землемерной лентой или рулеткой. Допустимая угловая невязка в таком ходе $\Delta\beta_{\text{доп}} = 2t\sqrt{n}$, где t – точность отсчетного устройства, n – число углов (сторон) полигона. Допустимая линейная невязка $f_{\text{доп}} = \frac{P}{2000}$, где P – периметр полигона. Допустимые длины ходов зависят от масштаба съемки, не превышая 6 км при масштабе съемки 1:5000.

Разомкнутые теодолитные ходы начинаются и заканчиваются на разных пунктах опорных геодезических сетей, а висячий ход одним концом опирается на пункт опорной геодезической сети, другой его конец – свободный. Длина висячего хода не может быть более 1/10 допустимой длины полигона и не должна иметь более трех углов поворота.

Съемочную сеть, развиваемую методом триангуляции, называют *микротриангуляцией*. Микротриангуляцию применяют только на открытой местности.

Пункты съемочной сети закрепляют на местности в основном временными знаками: металлическими костылями, штырями и трубами, деревянными столбами и кольями. Установленный знак должен иметь фиксированную точку (гвоздь в коле или столбе, насечку на металлических знаках) и, кроме того, должен быть окружен канавкой.

4.2. Высотные съемочные сети

Высотную съемочную сеть создают для производства топографических съемок, привязки отдельных объектов и перенесения на местность проектов зданий и сооружений. Обычно ее совмещают с пунктами планового обоснования, определяя их высоты методом геометрического или тригонометрического нивелирования.

При геометрическом нивелировании прокладывают ходы между реперами и марками нивелирования II, III и IV классов с допусками технического нивелирования (см. табл. 1).

Длины ходов между исходными пунктами должны быть не более: при высоте сечения рельефа 0,25 м – 2 км; при высоте сечения рельефа 0,5 м – 8 км; при высоте сечения рельефа 1 м и более – 16 км.

Точность технического нивелирования характеризуется невязкой хода, которая не должна быть больше

$$\Delta h = \pm 50\sqrt{L} \text{ мм}, \quad (7)$$

а когда число станций более 25 на 1 км, то

$$\Delta h = \pm 10\sqrt{n} \text{ мм}, \quad (8)$$

где n – число станций.

На сильно пересеченной и горной местности высоты пунктов съемочных сетей, развиваемых для съемок с высотой сечения рельефа 2 и 5 м, а в особых случаях и 1 м, определяют тригонометрическим нивелированием. При этом длины ходов должны быть не более: при высоте сечения рельефа 2 и 5 м – 2 км; при высоте сечения рельефа меньше 1 м – 1 км.

Съемочную сеть закрепляют на местности временными знаками: деревянными столбами, металлическими трубами (рис. 20), гвоздями и кольями (рис. 21).

Выбор метода создания съемочных сетей определяется из технико-экономических соображений с учетом района работ и условий поставленного задания.

Обычно в открытых холмистых малозастроенных районах выгоднее развивать сети микротриангуляции и применять метод тригонометрического нивелирования; в равнинных заселенных застроенных районах выгоднее прокладывать теодолитные ходы и выполнять геометрическое нивелирование.

Целесообразно использовать оба метода как для плановых, так и для высотных съемочных сетей.

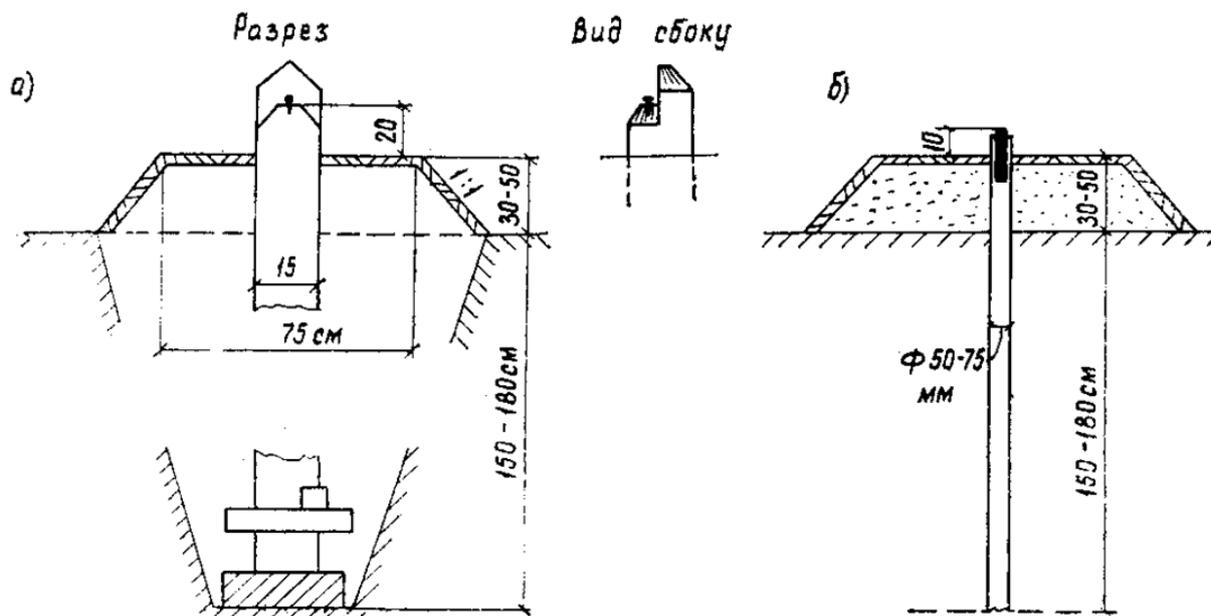


Рис. 20. Конструкция временного репера:

а – из дерева; *б* – из трубы



Рис. 21. Закрепление точек линии гвоздями и кольями

Временный характер закрепления большинства пунктов съемочных сетей соответствует их назначению – быть геодезической основой для единовременного решения поставленных конкретных задач. Пункты съемочных сетей закрепляются постоянными знаками, когда планируется долговременное их использование. Если съемочная сеть является самостоятельной геодезической основой, что допускается при выполнении топографических съемок на территории площадью до 1 км^2 , то не менее $1/5$ всех пунктов закрепляется постоянными знаками.

При создании съемочных сетей рекомендуется использовать предметы местности: углы капитальных зданий и центры смотровых колодцев подземных коммуникаций.

5. ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ОСНАЩЕНИЕ РАБОТ ПО СОЗДАНИЮ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Инструменты, используемые при создании и обновлении геодезических сетей непрерывно совершенствуются. Так, большинство работ по созданию государственных плановых сетей, выполненных до 1989 года, осуществлялось с использованием инварных проволок как основного прибора при линейных измерениях. С внедрением свето- и радиодальномеров производительность этих работ существенно повысилась.

Если при создании съемочных сетей широко используются приборы технического класса, то для измерений в сетях высоких классов точности применяются точные и высокоточные приборы.

Основной курс инженерной геодезии обеспечивает изучение приборов технического класса (теодолиты Т-15, Т-30; нивелиры Н-10, Н-3; кипрегели КН, КА-2), поэтому здесь приведены данные по точным и высокоточным приборам отечественного производства.

Теодолит Т 05

Теодолит Т 05 относится к высокоточным оптическим угломерным приборам и предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов на пунктах триангуляции и полигонометрии 1-го класса.

Основные технические характеристики

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом, с:

горизонтального угла	0,5–0,7
вертикального угла	1,0–1,2
Увеличение зрительной трубы	37; 52; 62
Цена деления шкалы оптического микрометра, с	1
Цена деления уровня, $\frac{1}{2}$ мм:	
накладного	4
при алидаде горизонтального круга	6
при вертикальном круге	10

Теодолит Т 05 выпускается серийно с 1969г.

Теодолит Т 1

Теодолит Т 1 относится к высокоточным оптическим угломерным приборам с двусторонней системой отсчитывания по кругам при помощи оптического микрометра.

Теодолит предназначен для измерения горизонтальных углов и зенитных расстояний в триангуляции и полигонометрии 2-го класса.

Основные технические характеристики

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом, с:

горизонтального угла	1,0–1,3
зенитного расстояния	1,5–2,0
Увеличение зрительной трубы	30; 40
Цена деления шкалы оптического микрометра, с	1
Цена деления уровня, $^{\circ}/2_{\text{мм}}$:	
накладного	5
при алидаде горизонтального круга	7
при вертикальном круге	10–12
Температурный диапазон работы прибора, $^{\circ}\text{C}$	от -25 до +50

Основные особенности теодолита:

- 1) наличие оптического центрира, встроенного в алидаду, с фокусировкой от плоскости подъемных винтов до бесконечности;
- 2) зрительная труба снабжена окулярным микрометром, изображение шкалы которого введено в поле зрения зрительной трубы;
- 3) наводящие и закрепительные винты алидады и трубы попарно совмещены на одной колонке;
- 4) прибор приспособлен для работы в ночных условиях.

Серийное производство теодолита Т 1 освоено с 1976 года.

Теодолит 2Т 2

Теодолит 2Т 2 относится к точным оптическим теодолитам, разработан взамен теодолита Т 2, выпускавшегося до 1977 года.

Прибор предназначен для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 3-го и 4-го класса.

Основные технические характеристики

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом, с:

горизонтального угла	2
зенитного расстояния	2–3
Увеличение зрительной трубы	27,5
Цена деления шкалы оптического микрометра, с	1
Цена деления уровня, $\frac{1}{2}$ мм:	
при алидаде горизонтального круга	15
при вертикальном круге	15
Температурный диапазон работы прибора, °С	от -40 до +50

Теодолит выпускается промышленностью серийно с 1976 года.

Теодолит Т 5

Теодолит Т 5 относится к точным оптическим теодолитам с односторонней системой отсчитывания по кругам при помощи шкалового микроскопа.

Теодолит предназначен для измерения углов в сетях сгущения 1-го и 2-го разряда, при инженерно-геодезических изысканиях и в прикладной геодезии.

Основные технические характеристики

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом, с:

горизонтального угла	5–7
вертикального угла	10
Увеличение зрительной трубы	25
Цена деления шкалы оптического микрометра, с	1
Цена деления уровня, $\frac{1}{2}$ мм:	
при алидаде горизонтального круга	30
при вертикальном круге	15
Температурный диапазон работы прибора, °С	от -40 до +50

Модификация теодолита Т 5 – теодолит Т 5К с компенсатором при вертикальном круге, имеющим диапазон работы ± 3 мин и точность самоустановки около 1,5 с. В 1977 году теодолиты Т 5 и Т 5К заменены приборами 2Т 5 и 2Т 5К.

Теодолит Т 15

Теодолит Т 15 относится к оптическим угломерным приборам технической точности. Он предназначен для измерения углов при построении съемочных сетей, проведенных изыскательских, строительных, маркшейдерских, лесотехнических, мелиоративных, землеустроительных и других работ.

Основные технические характеристики

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом, с:

горизонтального угла	15
вертикального угла	20
Увеличение зрительной трубы	25
Цена деления шкалы оптического микрометра, с	1
Цена деления уровня, $^{\circ}/2_{\text{мм}}$:	
при алидаде горизонтального круга	45
при вертикальном круге	30

Особенности конструкции теодолита:

- 1) применение односторонней системы отсчитывания по кругам с передачей изображений штрихов в поле зрения одного шкалового микроскопа;
- 2) наличие повторительного устройства: совмещение наводящих и зажимных устройств на одной оси;
- 3) наличие встроенного в алидаду оптического центрира.

Нивелир Н-0.5

Нивелир Н-0.5 относится к высокоточным нивелирам с уровнем при зрительной трубе; предназначен для нивелирования I и II классов.

Основные технические характеристики

Средняя квадратическая погрешность измерения превышения, мм:

на 1 км двойного хода	0,5
на станции при длине визирного луча 50 м	1,5–2,0
Увеличение зрительной трубы	42
Цена деления уровня:	
цилиндрического, $^{\circ}/2_{\text{мм}}$	10
круглого, $^{\text{мин}}/2_{\text{мм}}$	5

Нивелир Н-0.5 оснащен контактным цилиндрическим уровнем, оптическим микрометром и элевационным винтом. Плоскопараллельная пластинка микрометра установлена перед объективом зрительной трубы. Изображение шкалы микрометра и концов цилиндрического уровня при помощи призмной системы передается в поле зрения трубы. Нивелир Н-0.5 выпускается с 1978 года.

Близкие параметры имеет также нивелир Н-1, предназначенный для нивелирования I и II классов, выпускаемый отечественной промышленностью с 1972 года.

Нивелир Н-2

Нивелир Н-2 – высокоточный с уровнем при трубе; предназначен для нивелирования II класса.

Основные технические характеристики

Средняя квадратическая погрешность измерения превышений, мм:

на 1 км двойного хода	1
на станции при длине визирного луча 50 м	0,2
Увеличение зрительной трубы	40
Цена деления уровня:	
цилиндрического, $\frac{с}{2}$ мм	10
круглого, $\frac{мин}{2}$ мм	5

Нивелир имеет контактный цилиндрический уровень, оптический микрометр и элевационный винт. Шкала оптического микрометра и изображение концов пузырька цилиндрического уровня передаются в поле зрения трубы.

Совершенствование конструкции современных нивелиров связано с заменой нивелиров с уровнем при трубе нивелирами с компенсаторами. Экспериментально установлено, что применение компенсаторов повышает производительность нивелирных работ на 10–15%. В связи с этим, ведущие зарубежные фирмы переходят в настоящее время на выпуск нивелиров с компенсаторами.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Геодезические сети	4
1.1. Общие сведения о плановых геодезических сетях	4
1.2. Общие сведения о высотных геодезических сетях	7
2. Государственные геодезические сети	10
2.1. Государственная плановая геодезическая сеть	11
2.2. Государственная высотная (нивелирная) геодезическая сеть ..	17
.	
3. Геодезические сети сгущения	28
3.1. Плановые геодезические сети сгущения	29
.	
3.2. Высотные (нивелирные) сети сгущения	31
4. Геодезические съемочные сети	31
4.1. Плановые съемочные сети	32
4.2. Высотные съемочные сети	33
5. Инструментальное оснащение работ по созданию геодезических сетей	35

ЕРМАКОВ Владимир Степанович
МИХАЛЕНКО Евгений Борисович
ЗАГРЯДСКАЯ Наталия Николаевна
БЕЛЯЕВ Николай Дмитриевич
ДУХОВСКОЙ Федор Николаевич

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ
Учебное пособие

Редактор *О.К. Чеботарева*
Технический редактор *А.И. Колодяжная*
Оригинал-макет подготовлен авторами
Директор Издательства СПбГПУ *А.В. Иванов*

Свод. темплан 2003 г.
Лицензия ЛР № 020593 от 07.08.97

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции ОК 005–93, т.2; 95
3005 – учебная литература

Подписано в печать Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж . Заказ .

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.
Издательство СПбГПУ, член Издательско-полиграфической ассоциации вузов Санкт-Петербурга.

Адрес университета и издательства: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.
Отпечатано на ризографе RN-2000FP
Поставщик оборудования – фирма «Р-ПРИНТ»
Телефон: (812)110-65-09
Факс: (912)315-23-04