

А.М. ЗЕЛЕНСКИЙ, Л.Ф. ЗУЕВА, Ю.В. НУЙКИНА, Г.В. ФОЛИТАР

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

(специальный курс лекций)

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским Советом
Учреждения образования «Брестский государственный технический
университет» в качестве пособия для студентов специальности
1-70 03 01 «Автомобильные дороги» дневной и заочной форм обучения*

Брест-2008

УДК 528.4(075.8)

ББК 261я73

3 48

Рецензенты:

профессор кафедры ОФИГиГ **П.В. Шведовский**,
зам. директора по научной работе Полесского аграрно-экологического института
«НАН Беларуси», профессор, доктор географических наук **А.А. Волчек**

А.М. Зеленский, Л.Ф. Зуева, Ю.В. Нуйкина, Г.В. Фолитар

3 48 Инженерная геодезия (специальный курс). –Брест: Издательство БрГТУ, 2008. –
76 с., илл. 77, табл. 4, библ. 14 назв.

Рассмотрены специальные вопросы инженерно-геодезических работ, связанных со строительством автомобильных дорог, приведены инженерные задачи с комментариями к их решению. В разделе «Самостоятельная работа» рассмотрен материал о разбивочных сетях мостовых переходов, о передаче отметок через водные преграды, описаны спутниковые системы определения места положения при помощи системы ГЛОНАС. Приведены лабораторные работы при изучении спецкурса, а также вопросы для подготовки к зачёту.

Авторы выражают искреннюю признательность Жуковой В.Л. за ценные предложения и замечания при подготовке рукописи к изданию.

Издание предназначено для студентов 4-го курса специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги».

УДК 528.4(075.8)

ББК 261я73

© Зеленский А.М., 2008

© Зуева Л.Ф., 2008

© Нуйкина Ю.В., 2008

© Фолитар Г.В., 2008

© Издательство БрГТУ, 2008

ISBN 978-985-493-096-1

Оглавление

Лекция 1	
1.1. Электронный тахеометр ЗТа5Р	5
1.2. Измерение расстояний светодальномерами.....	10
1.3. Гиротеодолиты.....	11
Лекция 2	
2. Геодезические работы при трассировании автомобильных дорог	14
2.1. Общие сведения о трассе и трассировании.....	14
2.2. Проектирование трассы в равнинной местности.....	14
2.3. Проектирование трассы в горной местности	15
2.4. Камеральное трассирование	16
Лекция 3	
3. Полевое трассирование	18
3.1. Перенесение проекта трассы в натуру	18
3.2. Угловые измерения.....	20
3.3. Линейные измерения.....	20
3.4. Разбивка главных точек кривых	21
3.5. Ведение пикетажного журнала. Нивелирование трассы.....	22
Лекция 4	
4. Беспикетажное трассирование. Восстановление трассы	24
4.1. Беспикетажный метод трассирования	24
4.2. Восстановление дорожной трассы.....	25
Лекция 5	
5. Детальная разбивка кривых. Вынос пикетов с тангенса на кривую	28
5.1. Способ прямоугольных координат	30
5.2. Способ продолженных хорд.....	28
5.3. Способ полярных координат	30
5.4. Способ углов	31
5.5. Вынос пикетов с тангенса на кривую	32
5.6. Вертикальные кривые	32
Лекция 6	
6. Разбивочные работы при перенесении в натуру проекта трассы автомобильной дороги	34
6.1. Перенесение проектного горизонтального угла с точностью теодолита	34
6.2. Построение проектного угла с повышенной точностью	34
6.3. Построение угла 90° с помощью рулетки	36
6.4. Построение прямого угла с помощью мерного прибора	36
6.5. Построение на местности проектной длины линии	36
6.6. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой.....	38
6.7. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой с помощью теодолита	39
6.8. Построение в натуре линии проектного уклона	39
Самостоятельная работа	
1. Разбивочные сети мостовых переходов. Разбивка мостовых опор.....	42
1.1. Общие сведения	42

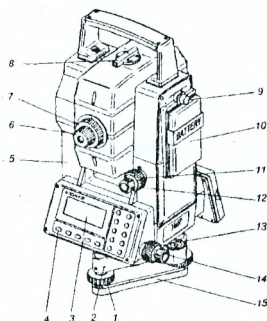
1.2. Мостовая триангуляция.....	42
3. Разбивка центров мостовых опор	45
1.3.1. Непосредственная разбивка опор	45
1.3.2. Разбивка мостовых опор прямой угловой засечкой	47
2. Передача отметок через водные преграды.....	48
2.1. Нивелирование по льду	48
2.2. Двойное геометрическое нивелирование	48
2.3. Тригонометрическое нивелирование	49
2.4. Гидростатическое нивелирование	50
3. Применение глобальных навигационных спутниковых систем для определения местоположения пунктов	52
3.1. Общие сведения о структуре глобальной навигационной спутниковой системы	52
3.2. Принцип определения местоположения пунктов с использованием GPS – навигатора	53
Управляемая самостоятельная работа	
1. Устройство нивелира Н-05 и инварных реек.....	54
2. Точные теодолиты	58
Лабораторные работы	
Лабораторная работа №1 «Восстановление навыков работы с точными и техни- ческими нивелирами»	62
Лабораторная работа №2 «Изучение устройства нивелира Н-05 и инварных реек»	65
Лабораторная работа №3 «Высокоточное нивелирование»	66
Лабораторная работа №4 «4.1. Восстановление навыков работы с техническими теодолитами»	66
«4.2. Знакомство с техническими теодолитами 4Т30П, 4Т15П. Изучение особенностей устройства этих теодолитов»	70
Лабораторная работа №5 «Изучение теодолитов Т2 (2Т2) , 2Т5К».....	73
Лабораторная работа №6 «Измерение углов способом круговых приёмов теодолитами 2Т5К и 2Т2»	73
Лабораторная работа №7 «Измерение вертикальных углов и зенитных расстояний».....	74
Вопросы для подготовки к зачёту	75
Литература	75

ЛЕКЦИЯ 1

1.1. Электронный тахеометр ЗТа5Р

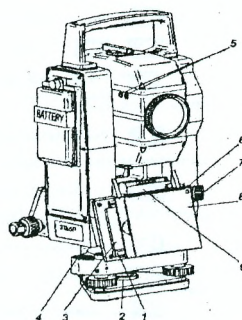
Электронный тахеометр ЗТа5Р – оптико-электронный прибор, совмещающий в себе электронный теодолит, светодальномер, вычислительное устройство и регистратор информации, предназначен для: выполнения крупномасштабных съёмок; создания сетей плано-высотного обоснования; автоматизированного решения различных инженерно-геодезических задач при помощи прикладных программ; крупномасштабных съёмок при инвентаризации земель; создания и обновления земельного кадастра и решения задач землеотвода; для беспикетажного трассирования автомобильных дорог и создания плано-высотной основы вдоль трассы. Тахеометром можно производить измерения в полярных и прямоугольных координатах.

а)



- 1-подъемный винт;
- 2-юстировочный винт подъемного винта;
- 3-дисплей;
- 4-кнопка включения (выключения);
- 5-колонка;
- 6-диоптрийное кольцо;
- 7-кольцо кремальеры зрительной трубы;
- 8-коллиматорный визир;
- 9-винт крепления источника питания;
- 10-кассетный источник питания;
- 11,13-наводящие винты зрительной трубы и горизонтального круга;
- 12,14-закрепительные винты зрительной трубы и горизонтального круга;
- 15-подставка.

б)



- 1-кнопка инжектора (внутри узла сопряжения);
- 2-юстировочная гайка подставки;
- 3-карта памяти (внутри узла сопряжения);
- 4-круглый уровень;
- 5-клеммы подключения к компьютеру;
- 6-юстировочный винт оптического центра;
- 7-окуляр оптического центра;
- 8-узел сопряжения с картой памяти;
- 9-цилиндрический уровень.

а - вид с панели управления; б - вид с регистрационной карты

Рис. 1.1. Устройство тахеометра ЗТа5Р

Возможности современных электронных тахеометров при изыскании автомобильных трасс таковы, что при использовании одного прибора, можно заменить множество основных технологических цепочек, которые используются при традиционной технологии изысканий автомобильных дорог.

Электронным тахеометром можно:

- ◆ измерять расстояние до характерных точек трассы;
- ◆ выполнять тригонометрическое нивелирование вместо традиционного геометрического нивелирования;
- ◆ выполнять детальную разбивку кривых;
- ◆ производить съёмку прирассовой полосы и т.д.

Опыт работы тахеометром на спорткомплексе «Виктория» в г. Бресте, спортивном дворце в г. Пружаны и других объектах Брестской области показал, что, помимо основного его назначения, тахеометр может успешно использоваться при испытаниях конструкций сооружений и определении горизонтальных и вертикальных перемещений объектов. Результаты измерений могут быть записаны в карту памяти и переданы в персональный компьютер для дальнейшей обработки.

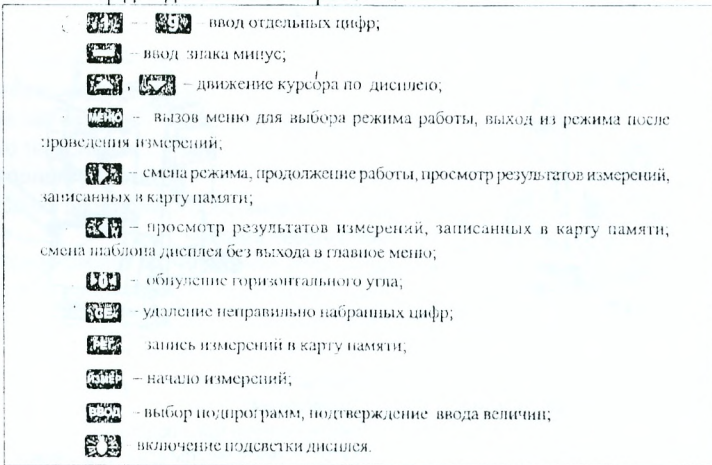


Рис 1.2. Кнопки панели управления

На рисунке 1.2 показана панель управления тахеометром. На панели расположены пятнадцать кнопок. Некоторые кнопки выполняют несколько функций. Нажатие кнопок сопровождается звуковым сигналом. На дисплее 3 (рис. 1.1, а) в четырёх строках отображаются буквенные идентификаторы и цифровая информация.

Основные технические характеристики электронного тахеометра ЗТа5Р:

- средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла..... $\pm 5''$
- средняя квадратическая погрешность измерения вертикального угла..... $\pm 7''$
- диапазон измерений горизонтального угла..... от 0° до 360°
- диапазон измерений вертикального угла..... от $+45^\circ$ до -45°
- диапазон измерений расстояний..... от 2м до 2000м
- средняя квадратическая погрешность измерения расстояния S определяется формулой:

$$m_s = \pm(5 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot S) \text{ мм} \quad (1.1)$$

Анализируя формулу (1.1), можно сделать следующий вывод: относительная погрешность измерения расстояния зависит от длины линии.

Так, например, при измерении расстояния 100 м абсолютная погрешность составляет ± 5 мм, а относительная 1:20000; при измерении расстояния 500 м абсолютная погрешность будет ± 6 мм, а относительная 1:83300; при измерении расстояния 1 км абсолютная погрешность составит ± 8 мм, а относительная 1:125000; при измерении расстояния 2 км абсолютная погрешность будет ± 16 мм, а относительная 1:125000.

На рис. 1.3. представлена структура меню тахеометра.

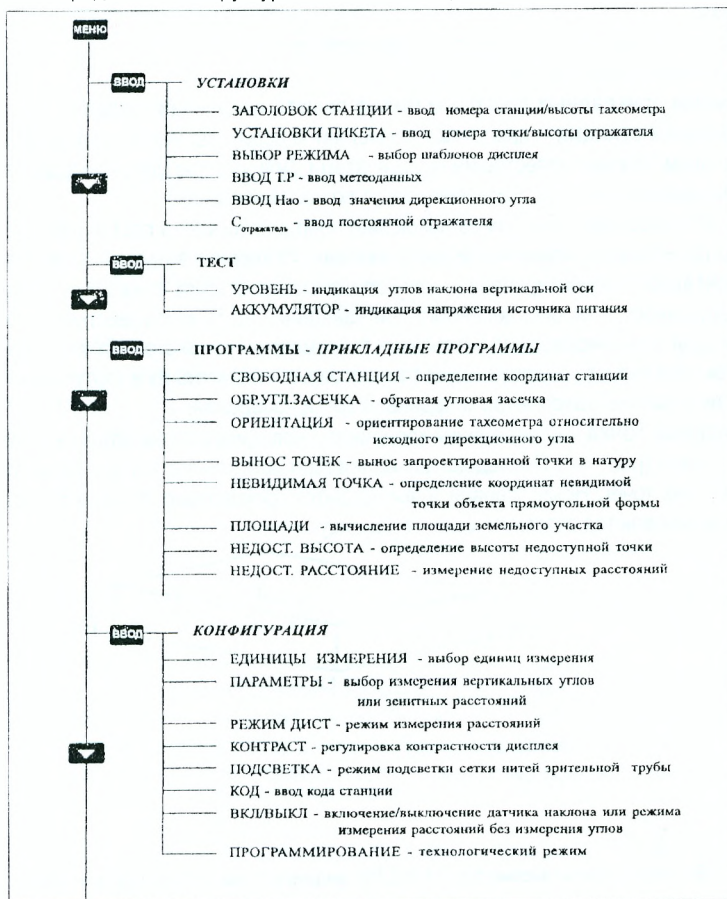


Рис. 1.3. Структура меню электронного тахеометра 3Та5Р

При измерениях автоматически вводятся следующие поправки:

- ◆ За влияние коллимационной погрешности;
- ◆ За влияние значения места нуля;
- ◆ Поправка за наклон линии к горизонту, т.е. измеряется горизонтальное проложение. Для измерения наклонных расстояний вводится специальный режим;
- ◆ Поправка за кривизну Земли и рефракцию.

В комплект входят следующие основные принадлежности:

- Отражатели однопризменные для измерения расстояний до 1 км и шестипризменные при измерении расстояний до 2 км;
- Источники питания (автономные);
- Зарядное устройство;
- Карта памяти;
- Вехи;
- Источник питания от аккумулятора автомобиля;
- Источник питания от сети 220 вольт.

Пои помощи прикладных программ можно решать следующие задачи:

- **СВОБОДНАЯ СТАНЦИЯ** – программа вычисляет координаты места стоянки инструмента по двум точкам с известными координатами. Для этого вводятся координаты точек с помощью клавиатуры. Измерения ведут по часовой стрелке.
- **ОБР. УГЛ. ЗАСЕЧКА** – программа вычисляет координаты места постановки инструмента по трём точкам с известными координатами. Измерения ведут по часовой стрелке.
- **ОРИЕНТАЦИЯ** – ориентирование нуля горизонтального круга относительно исходного дирекционного угла, определённого при наведении на точку с известными координатами. Для этого необходимо установить тахеометр на точке стояния, ввести в память тахеометра известные координаты точки стояния и записать их в карту памяти, затем ввести в память тахеометра координаты точки наведения.
- **НЕВИДИМАЯ ТОЧКА** – определения координаты невидимой точки объекта прямоугольной формы (рис. 1.4). Последовательно наводят зрительную трубу и проводят измерения трёх точек. Номер первой точки вводится произвольно. Номера последних точек увеличиваются автоматически на единицу.

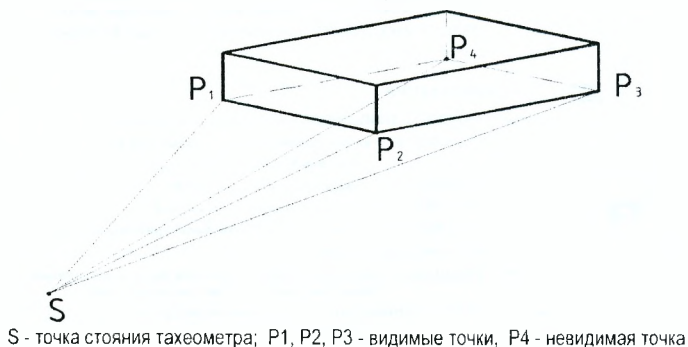
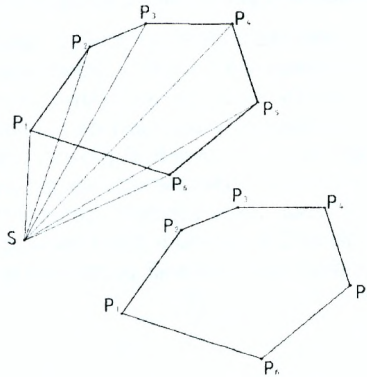


Рис. 1.4. Невидимая точка

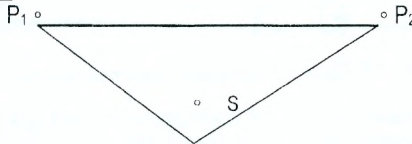
- **ПЛОЩАДИ** – определение площади земельного участка (рис. 1.5). Для определения площади земельного участка произвольной формы измеряют координаты точек углов поворота последовательно по периметру от первой выбранной точки до последней по ходу часовой стрелки.



S-точка стояния тахеометра, P1 - P₆ – точки на границах измеренного участка.
Измерения производятся последовательно, начиная с точки P1

Рис. 1.5. Определение площади

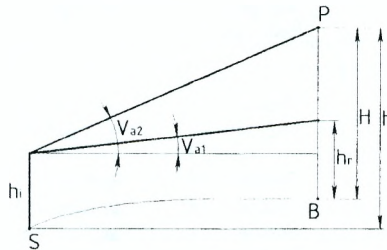
- **НЕДОСТ. РАССТОЯНИЕ** – измерение недоступных расстояний (рис. 1.6).
В точках P₁-P₂ устанавливают отражатели, до которых измеряют расстояния, нажатием кнопок и после появления на дисплее «вычислить?» нажать кнопку .



S - точка стояния тахеометра, P₁, P₂ - точки, между которыми измеряется горизонтальное проложение

Рис. 1.6. Определение недоступного расстояния

- **НЕДОСТ. ВЫСОТА** – определение высоты недоступной точки (рис. 1.7).
Устанавливают отражатель под точкой, высоту которой необходимо измерять. В память вводят высоту отражателя и тахеометра. Зрительную трубу тахеометра сначала наводят на отражатель, затем на точку, высоту которой необходимо определить.
При помощи тахеометра можно также выполнять вынос запроектированной точки в натуре.



S - точка стояния, h₁-высота станции, B - точка, на которую устанавливается отражатель, расположенный под точкой P, P - точка, высоту H которой необходимо измерять

Рис. 1.7. Определение недоступной высоты

1.2. Измерение расстояний светодальномерами

Светодальномер – электронно-оптический прибор, предназначенный для измерения расстояний с использованием световых волн. Измерение расстояния D светодальномером сводится к следующему: на одной из конечных точек A (рис. 1.8) устанавливается приёмопередатчик 1, который излучает электромагнитные колебания и направляет их на отражатель 2, расположенный в точке B . Отражатель принимает световой поток и направляет его обратно в точку A . Приёмопередатчик фиксирует моменты выхода t_1 и возвращения t_2 светового потока. Таким образом, световой поток в интервале времени $t_{20} = t_2 - t_1$ пройдёт расстояние D в прямом и обратном направлениях. Зная скорость v распространения электромагнитных колебаний, расстояние можно выразить формулой:

$$D = \frac{v \cdot t_{20}}{2} \quad (1.2)$$

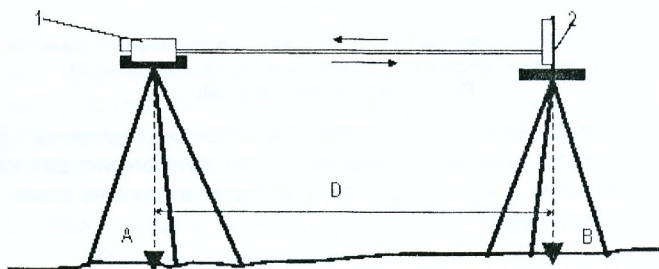


Рис. 1.8. Принцип измерения расстояния светодальномером

При традиционных измерениях светодальномером призма-отражатель (2) используется для фокусировки и отражения лучей обратно к приемнику излучения. Характеристики некоторых светодальномеров и электронных тахеометров приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1 Характеристики светодальномеров и тахеометров

Название	Страна-изготовитель	Дальность	Точность
Светодальномеры			
Геодезические:			
СГЗ, ДК0001	Россия	до 30 км	0,8-5 мм + 1,5 мм/км
Геодиметр 6, 8, 110, 600	Швеция	до 30 км	5 мм + 5 мм/км
Мекометр ME-300	Швейцария	до 30 км	0,2 мм + 5 мм/км
Для прикладной геодезии и маркшейдерии:			
МСД-1, МСД-1М	Россия	до 5 км	5 мм + 5 мм/км
Топаз	Россия	до 2 км	1 мм + 1 мм/км
Топографические:			
СТ5	Россия	до 5 км	10 мм + 5 мм/км
2СТ10	Россия	до 10 км	5 мм + 3 мм/км
2СМ2	Россия	до 2 км	20 мм
3СМ2	Россия	до 3 км	10 мм + 5 мм/км
СМ5	Россия	до 0,5 км	30 мм
ЕОК2000	Германия	до 2,5 км	5 мм + 4 мм/км

Продолжение таблицы 1.1

Электронные тахеометры			
Ta 3 ($m_{гор}=4''$; $m_{вер}=6''$)	Россия	до 5 км	10 мм + 5 мм/км
3Та5Р ($m_{гор}=5''$; $m_{вер}=7''$)	Россия	от 0,2 км до 30 км	5 мм + 3 мм/км
EOT2000 ($m_B=1''$)	Германия	до 2,5 км	10 мм
RECOTA ($m_B=3''$)	Германия	до 3 км	5 мм + 2 мм/км
Topcon GPT-3000 ($m_B=2''-7''$)	Япония	до 2 км	3 мм + 2 мм/км
Nikon DTM-851 ($m_B=1''$)	Япония	до 2,7 км	2 мм + 2 мм/км
Leica TPS1200 ($m_B=1''-5''$)	Швейцария	до 3 км	2 мм + 2 мм/км
TSA1800, TC2003 ($m_B=0,5''$)	Швейцария	до 3 км	1 мм + 1 мм/км
Trimble 5600 ($m_B=1''-5''$)	США	до 3 км	1 мм + 1 мм/км

В настоящее время известны светодальномеры и электронные тахеометры с пассивным отражением, т.е. без использования призмных отражателей. Здесь используют отражательные свойства самих предметов. Такие приборы применяют при исполнительной съемке зданий, сооружений, для измерения недоступных расстояний и т.д. В этих приборах используют излучатель большой мощности, чтобы повысить точность измерений.

Примером прибора, работающего в безотражательном режиме, является российский светодальномер ДИМ-2, точность измерения расстояний которым составляет ± 20 см. Им можно измерять расстояния до деревянных и бетонных покрытий до 300 м. Для коротких расстояний (до 80 м) точность измерений повышается и может достигнуть $\pm(2-3)$ мм.

1.3. Гиротеодолиты

При изысканиях трасс автомобильных дорог возникает задача определения направления трассы в закрытой местности (лес, глубокие ложбины, холмистая местность).

К методам ориентирования можно отнести: магнитный, астрономический и гироскопический.

Магнитный метод - ориентирование линий по магнитному меридиану с помощью буссоли. Характеризуется низкой точностью и используется для приближенного ориентирования линий.

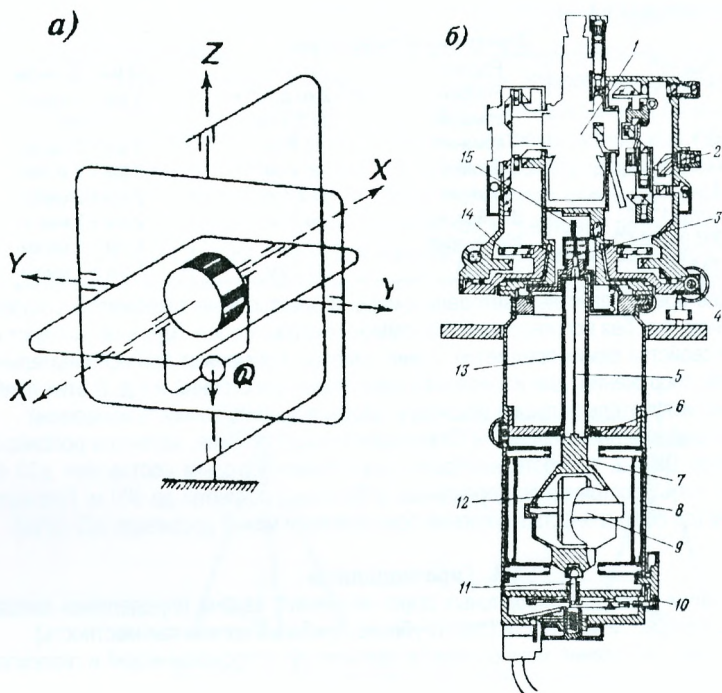
Точным ориентированием является астрономический метод, который заключается в определении астрономического азимута на земной предмет из астрономических наблюдений по полярной звезде в ночное время или по солнцу днём. Этот метод требует специальной квалификации, специальной аппаратуры и зависит от метеорологических условий.

Задача автономного ориентирования с достаточной для многих работ точностью $\pm(5''-60'')$, успешно решается гироскопическим методом.

Этот метод позволяет за короткое время выполнить ориентирование линии, независимо от метеорологических условий, от времени года и суток и наличия исходной геодезической основы. Метод может использоваться при ориентировании линий, как на наземном пространстве, так и под землёй при строительстве тоннелей, метрополитенов и в горной промышленности.

Приборы, позволяющие реализовать данный метод, образует отдельную группу приборов геодезического назначения. Они предназначены для определения направления истинного меридиана в данной точке на земной поверхности.

Под гироскопом понимают ротор – быстровращающееся тело вокруг оси симметрии (рис. 1.9, а). Ротор может без всякого ограничения вращаться вокруг осей x и z . Свобода движения вокруг оси Y частично ограничена. Благодаря ограничению одной степени свободы гироскоп приобретает ориентирующее свойство, т.е. способность указывать направление меридиана. Это свойство положено в основу устройства гиротеодолита.



а - схема трехступенчатого маятникового гироскопа;
 б - принципиальная схема гиротеодолита:

- 1 – угломерная часть; 2 – автоколлиматор; 3 – токопровод к торсиону; 4 – редуктор; 5 – торсион;
 6 – опорное кольцо корпуса гироблока; 7 – чувствительный элемент (ЧЭ); 8 – гироблок;
 9 – арретирующее устройство; 10 – маховик арретира; 11 – шток арретира; 12 – гиромотор;
 13 – штанга ЧЭ; 14 – горизонтальный круг гиротеодолита; 15 – зеркальце.

Рис. 1.9. Устройство гиротеодолита

Схема устройства гиротеодолита показана на рис. 1.9, б. К оси алидады угломерной части гиротеодолита 1 прикреплён чувствительный элемент (ЧЭ) 7 на тонкой металлической пластинке 5, которая называется **торсионом**. Подвод трехфазного тока к гиромотору 12, укрепленному внутри гирокамеры 9, происходит по двум ленточным токопроводам 3 и торсиону 5. Наблюдения за движением ЧЭ и проектированием на горизонтальный круг 14 прибора крайних реверсионных точек его азимутальных колебаний выполняется при помощи автоколлиматора 2, который вмонтирован в кожух алидады угломерной части и зеркала 15, неподвижно закрепленного на штанге 13 ЧЭ. ЧЭ вмонтирован в корпус 8 гироблока, который в свою очередь скреплен с кожухом алидады угломерной части. Гиротеодолит имеет арретирующее устройство, необходимое для скрепления ЧЭ с корпусом гиротеодолита во время транспортировки и хранения гиротеодолита. Арретир имеет маховик 10 и шток 11, которым ЧЭ, поворотом маховика, прижимается к опорному кольцу 6 гироблока.

Таблица 1.2. Основные характеристики гиротеодолитов ГИ-Б

Характеристика прибора	Марка гиротеодолита		
	Ги-Б1	Ги-Б2	Ги-Б3
Средняя квадратическая погрешность измерения азимута одним пуском, уг. с.	15-20	10-15	5-8
Продолжительность пуска, мин	50	45	45
Система слежения	Ручная	Автоматическая	
Входное напряжение, В	12±1	12±1	12±1
Потребляемая мощность, Вт	18	30	20
Масса комплекта в рабочем положении, кг	75	75	70
Масса комплекта в упаковке, кг	105	105	85

При определении направления истинного меридиана наблюдатель в окуляр автоколлиматора следит за изображением штрихов шкалы коллиматора, отражённых от зеркала ЧЭ, и с помощью редуктора 4 вращает алидаду, а вместе с ней и корпус гироблока синхронно с азимутальными колебаниями ЧЭ.

В крайних положениях ЧЭ, называемых реверсионными, когда происходит изменение направления его азимутального движения на обратное, наблюдатель берёт отсчёты по горизонтальному кругу прибора N_1 и N_2 . По этим отсчётам вычисляется отсчёт

$$N_0 = \frac{N_1 + N_2}{2}. \quad (1.3)$$

Для измерения азимута A_g , не изменяя положения горизонтального круга, визирную ось зрительной трубы наводят на точку М, на которую необходимо определить азимут от точки стояния прибора и берут отсчёт М по горизонтальному кругу.

Тогда A_g вычислится по формуле:

$$A_g = M - N_0. \quad (1.4)$$

Для перехода к астрономическому азимуту в измеренный угол A_g вводят поправку

$$A = A_g - \Delta A, \quad (1.5)$$

где ΔA - постоянная прибора, которая определяется на стороне триангуляции с известным азимутом.

В таблице 1.2. приведены основные технические данные некоторых моделей гиротеодолитов, изготовленных на заводе MOM (Венгрия).

Вопросы для самоконтроля

1. Какое основное назначение электронного тахеометра ЗТа5Р?
2. Какие возможности тахеометра при трассировании автомобильных дорог?
3. Какое назначение прикладных программ тахеометра ЗТа5Р?
4. Какой принцип положен в основу устройства гиротеодолита?
5. Каково назначение гиротеодолита?
6. Что понимают под точками реверсии гиротеодолита и как их определяют практически?

ЛЕКЦИЯ 2

2. Геодезические работы при трассировании автомобильных дорог.

2.1. Общие сведения о трассе и трассировании

Трассой называется обозначенная на местности или нанесённая на топографическую карту или материалы аэрофотосъёмки ось линейного сооружения. Положение трассы на местности характеризуется её планом – проекцией на горизонтальную плоскость и её продольным профилем – вертикальным размером.

Каждое линейное сооружение в каждом отдельном случае имеет свою специфику геодезических работ. Однако наиболее полной по объёму и одновременно типичной является программа геодезических работ применительно к дорожным сооружениям. В плане трасса автомобильной дороги состоит из прямых отрезков разного направления, которые сопрягаются между собой горизонтальными кривыми постоянного или переменного радиусов. Эти кривые называют круговыми и переходными кривыми.

В продольном профиле трасса также состоит из прямых линий различного уклона, которые сопрягаются вертикальными кривыми.

Комплекс работ по выбору оптимального варианта трассы, отвечающего всем требованиям технических условий, называется трассированием.

Таблица 2.1 Основные требования, предъявляемые к трассам автомобильных дорог.

Наименование требования	Категории дорог и разрешённая скорость движения км/ч				
	Ia- Ib 120-40	II 120	III 100	IV 80	V 60
1. Наибольшие продольные уклоны в ‰	40	40	50	60	70
2. Наименьшие радиусы кривизны горизонтальных кривых, м					
а) в равнинной местности	1200	800	600	300	150
б) в горной	1000	600	400	250	125
3. наименьшие радиусы вертикальных кривых, м					
а) выпуклых	25000	15000	8000	4000	1500
б) вогнутых	8000	6000	4000	2500	1500

При проектировании автомобильных дорог используют нормативные данные ТПК 45-3. 03 –19- 2006 (02250) Автомобильные дороги. Нормы проектирования (табл. 9-14).

Если трасса проектируется по топографическим планам и картам или материалам аэрофотосъёмки, то трассирование называют **камеральным**, если она выбирается непосредственно на местности – то **полевым**.

Предельные уклоны и радиусы кривых задаются проектом в зависимости от категории автомобильных. В табл. 2.1 приведены основные требования, предъявляемые к трассам автомобильных дорог (выписка из [9]).

2.2. Проектирование трассы в равнинной местности

Положение трассы в равнинной местности определяется контурными препятствиями, т.е. ситуацией, так как в равнинной местности уклон местности меньше допустимого проектного уклона, то стремятся иметь прямую трассу, ведя трассирование по заданному направлению. Однако встречающиеся препятствия в виде озёр, оврагов, болот, населённых пунктов и т.д. вынуждают отклонять трассу в ту или иную сторону (рис. 2.1).

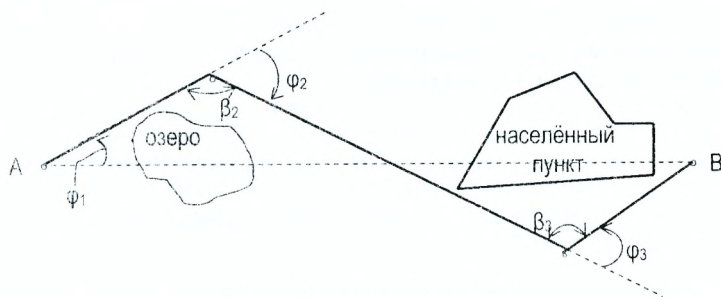


Рис. 2.1. Углы поворота трассы

Каждый угол поворота даёт некоторое удлинение трассы λ (рис. 2.2)

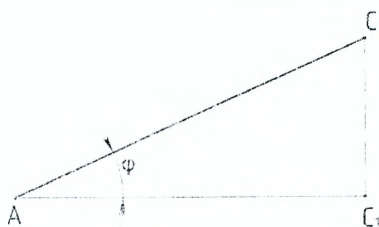


Рис. 2.2 К удлинению трассы

$$\lambda = \frac{AC - AC_1}{AC}$$

а так как $\frac{AC_1}{AC} = \cos \varphi$, то $AC_1 = AC \cos \varphi$, а $\lambda = \frac{AC - AC \cos \varphi}{AC \cos \varphi}$, т.е.

удлинение выразится формулой

$$\lambda = \frac{1 - \cos \varphi}{\cos \varphi} \quad (2.1)$$

В таблице 2.2 приведены значения удлинений в зависимости от угла поворота φ .

Таблица 2.2 Зависимость удлинения трассы от угла поворота трассы.

Угол поворота трассы в градусах	10	20	30	40	50	60
Удлинение в %	1,5	6,4	15,5	30,5	55,5	100

Поэтому в равнинной местности следует придерживаться следующих правил.

- ◆ Трассу прокладывают по прямой от одного контурного препятствия к другому.
- ◆ Вершины углов поворота выбирают против середины препятствия.
- ◆ Углы поворота стремятся делать не более 10° - 30° , т.е. $\lambda = 1,5\%$ - $15,5\%$.

2.3. Проектирование трассы в горной местности

Положение трассы в горной местности определяется высотными препятствиями, т.е. рельефом, а так как уклоны в горной местности значительно превосходят допустимые уклоны, то здесь трассирование ведётся по так называемым «напряжённым ходам», когда каждая линия задаётся предельным уклоном. Чтобы выдержать этот уклон, приходится искусственно изменять трассу, отклоняя её на большие углы от прямой.

Поэтому в горных районах трасса имеет сложную конфигурацию.

При разности высот h двух точек местности и расстоянии l между ними (рис. 2.3) средний уклон i между этими точками будет:

$$i = \frac{h}{l} \quad (2.2)$$



Рис. 2.3 Удлинение трассы в горной местности

В случае, когда величина i будет больше допустимого i_3 , то, чтобы провести трассу с заданным уклоном, необходимо её удлинить до

величины l_1 , равной $l_1 = \frac{h}{i_3}$, а так как $h = i \cdot l$, то $l_1 = \frac{i \cdot l}{i_3}$, или величина удлинения будет

$$\Delta l = l_1 - l = l \cdot \frac{i}{i_3} - l = l \cdot \frac{i - i_3}{i_3}$$

В относительной мере это будет

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{i - i_3}{i_3} \quad (2.3)$$

Например: при $i = 36\%$, $i_3 = 30\%$

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{0.036 - 0.030}{0.030} = \frac{1}{5}, \text{ т.е. изменение составит } 20\% \text{ при разности уклонов в } 6\%.$$

Поэтому при трассировании в горной местности требуется соблюдать следующие правила:

- ◆ Трассу ведут предельным уклоном, придерживаясь так называемой линии нулевых работ.
- ◆ Элементы плана трассы и отметки земли подбирают с учётом заранее составленного проектного профиля и требований сопряжения прямых и кривых.
- ◆ Углы поворотов и их величины назначают исходя из условий соблюдения уклона трассирования и расчётного развития линии, при этом стремятся избегать малых радиусов кривых.

2.4. Камеральное трассирование

Камеральное трассирование выполняется по топографическому материалу (топографические карты и планы, аэрофотоснимки или стереомодели).

Оно выполняется на стадии предварительных изысканий. Однако на местности со сложным рельефом прибегают к трассированию по крупномасштабным планам и в процессе окончательных полевых изысканий.

В зависимости от сложности условий местности камеральное трассирование выполняют или способом попыток, или построением линий заданного уклона.

Способ попыток применяют в равнинной местности. Между началом и концом трассы намечают по карте кратчайшую трассу, обходя контурные препятствия, и составляют

по трассе продольный профиль с проектом красной (проектной линии). На основании анализа продольного профиля выявляют места, в которых трассу следует сместить в ту или иную сторону, так, чтобы отметки местности были ближе к проектным. Эти места вновь трассируют и составляют улучшенный проект трассы.

Способ напряжённых ходов (рис. 2.4.) используют в горной местности. Вначале находят на карте в заданном направлении линию предельно допустимого уклона или, как её называют, «ход раствора циркуля». Для этого по карте заданного масштаба $1:M$ и по высоте сечения h данной карты определяют величину заложения (расстояние между соседними горизонталями) для предельного уклона i_3 .

$$L = \frac{h}{i_3}$$

или в масштабе карты раствор циркуля должен быть:

$$I = \frac{h}{i_3 \cdot M} \quad (2.4)$$

Например: $h=2.5\text{м}$; $1:M=1:10000$ и $i_3=30\%$

$$I = \frac{2,5}{0,030 \cdot 10000} = 8,3\text{мм}$$

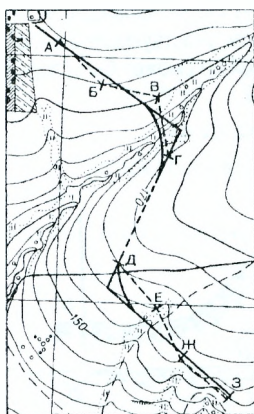


Рис. 2.4. Способ напряжённых ходов

Далее из начальной точки А, придерживаясь основного направления АЗ (рис. 2.4), раствором циркуля, равным I , засекают соседнюю горизонталь, из полученной точки В вновь засекают этим же раствором циркуля точку В следующей горизонтали и т.д. до точки З.

В местах, где расстояние между горизонталями больше принятого заложения I , т.е. где точки выбираются свободно, придерживаясь заданного направления, проводят прямую линию. Таким образом, на карте получают точки, образующие линии равных уклонов или линию нулевых работ, это значит, что если бы трассу провести по этой линии, то для соблюдения проектного уклона не надо было бы делать ни насыпей, ни выемок.

Но так как эта линия представляет собой весьма извилистую конфигурацию, то для размещения основных элементов плана трассы её спрямляют, затем вписывают кривые, разбивают пикетаж. По горизонталям определяют чёрные отметки пикетов и характерных переломов местности и составляют продольный профиль, на котором проектируют красную линию. В местах, где получаются большие объёмы земельных работ, трассу несколько смещают в ту или иную сторону.

Вопросы для самоконтроля

1. Что характеризует автомобильную трассу?
2. Какие правила проектирования в равнинной местности?
3. В чём заключается сущность способа «напряжённых ходов»?
4. Какие правила проектирования трассы в горной местности?

ЛЕКЦИЯ 3

3. Полевое трассирование.

3.1. Перенесение проекта трассы в натуру

Полевое трассирование производится на стадии окончательных изысканий.

Проект трассы, разработанный в камеральных условиях, выносят на местность по данным привязки углов к пунктам геодезической сети или ближайшим четким контурам. Данные привязки получают графоаналитическим способом по топографической карте.

По подготовленным данным определяют на местности положение вершин углов поворота трассы и устанавливают по полученному направлению ряд вех. Полученное направление вначале обследуют визуально. Иногда несколько смещают провешенную линию и углы поворота для более удобного размещения элементов плана от профиля трассы и обеспечения минимального объема строительных работ. Только после этого закрепляют на местности окончательно вершины углов поворота трассы.

Если между соседними вершинами углов поворота нет прямой видимости, то направление трассы может быть определено следующими способами:

1. Вблизи от створа линии АВ (на глаз) ставят веху в точке C_1 (рис. 3.1.) и провешивая направление C_1A , устанавливают веху в точке D_1 . Затем провешивают линию D_1B , перемещая при этом веху из точки C_1 в точку C_2 . Далее снова провешивают линию C_2A , перемещая веху из точки D_1 в точку D_2 . Таким образом, участвующие в работе два человека перемещают вехи до тех пор, пока ни одна из вех не сможет быть перемещена. В это время оба вехи C и D окажутся в створе линии АВ.

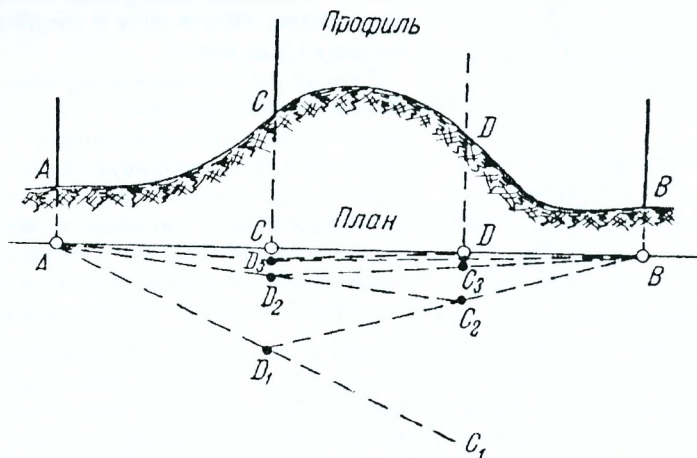


Рис. 3.1. Способ задания направления при помощи вешения линии

2. Если вблизи имеется пункт D геодезического обоснования с известными координатами (рис. 3.2.), то трассу задают от направления на этот пункт, при этом для подсчета дирекционных углов используют графически определённые координаты точки угла поворота A и аналитические координаты точки D . По дирекционным углам вычисляют угол β , который откладывают от направления AD и закрепляют точку C на линии трассы.

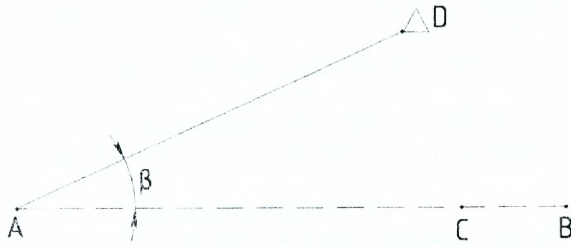


Рис. 3.2. Способ задания направления по геодезическому пункту

3. Направление трассы можно задать по некоторой точке С (рис. 3.3.), приближённо намеченной по контурам: в створе линии АВ.

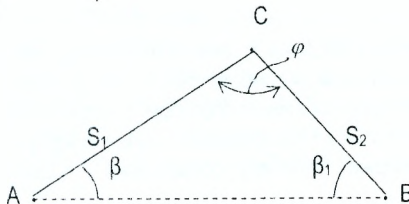


Рис. 3.3. Способ задания направления по точке

Из точки С должны быть видны вершины А и В. Измеряют угол φ при точке С и стороны S_1 и S_2 .

По теореме синусов имеем:

$$\frac{S_2}{\sin \beta} = \frac{S_1}{\sin \beta_1} = \frac{S_1}{\sin(180 - \beta + \gamma)} = \frac{S_1}{\sin(\beta + \gamma)}$$

или

$$\sin \beta = \frac{S_2}{S_1} \cdot \sin(\beta + \gamma) = \frac{S_2}{S_1} \cdot (\sin \beta + \cos \gamma) + \cos \beta \cdot \sin \gamma \quad (3.1)$$

Правую и левую часть формулы (3.1) разделим на $\sin \beta$, получим

$$1 = \frac{S_2}{S_1} \cdot (\cos \gamma + \text{ctg} \beta \cdot \sin \gamma)$$

или

$$1 - \frac{S_2}{S_1} \cdot \cos \gamma = \frac{S_2}{S_1} \cdot \text{ctg} \beta \cdot \sin \gamma \quad (3.2)$$

Разделив выражение (3.2) на $\sin \gamma$, получим:

$$\frac{1}{\sin \gamma} - \frac{S_2}{S_1} \cdot \text{ctg} \gamma = \frac{S_2}{S_1} \cdot \text{ctg} \beta$$

или

$$\text{ctg} \beta = \frac{S_1}{S_2 \cdot \sin \gamma} - \text{ctg} \gamma.$$

Угол β для задания направления АВ от направления АС вычисляется по формуле:

$$\beta = \text{arccotg} \left(\frac{S_1}{S_2 \cdot \sin \gamma} - \text{ctg} \gamma \right) \quad (3.3)$$

Так как угол β мал, то относительная погрешность измерения расстояний S_1 и S_2 может быть допущена $f_{\text{отн.}} = 1/200$, т.е. их можно измерять нитяным дальномером по частям.

4. Направление трассы можно задать при помощи гиротеодолита или по магнитному азимуту.

Определив тем или иным способом направление трассы на местности между углами поворота, устанавливают и производят по трассе угловые и линейные измерения.

3.2. Угловые измерения

При трассировании измеряют правые по ходу горизонтальные углы одним полным приёмом теодолитом типа Т-30, т.е. с точностью $30''$. Углы поворота трассы определяют как дополнение правого угла хода до 180° или уменьшением правого угла на 180° , т.е.

$$\left. \begin{array}{l} \text{или} \\ \varphi = 180 - \beta \\ \varphi = \beta - 180 \end{array} \right\} \quad (3.4)$$

Для контроля по буссоли определяют прямые и обратные магнитные азимуты. На длинных участках в пределах прямой видимости (500 – 800 м) устанавливают створные точки. Угол в створной точке измеряют обычным способом, т.е. полным приёмом. Он не должен отличаться от 180° более чем на $\pm 1'$. В противном случае створную точку перемещают на местности и угол заново измеряют. Величину перемещения l подсчитывают по формуле

$$l = S \cdot \frac{\Delta\beta}{\rho} \quad (3.5)$$

где S - расстояние до створной точки;

$\Delta\beta$ - отклонение угла от 180° ;

$\rho = 206265''$ - радиан в секундах.

3.3. Линейные измерения

При трассировании выполняют два вида линейных измерений.

Первое - это определение расстояния между вершинами углов поворота и створными точками. Эти измерения выполняются в прямом и обратном направлениях одновременно с угловыми измерениями. По результатам угловых и линейных измерений и плановой привязки к пунктам государственной геодезической сети вычисляют координаты угла поворота трассы. Относительную погрешность измерения расстояний допускают 1:1000-1:2000. Стороны измеряют мерными лентами, малыми светодальномерами или лазерными рулетками. В настоящее время широко используются электронные тахеометры, при помощи которых одновременно выполняются линейные и угловые измерения.

Второе измерение служит для разбивки пикетов, элементов круговых кривых и поперечников, а также для промеров до точек ситуации, расположенных вблизи трассы. Эти измерения выполняют, как правило, обычными мерными приборами (землемерные ленты, рулетки или лазерные рулетки).

Пикеты устанавливают через каждые 100 м. Кроме целых пикетов на местности отмечают плюсовые точки: рельефные - характерные перегибы с точностью 1 м и контурные с точностью до 1 см. при пересечении трассой чётких контуров и до 10 см при нечётких контурах.

В процессе разбивки пикетажа вводят поправки за наклон местности, так как горизонтальное проложение между пикетами должно быть равным 100м. Для этого необходимо измерять вертикальные углы ν с точностью $\pm 1,5^\circ$ или превышения h и вводить поправки со знаком «плюс». Поправки вычисляются по формулам:

$$\Delta D = 200 \cdot \sin^2 \frac{\nu}{2}$$

или

$$\Delta D = \frac{h^2}{200}$$

3.4. Разбивка главных точек кривых

На углах поворота трассы производят вставки кривых и выполняют пересчёт пикетажа. В связи относительно большой скоростью движения транспорта прямые участки и конечные точки круговых кривых дополнительно сопрягаются переходными кривыми переменного радиуса.

Пикетаж разбивают до вершины угла (ВУ) поворота трассы. Так как счёт пикетажа ведётся по кривой, а пикетаж разбивают по ломаной линии, поэтому, подойдя к вершине угла (ВУ), которому присваивается плюсовая точка и находят элементы круговой кривой (рис. 3.4). Часть оси трассы, очерченной по дуге постоянного радиуса, называется **круговой кривой**. Её элементы – угол поворота φ и радиус R служат исходными данными для определения значений основных элементов круговой кривой, которые определяются из треугольника АОВ.

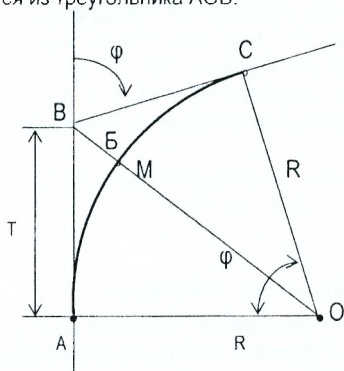


Рис. 3.4. Элементы круговой кривой

Точки А, М, С являются главными точками круговой кривой и называются:

начало кривой (НК);
середина кривой (СК);
конец кривой (КК).

Элементами круговой кривой являются:

Т – тангенс;

К – длина кривой;

Б – биссектриса;

Д – домер.

Длина касательных АВ и ВС называется **тангенсом (Т)** кривой

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}. \quad (3.6)$$

Длина круговой кривой представляет дугу АМС окружности – **кривая (К)**. Поскольку справедлива пропорция $K/2\pi R = \varphi/360^\circ$, то

$$K = \pi R \frac{\varphi}{180}. \quad (3.7)$$

Домер (Д) круговой кривой равен разности.

$$D = 2T - K. \quad (3.8)$$

Домер учитывается при разбивке пикетажа после поворота трассы, поскольку линейные измерения производятся по прямым участкам трассы, а вычисление расстояний по трассе должно вестись с учётом кривых.

Биссектриса (Б) – длина отрезка ВМ от вершины угла до середины кривой

$$Б = OB - OM = \frac{R}{\cos \frac{\varphi}{2}} - R = R \left(\sec \frac{\varphi}{2} - 1 \right) = \frac{2R \sin^2 \frac{\varphi}{2}}{\cos \frac{\varphi}{2}}. \quad (3.9)$$

Главные точки круговой кривой: точка А – начало кривой (НК); точка С – конец кривой (КК) и точка М – середина кривой (СК) – являются опорными для определения на местности контура кривой. Пикетажные значения главных точек кривой вычисляются по формулам:

$$\left. \begin{aligned} \text{ПК НК} &= \text{ПК ВУ} - T \\ \text{ПК КК} &= \text{ПК НК} + K \\ \text{ПК СК} &= \text{ПК КК} - \frac{K}{2} \end{aligned} \right\}, \quad (3.10)$$

где ПК ВУ – пикетажное значение вершины угла поворота трассы.

Контроль вычислений осуществляется по формуле:

$$\text{ПК ВУ} = \text{ПК СК} + \frac{K}{2}. \quad (3.11)$$

Начало и конец кривой на местности находят путём откладывания от ближайшего закреплённого пикета.

Для дальнейшей разбивки пикетажа по новому направлению трассы откладывают от вершины угла величину домера Д, считая, что его конец имеет тот же пикетаж, что и вершина угла, и от полученной точки продолжают разбивать пикетаж обычным способом, закрепляя пикетные и плюсовые точки, в том числе НК и КК. Для нахождения на местности СК горизонтальный угол β делят пополам и по этому направлению откладывают длину биссектрисы Б.

Для характеристики поперечного уклона местности разбивают поперечники в обе стороны от трассы на 15-30 м. Если поперечный уклон более 20‰ (11°), то поперечники на всех пикетах.

3.5. Ведение пикетажного журнала. Нивелирование трассы

Одновременно с разбивкой пикетажа ведётся пикетажный журнал (в виде тетради в клетку или на миллиметровой бумаге). В нём показывают ось трассы в виде прямой линии посередине страницы, на которой в определённом масштабе (одна клетка – 20м) наносят все пикетные и плюсовые точки, углы поворота, поперечники, границы пересечений трассой угодий и т. д. Здесь же приводят расчётные значения элементов круговых кривых и пикетажные значения главных точек кривых. Пример оформления пикетажного журнала приведён на рис. 3.5.

По всем закреплённым точкам трассы производят техническое нивелирование. При этом устанавливают временные реперы через 2-3 км так, чтобы они находились не в зоне земляных работ. Километровые пикеты, вершины углов и все реперы обязательно нивелируются как связующие точки. Привязка трассы к высотным пунктам геодезической основы осуществляется через 10-15 км. Длина визирного луча до реек устанавливается 100-150 м в зависимости от условий видимости.

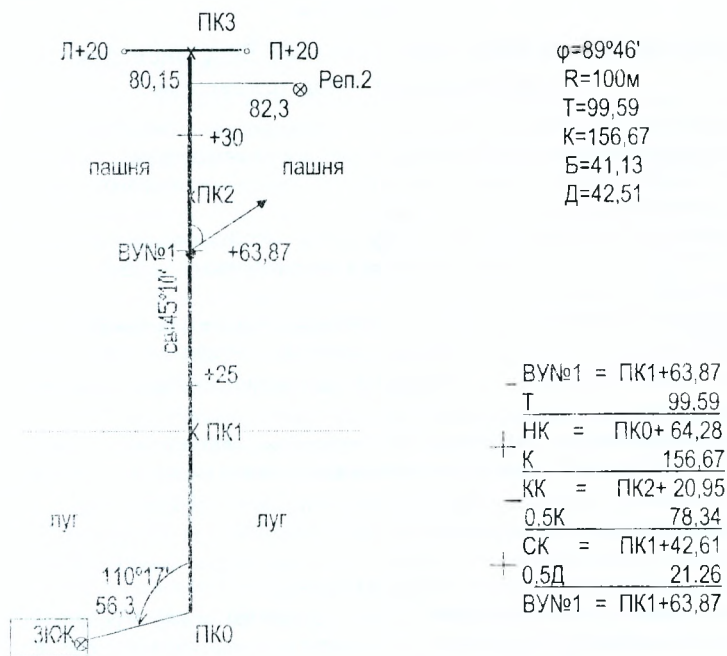


Рис. 3.5. Пикетажный журнал

Допустимая невязка вычисляется по формулам $f_{\text{доп}} = \pm 50\text{мм}\sqrt{L}$ на равнинной местности или $f_{\text{доп}} = \pm 10\text{мм}\sqrt{n}$ на холмистой местности, где L - длина хода в км, n - количество станций в ходе.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите способы задания трассы.
2. Как определяют положения главных точек кривой на местности?
3. Как и с какой точностью выполняются угловые и линейные измерения?
4. Как ведётся пикетажный журнал?
5. Какие точки трассы обязательно нивелируются как связующие?

ЛЕКЦИЯ 4

4. Беспикетажный метод трассирования. Восстановление трассы.

4.1. Беспикетажный метод трассирования

Современные электронные тахеометры, совмещающие в себе электронный теодолит, светодаальномер, вычислительное устройство и регистратор информации позволили в значительной степени изменить технологию геодезических работ при изысканиях трасс автомобильных дорог.

Современный тахеометр, например Уральского оптико-механического завода (УОЗ) ЗТа5Р, позволяет сразу заменить несколько технологических цепочек при трассировании автомобильных дорог.

Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтальных углов тахеометром ЗТа5Р составляет $m_{\beta} = \pm 5''$, что позволяет производить вешение линий, измерение углов поворота трассы с точностью на порядок выше нормируемой допустимой погрешности измерения углов при трассировании ($\pm 3' \sqrt{n}$, где n - число углов).

Средняя квадратическая погрешность измерения вертикальных углов составляет $m_{\gamma} = \pm 7''$, что позволяет производить тригонометрическое нивелирование вдоль трассы и поперечников с точностью, превышающей допустимую точность геометрического нивелирования для трасс автомобильных дорог ($\pm 50 \text{ мм} \sqrt{l}$, где l - длина хода в км.). Таким образом, использование электронного тахеометра для нивелирования может успешно заменить техническое нивелирование трассы.

В то же время при помощи электронного тахеометра можно определять не только превышения, но и сразу высоты точек с записью в карту памяти, что исключает трудоемкие операции, связанные со считыванием отсчетов, приведением визирной оси в горизонтальное положение, записью в полевые журналы с их последующей ручной обработкой. Все это позволяет повысить производительность полевых и камеральных работ с одновременным повышением качества измерений.

Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния S определяется формулой $m_S = \pm (5 + 3 \cdot 10^{-6} \cdot S) \text{ мм}$, что позволяет решать с высокой точностью сразу несколько задач:

- измерение расстояний до створных и характерных точек трассы вместо разбивки пикетажа, при этом точность таких работ на несколько порядков выше нормативно допустимой 1:1000;
- при производстве тригонометрического нивелирования вдоль трассы расстояния до нивелируемых точек можно увеличить до 800-1000 м (предельное расстояние при работе с малым отражателем), при этом точность нивелирования будет выше точности геометрического нивелирования, что позволяет осуществлять нивелирование не только трассы, но и осуществлять плано-высотную привязку трассы к пунктам геодезической основы;
- съемку ситуации и рельефа вдоль трассы;
- съемку поперечников;
- разбивку горизонтальных кривых.

Таким образом, использование электронного тахеометра при трассировании автомобильных дорог позволяет заменить следующие обязательные технологические работы: разбивку пикетажа, съемку полосы местности вдоль трассы, продольное нивелирование вдоль трассы, разбивку и нивелирование поперечников.

При трассировании автомобильных дорог с использованием тахеометра должны соблюдаться следующие особенности:

- На вершинах углов поворота измерения горизонтальных углов выполняют полным приемом.
- По длине каждого прямого участка закрепляют точки - замены (взамен пикетов) через 80-100 м.
- Расстояния между станциями (стоянками тахеометра) при вешении прямых участков принимают не более 500-1000 м., т.е. не более максимального расстояния при работе с однопризменным отражателем.
- Вынос очередной станции осуществляется путем откладывания угла в 180° при двух рабочих положениях круга. В грунт закладывается точка и сторожок. Над точкой устанавливают на штативе малый отражатель, который центрируют и приводят в отвесное положение по уровню.
- Вешение линий между станциями и установкой заменок ведут с помощью вехи с малым отражателем и с одновременным тригонометрическим нивелированием.

При тригонометрическом нивелировании при помощи электронного тахеометра учитываются следующие особенности:

- Передачу высот со станции на станцию осуществляют при двух положениях круга тахеометра;
- При нивелировании в абсолютной системе высот на каждой станции вводят в память тахеометра абсолютную высоту соответствующей станции. В этом случае при последующем нивелировании получают абсолютные высоты всех характерных точек трассы;
- Нивелирование ведут с использованием малого отражателя, установленного на телескопической вехе. Перед началом нивелирования на каждой станции высоту отражателя устанавливают равной высоте тахеометра;
- При продольном нивелировании трассы измеряют высоты характерных точек, которые закрепляют на местности сторожками или сторожками и кольшками: характерные переломы местности; точки местности с шагом не более 80-100 м.; границы угодий; урезы воды и т.д., а также главные точки кривых (начало и конец переходных и круговых кривых и точки середины кривых);
- Продольное нивелирование ведут при одном положении круга тахеометра с записью результатов измерений в журнал или в магнитную карту памяти;
- Разбивку горизонтальных кривых осуществляют с одновременным нивелированием характерных точек трассы. При разбивке кривых способом полярных координат тахеометр устанавливают на вершине угла или на главных точках кривой.

4.2. Восстановление дорожной трассы

Восстановление дорожной трассы проводят непосредственно перед началом строительных работ.

В состав работ по восстановлению трассы входит:

- Инструментальное восстановление пикетажа или заменок с контрольными промерами прямых линий и углов и с детальной разбивкой кривых;
- Контрольное нивелирование по пикетажу с дополнительным сгущением реперов;
- Закрепление трассы с выносом знаков крепления за пределы зоны земляных работ.

При восстановлении трассы за основу принимают трассу, выбранную в процессе изысканий.

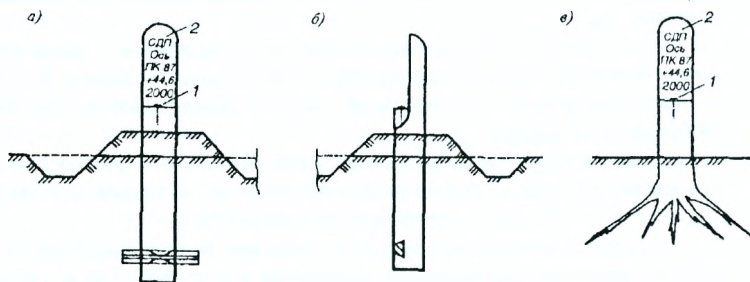
Восстановление начинают с отыскания на местности вершин углов поворота. Отдельные вершины отыскивают промерами от постоянных местных контуров. При утрате знаков крепления углов поворота и невозможности их восстановления от местных предметов этот участок трассируется вновь.

Одновременно с восстановлением вершин измеряют углы поворота трассы и сравнивают полученные значения с проектными. При значительных расхождениях, направления трассы не изменяют, а исправляют значения проектного угла поворота и пересчитывают все элементы кривых. Далее приступают к контрольному измерению линий с разбивкой пикетажа или заменок.

На закруглениях детально разбивают круговые и переходные кривые. Для кривых с радиусом более 500 м детальная разбивка ведется через 20 м, а с радиусом менее 500 м – через 10 м.

После восстановления пикетажа и детальной разбивки кривых трассу закрепляют. Знаки крепления устанавливают вне зоны предполагаемых земляных работ.

Закрепительные знаки размещают на выгонах, на границах угодий, в кустарниках, в лесу и т.д., т.е. в местах, на которых не производят сельскохозяйственные работы.

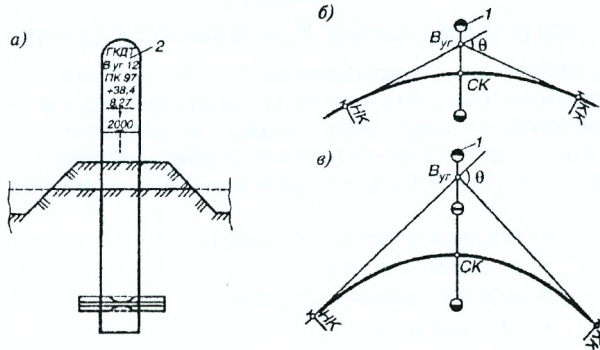


а – стандартный деревянный осевой столб, вид спереди; б – вид сбоку; в – пень, разделанный под осевой столб; 1 – осевой гвоздь; 2 – аббревиатура организации.

Рис. 4.1. Осевые закрепительные знаки

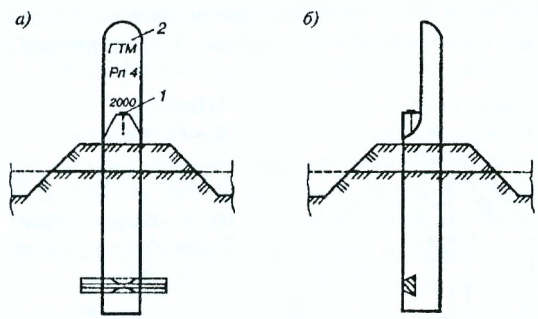
Осевыми столбами закрепляют прямолинейные участки трассы (рис. 4.1), размещая их строго по оси трассы, через 500-800 м друг от друга. На лицевой стороне подписывают данные организации, выполняющей трассирование, пикетажное значение осевого столба, год трассирования. В полку столба по теодолиту забивают осевой гвоздь, который маркируют масляной краской. В залесенной местности, когда по оси трассы оказываются деревья, подлежащие рубке, их спиливают по высоте 70-80 см от комля и полученный пень оформляют под осевой столб.

Вершины углов поворота трассы и точки середины кривой закрепляют тремя деревянными столбами, размещаемыми на биссектрисе угла (рис. 4.2, в). На лицевой части каждого угла подписывают наименование организации, пикетажное значение угла, расстояние до вершины угла, расстояние до середины кривой год трассирования (рис. 4.2, а). При небольшом значении биссектрисы менее 20 м вершину угла и точку середины кривой закрепляют двумя столбами (рис. 4.2, б).



а – деревянный стандартный угловой столб; б – план закрепления при небольшом значении биссектрисы; в- план закрепления при большой биссектрисе; 1 – угловой столб; 2 – аббревиатура организации.

Рис. 4.2. Схема закрепления вершины угла и середины кривой



а – вид спереди; б – вид сбоку; 1 – гвоздь; 2 – аббревиатура организации.

Рис. 4.3. Закрепление высотных ходов

Закрепление высотных ходов вдоль трассы осуществляют деревянными временными реперами (рис. 4.3) через 2-3 км в стороне от трассы на расстоянии 30-40 м.

При закреплении составляют специальную ведомость закреплений, где на каждую закрепленную точку приводят подробную схему закрепления.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем заключается преимущество беспикетажного трассирования?
2. Какие особенности учитываются при нивелировании тахеометром?
3. Что такое заманка?
4. Какие виды работ входят в состав восстановления трассы?
5. Как закрепляют створные точки и углы поворота трассы?

ЛЕКЦИЯ 5

5. Детальная разбивка кривых. Вынос пикетов с тангенса на кривую

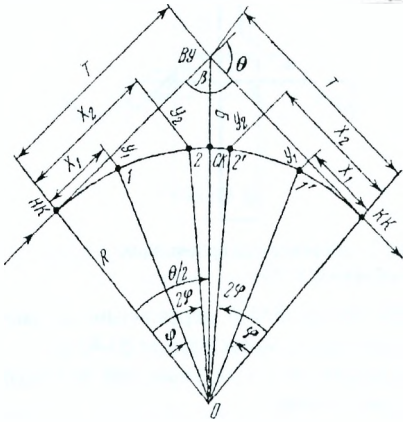
Детальную разбивку кривых и переходных кривых выполняют при восстановлении трассы. При этом разбивочные точки располагают на оси трассы с равномерным шагом. При радиусе более 500 м целесообразно кривую разбивать через 20 м, при радиусе 200-500 м – через 10 м, в некоторых случаях, при необходимой детализации, кривую разбивают через 1-2 м.

В зависимости от условий разбивки, разбивка может быть выполнена следующими способами:

- способом прямоугольных координат;
- способом продолженных хорд;
- способом полярных координат;
- способом углов.

5.1. Способ прямоугольных координат

Этот способ прост в применении, наиболее точен и поэтому наиболее распространен. Начало, конец и середину кривой закрепляют на местности по элементам кривой. При разбивке кривой способом прямоугольных координат разбивку ведут от начала и конца кривой к середине. За ось x принимают линию тангенса, а за ось y – перпендикуляр к ней, проходящий через разбивочную точку (рис. 5.1), т.е. для разбивки точек 1 и 2 необходимо знать отрезки x_1 и y_1 , x_2 и y_2 .



Из рис. 5.1.

$$X_1 = R \cdot \sin \varphi;$$

$$Y_1 = R \cdot (1 - \cos \varphi) = 2 \cdot R \cdot \sin^2 \frac{\varphi}{2},$$

где R – радиус кривой.

Таким образом, расчет ведут по формулам:

$$\left. \begin{aligned} X_n &= R \cdot \sin n \cdot \varphi, \\ Y_n &= 2 \cdot R \cdot \sin^2 n \cdot \frac{\varphi}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (5.1)$$

Угол φ – (центральный), стягивается дугой l – (интервал разбивки кривой), поэтому его значение получают по формуле:

$$\varphi = \frac{l}{R} \cdot \rho, \quad (5.2)$$

$$\text{где } \rho = \frac{180}{\pi}.$$

Рис. 5.1. Способ прямоугольных координат

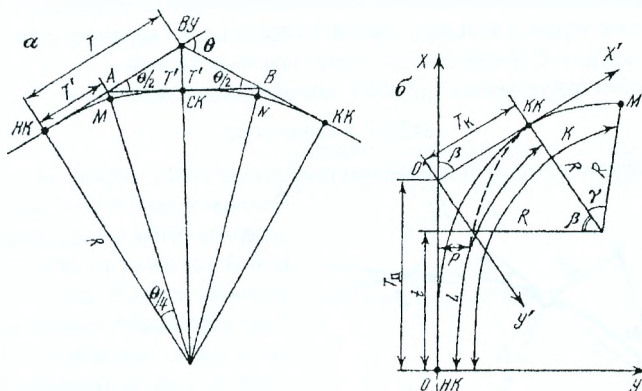
Значение $n \cdot \varphi$ не должно превышать величины половины угла поворота трассы, т.е.

$$n \cdot \varphi < \frac{\theta}{2}.$$

Координаты X и Y можно вычислить по формулам (5.1) или определить по таблицам для детальной разбивки кривых (Митин Н.А. «Таблицы для разбивки кривых»).

Практически разбивку выполняют следующим образом: откладывают по линии тангенса от точек НК или КК значения x_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), а по перпендикуляру – y_i , получают на кривой точки 1, 2, 3, ..., n , которые закрепляют кольями.

При разбивке длинных кривых, величины ординат резко возрастают с увеличением длины кривой, что является затруднительным при разбивке обычными мерными приборами, поэтому для устранения этого недостатка кривую делят пополам (рис. 5.2).



а – схема разбивки длинной кривой пополам; б - схема разбивки сложного закругления с введением вспомогательной системы координат

Рис. 5.2. Разбивочные работы на кривых

Для этого в середине кривой СК разбивают касательную и получают точки А и В. Для получения этих точек *теодолитом* из СК откладывают от направления биссектрисы углы по 90° и в пересечении визирной оси с линиями тангенсов закрепляют точки А и В. Эти точки являются вершинами углов поворота для малых кривых с углами $\theta/2$. Тангенсы для этих кривых рассчитывают по формуле $T' = R \operatorname{tg} \theta/4$ либо их значения находят по таблицам круговых кривых по радиусу R и углу поворота $\theta/2$. Разбивку кривой ведут по частям от СК к точке М и от СК к точке N. Координаты x' и y' рассчитывают по формулам (5.1).

В случае разбивки сложной кривой, состоящей из круговой кривой и двух переходных кривых (клотоиды), разбивку ведут одновременно и переходные кривые и круговую кривую от начала и конца переходных кривых. Для удобства здесь целесообразно основную систему координат XOY дополнить системой X'O'Y' с центром O' в вершине угла β , который образован пересечением длинного тангенса (T_d) и короткого (T_k) (рис. 5.2). В системе координат X'O'Y' разбивку кривой выполняют от конца переходной кривой. Координаты вычисляют по формулам:

- в системе координат XOY
 $x = t + R \sin(\beta + \gamma); \quad y = p + R[1 - \cos(\beta + \gamma)],$
 где $\beta = L/2R; \quad \gamma = (K - L)R;$
- в системе координат X'O'Y'
 $x' = T_k + R \sin\left(\frac{k-1}{R}\right); \quad y' = R\left[1 - \cos\left(\frac{K-L}{R}\right)\right].$

Здесь T_k – короткий тангенс клотоиды; L – общая длина клотоиды; R – радиус круговой кривой; K – расстояние от начала клотоиды до точки М, расположенной на круговой части закругления.

5.2. Способ продолженных хорд

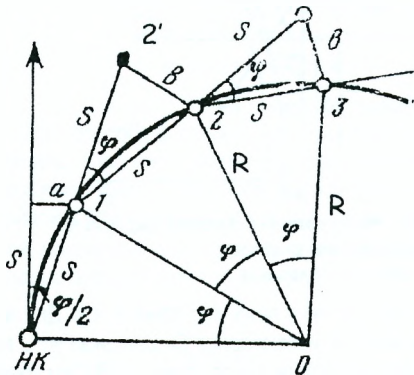
Этот способ применяется на застроенной территории, где способ координат применять затруднительно.

Разбивка ведется от начала (НК) или конца (КК) кривой к середине кривой. По заданной длине хорды S и радиусу кривой R рассчитывают величину α (рис. 5.3) и перемещения хорды v . В основе способа лежит линейная засечка.

Из подобия треугольников 102 и $122'$ вначале находят величину v .

$$v = S^2/R, \text{ а затем } a = v/2. \quad (5.3)$$

При разбивке используют два мерных прибора (например, мерная лента и рулетка).



Положение первой точки на кривой определяют путём откладывания стальной лентой по линии тангенса от точки НК величины хорды S , далее в полученной точке удерживают нулевой штрих рулетки, а ленту, удерживая её начальный штрих в точке НК, перемещают на величину a . При натяжении ленты и рулетки получают точку 1. Закрепив точку 1 на местности, ленту протягивают по направлению НК-1 и получают точку 2', которую смещают на величину v опять же при помощи ленты и рулетки и т.д. до середины кривой.

Рис. 5.3. Способ продолженных хорд

Так производят разбивку первой половины кривой, затем аналогично разбивают вторую половину кривой от точки конца кривой (КК) к середине кривой.

При разбивке переходной (клотоидной) кривой расчеты перемещения хорд производят по формулам: $a = l_k^3/2A^2$; $v = (L_n - L_{n-1})^2 \cdot (L_n + L_{n-1})/A^2$;

длина хорды между точками разбивки n и $(n-1)$ клотоиды вычисляются по формуле:

$$S_{n-(n-1)} = \sqrt{(x_n - x_{n-1})^2 + (y_n - y_{n-1})^2},$$

где $l_k = L_n/n$ - интервал разбивки;

n - число интервалов;

L_n - длина клотоиды от начала кривой до точки;

A - параметр клотоиды;

5.3. Способ полярных координат

При разбивке теодолит устанавливают в точке начала (НК) или конца (КК) и от направления линии тангенса в сторону кривой (рис. 5.4) откладывают углы φ , а вдоль каждого такого направления длины линии d (радиус-векторы).

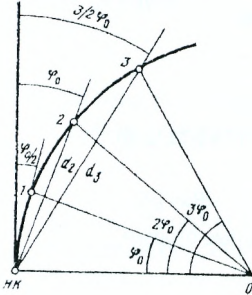
Вначале вычисляют величину исходного полярного угла разбивки по формуле:

$$\varphi_n = l_0 \rho / 2R, \quad (5.4.),$$

где l_0 – интервал разбивки, который зависит от радиуса R кривой и длины кривой K_n ;

$$K_n = n l_0 \quad (n \text{ - число точек кривой}), \text{ т.е. } l_0 = \frac{K_n}{n}; K_n = n l_0$$

ρ - число минут в радиане ($\rho = 3438'$). ($\rho = 3438'$).



Величины полярных углов φ и длины радиус-векторов d вычисляют по формулам:

$$\varphi_n = n \cdot \varphi_0; \quad d_n = 2R \cdot \sin n \varphi_0. \quad (5.5)$$

Этот способ используется при разбивке кривой электронным тахеометром.

Рис. 5.4. Способ полярных координат

5.4. Способ углов

В этом способе (рис. 5.5.) 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:

$$\sin \frac{\theta}{2} = \frac{b}{2R}, \quad (5.6)$$

где b - длина хорды.

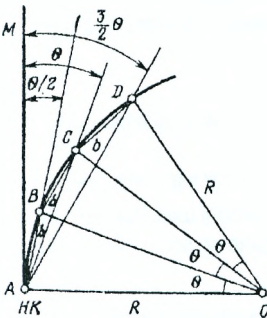


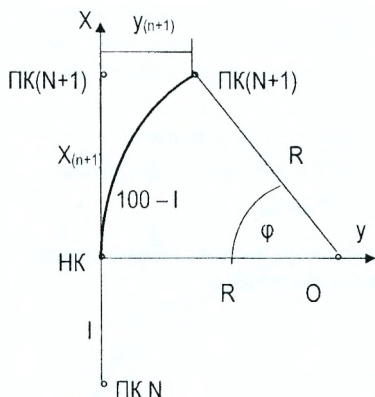
Рис. 5.5. Способ углов

Разбивку кривой осуществляют следующим образом. В начале кривой устанавливают теодолит и от линии тангенса задают угол, равный $\frac{\theta}{2}$; расстояние b , откладывая

вдоль полученного направления длину хорды, равную шагу разбивки (5, 10, 20м). Найденную точку закрепляют. От того же направления теодолитом строят второй угол, равный θ . От точки В откладывают следующую длину хорды b так, чтобы её конец лежал в коллимационной плоскости теодолита, фиксируя на местности точку С 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.

5.5. Вынос пикетов с тангенса на кривую

При разбивке пикетажа пикеты закрепляют на линиях тангенсов. Перед началом строительства их выносят на кривую. Для этого используют способ прямоугольных координат и находят отрезки $X_{(n+1)}$ и $Y_{(n+1)}$.



Величину l определяют по пикетажному наименованию начала кривой (НК). Угол φ стягивается дугой равной $K = (100 - l)$, поэтому его значения вычисляют по формуле:

$$\varphi = \frac{K}{R} \rho, \quad (5.7)$$

где R – радиус кривой;
 $\rho = 3438'$ (число минут в радиане).

Далее по формулам:

$$X_{(n+1)} = R \cdot \sin \varphi \quad \text{и} \quad Y_{(n+1)} = 2R \sin^2 \varphi / 2$$

вычисляют координатные отрезки.

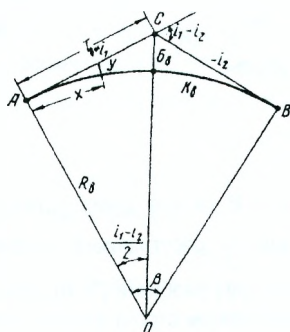
Рис. 5.6. Вынос пикета с тангенса на кривую

5.6. Вертикальные кривые

При проектировании трассы переломы на продольном профиле сопрягаются вертикальными кривыми большого радиуса (табл. 2.1). Длина вертикальной кривой K_B (рис. 5.7) подсчитывается по формуле:

$$K_B = R_B \cdot \beta, \quad (5.8)$$

где R_B – радиус вертикальной кривой, который задается проектом в зависимости от категории автомобильной дороги;



$\beta = \arctg(i_1 - i_2)$, а так как допустимые проектные уклоны небольшие (тангенсы углов наклона), то можно принять $\beta \approx i_1 - i_2$ или

$$K_B = R_B (i_1 - i_2), \quad (5.9)$$

а тангенс вертикальной кривой

$$T_B = R_B \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \approx R_B \frac{i_1 - i_2}{2}. \quad (5.10)$$

Биссектрису вертикальной кривой можно подсчитать по формуле:

$$B_B = \sqrt{T_B^2 + R_B^2} - R_B \approx \frac{T_B^2}{2R_B}. \quad (5.11)$$

Рис. 5.7. Элементы вертикальной кривой

Это выражение получено из следующих соображений. По рисунку (5.7) можно записать:

$$(B_B + R_B)^2 = T_B^2 + R_B^2 \quad \text{или} \quad B_B^2 + 2R_B B_B = T_B^2, \quad \text{т.е.} \quad B_B(2R_B + B_B) = T_B^2.$$

Величина B_v по сравнению с R_v величина очень малая, поэтому можно считать $2R_v + B_v \approx 2R_v$, откуда получаем формулу (5.11).

Пикетажные значения начала и конца вертикальной кривой (точки А и В) определяют по тангенсам вертикальной кривой T_v . Положение любой другой точки профиля на вертикальной кривой определяют по прямоугольным координатам x и y , при этом абсциссы x отсчитывают по пикетажу от начала вертикальной кривой, ординату же y вычисляют по формуле:

$$y = \frac{x^2}{2R} \quad (5.12)$$

и вводят полученные значения в проектные и рабочие отметки продольного профиля, прибавляя их в случае вогнутой кривой и вычитая при выпуклой кривой.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите способы детальной разбивки круговой кривой.
2. В чем сущность детальной разбивки способом прямоугольных координат?
3. Как разбивают детально длинные кривые?
4. В чем сущность детальной разбивки способом продолжения хорд?
5. В чем сущность детальной разбивки способом полярных координат?
6. Как выносят пикеты с тангенса на кривую?
7. Перечислите элементы вертикальной кривой.
8. Как учитываются ординаты при вычислении отметок вертикальных кривых?

ЛЕКЦИЯ 6

6. Разбивочные работы при перенесении в натуру проектов трассы автомобильной дороги

При перенесении проекта трассы на местность возникают следующие работы:

1. Построение на местности проектных горизонтальных углов;
2. Перенесение на местность проектной отметки;
3. Построение на местности линии с проектным уклоном;
4. Построение на местности проектной длины линии;
5. Построение на местности плоскости с проектными уклонами.

Все построения производятся от разбивочной основы или направления, которое называется **базовым**.

Ниже рассмотрим более подробно каждый из этих важных видов работ.

6.1. Построение проектного горизонтального угла с точностью теодолита

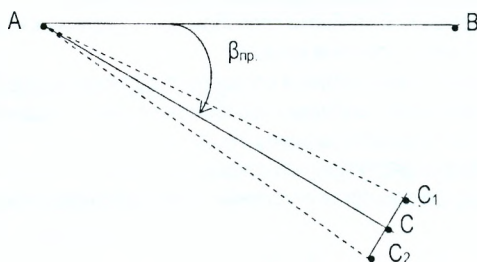


Рис. 6.1. Построение проектного угла с точностью теодолита

Построение на местности проектного угла от базового направления АВ выполняется следующим образом. Теодолит устанавливают над точкой А (рис. 6.1), визируют на точку В и берут отсчет b по горизонтальному кругу. По базовому направлению для простоты построения угла устанавливают отсчет по горизонтальному кругу $0^{\circ}00'$. Предвычисляют отсчет $C_1 = b + \beta_{пр}$ (если угол $\beta_{пр}$ строят против часовой стрелки, то $C_1 = b - \beta_{пр}$). Открепив алидаду, отсчет C_1 устанавливают на горизонтальном круге и по центру сетки нитей трубы фиксируют точку C_1 . Аналогично строят угол $\beta_{пр}$ при другом положении вертикального круга и фиксируют точку C_2 . Отрезок C_1C_2 делят пополам и фиксируют точку C . Контрольные измерения проводят одним полным приемом $\Delta\beta = |\beta_{изм} - \beta_{пр}| \leq 2t$. (t – точность теодолита).

6.2. Построение проектного угла с повышенной точностью

Предварительно построенный угол $\beta_{изм}$ (рис. 6.2) измеряют n раз, количество полных приёмов n подсчитывают по формуле:

$$n = \frac{t_{\tau}^2}{m_{доп}^2} \quad (6.1)$$

где t_{τ} – точность теодолита;

$m_{доп}$ – заданная точность построения угла.

Затем определяют угловую δ_β и линейную δl_β поправки (рис. 6.2).

$$\delta_\beta = \beta_{\text{пр}} - \beta_{\text{изм}}; \quad (6.2)$$

$$\delta l_\beta = D \cdot \frac{\delta_\beta}{\rho}, \quad (6.3)$$

где $\rho = 206265''$ - число секунд в радиане;

D – расстояние между точками А и С.

Точку С перемещают в соответствующую сторону на величину δl_β и фиксируют точку C_0 .

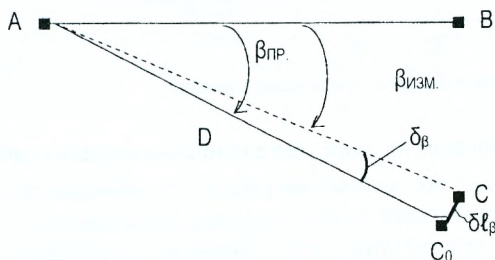


Рис. 6.2. Построение проектного угла с повышенной точностью

Пример 6.1. Требуется построить проектный угол $\beta_{\text{пр}} = 45^\circ 09' 45''$ в точке М. Длина стороны МВ равна $D = 100\text{ м}$ (рис. 6.3). Определить величину смещения точки В.

Угол $\beta_{\text{изм}}$ определяемый из нескольких измерений, равен $45^\circ 09' 25''$.

Находим $\delta_\beta = \beta_{\text{пр}} - \beta_{\text{изм}} = 45^\circ 09' 45'' - 45^\circ 09' 24'' = 21''$ – угловая величина смещения,

или
$$\delta l_\beta = D \cdot \frac{\delta_\beta}{\rho} = \frac{100000\text{ мм} \cdot 21}{206265} = 10\text{ мм}$$
 – линейная величина смещения.

Следовательно для получения значения угла с повышенной точностью необходимо точку B_1 передвинуть по перпендикуляру к линии MB_1 на 10 мм.

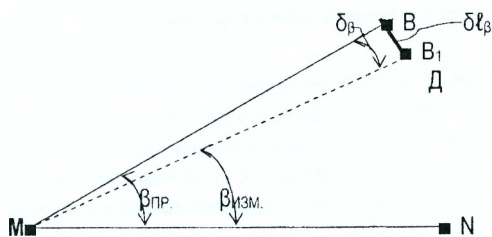


Рис. 6.3. Расчётная схема к примеру 6.1

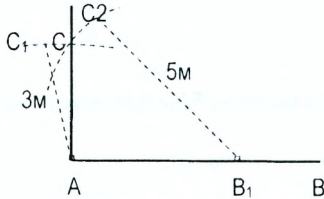
Пример 6.2. Угол β должен быть измерен с точностью $m_\beta = 10''$. Точность теодолита, которым будут выполнены измерения, равна $t_T = 15''$. Определить количество полных приёмов для обеспечения заданной точности измерения.

Количество полных приёмов определяется по формуле (6.1):

$$n = \frac{15^2}{10^2} = \frac{225}{100} = 2,25 = 3$$

6.3. Построение прямого угла помощью рулетки

Здесь используется свойство «египетского треугольника» со сторонами, кратными 3:4:5. При построении прямого угла задана и закреплена вершина угла и задана одна из сторон АВ. В направлении стороны АВ фиксируют отрезок АВ₁ длиной 4м. Далее

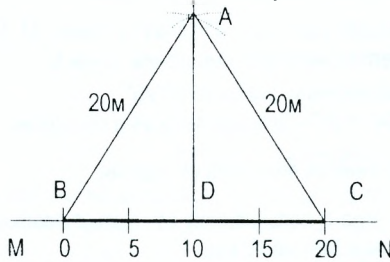


отрезки В₁С₂ длиной 5м и АС₁ длиной 3м перемещают до тех пор, пока точки С₁ и С₂ не совпадут. В случае совпадения точек С₁ и С₂ окончательно фиксируют точку С. Угол САВ₁ равен 90°.

Рис. 6.4. Построение прямого угла при помощи рулетки

6.4. Построение прямого угла с помощью мерного прибора

Построение используют при разбивочных работах при невысоких требованиях к точности. При построении 20-метровую рулетку или ленту укладывают в створ линии MN, совмещают штрих 10м с вершиной угла D и по штрихам 0м и 20м отмечают положение точек В и С. В точке В удерживается нулевое деление рулетки, к делению 20м прижимается



гвоздь или шпилька и при натянутом состоянии полотна рулетки проводится на земле часть дуги. Аналогичным образом из точки С проводится вторая часть дуги радиусом 20м. Пересечение дуг даст определяемую точку А.

Рис. 6.5. Построение прямого угла при помощи мерного прибора

6.5. Построение на местности проектной длины линии

Проектная линия - это горизонтальная линия (горизонтальное проложение). Проект создается на плане, а на плане все линии горизонтальны. Естественная поверхность земли имеет различные уклоны. Поэтому при выносе проектной линии в натуру следует учитывать поправки, которые в конечном счёте приводят линию к натурному начению (рис. 6.6).

При выносе проектной линии d_{np} необходимо отложить отрезок Д соответствующей линии

$$D = d_{np} + \delta d, \quad (6.4)$$

где δd – общая поправка, включающая поправки за наклон линии к горизонту δd_n , за компарирование δd_k и за температурное влияние δd_t .

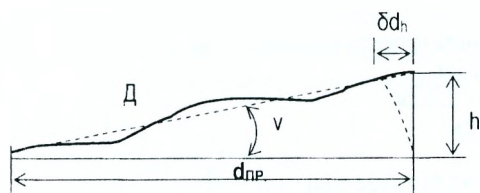


Рис. 6.6 Вынос проектной линии

От начальной точки А в заданном направлении откладывают стальным мерным прибором расстояние, равное проектной длине $d_{пр}$, и временно фиксируют точку В₁.

Определяют нивелированием превышение h между точками А и В₁ м и измеряют температуру t прибора (если измерить ее невозможно, измеряют температуру воздуха).

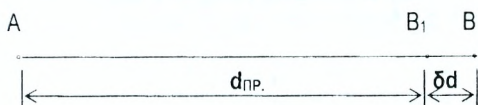


Рис. 6.7 Построение проектного отрезка

Вычисляют поправки в длину линии:

а) за компарирование δd_k

$$\delta d_k = \frac{d_{пр}}{l} (l_r - l); \quad (6.5)$$

б) за температурное влияние δd_t

$$\delta d_t = \alpha \cdot d_{пр} \cdot (t - t_0); \quad (6.6)$$

в) за наклон линии δd_h

$$\delta d_h = \frac{h^2}{2d_{пр}}; \quad (6.7)$$

$$\delta d_h = 2d_{пр} \cdot \sin^2 \frac{\nu}{2}, \quad (6.8)$$

где $d_{пр}$ - длина проектной линии;

l - номинальная длина мерного прибора;

l_r - фактическая длина мерного прибора;

α - температурный коэффициент мерного прибора, для стали $\alpha=0,0000125$;

t - температура при измерении линии;

t_0 - температура при компарировании;

h - превышение.

Формула (6.7) применима в случае, если известно превышение между начальной и конечной точками, а формула (6.8) - в случае, когда известно значение угла ν наклона линии к горизонту.

Вычисляется общая поправка δd , которая откладывается в соответствующую сторону, где окончательно фиксируется точка В.

$$\delta d = \delta d_k + \delta d_t + \delta d_h. \quad (6.9)$$

Пример 6.3

При разбивке цеха требуется отклонить проектную линию 200,00 м.

Поправка за наклон равна $\delta d_n = 20,2$ см.

Поправка за компарирование $\delta d_k = - 2,0$ см.

Поправка за температуру $\delta d_t = - 2,4$ см.

Общая поправка будет:

$$\Delta d = 20,2 + 2,0 + 2,4 = 24,6 \text{ см}$$

Поправки за компарирование и температуру вводятся с обратным знаком.

Таким образом, на местности следует отложить

$$D = 200,00 + 0,246 = 200,246 \text{ м.}$$

6.6. Вынос в натуру точки с заданной проектной отметкой

Нивелир устанавливают посередине между ближайшим репером и местом перенесения отметки (обноска, стена, столб и т. д.), берут отсчет «а» по черной стороне рейки, установленной на репер.

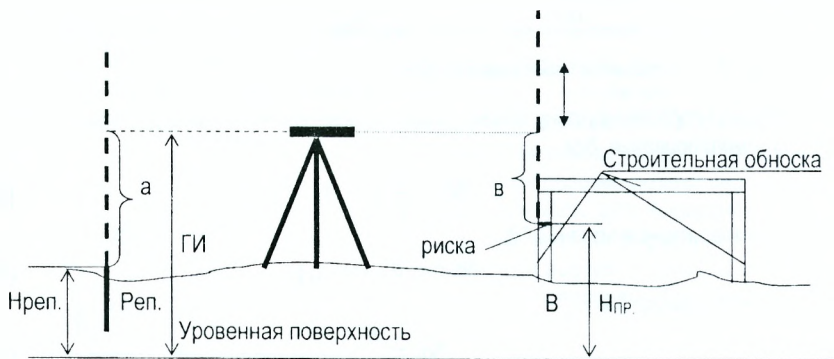


Рис. 6.8. Вынос точки с заданной проектной отметкой $H_{пр}$.

Вычисляют горизонт инструмента по формуле (6.10):

$$ГИ = H_{реп.} + a. \quad (6.10)$$

Затем находят проектный отсчет «в».

$$в = ГИ - H_{пр.} \quad (6.11)$$

Далее рейку устанавливают у стойки обноски и перемещают по вертикали до тех пор, пока горизонтальная нить сетки зрительной трубы не совпадет с отсчетом «в». В этот момент фиксируется отметка $H_{пр.}$, прочерчивая по пятке рейки рису на обноске, которую в дальнейшем закрепляют гвоздем или шурупом.

Перенесение проектной отметки повторяют по красной стороне рейки. Вычисленное среднее превышение не должно отличаться от проектного более, чем на ± 5 мм.

6.7. Определение отметки точки с помощью теодолита

Отметку точки можно определить с помощью теодолита. Для этого теодолит располагают в точке С и приводят в рабочее положение.

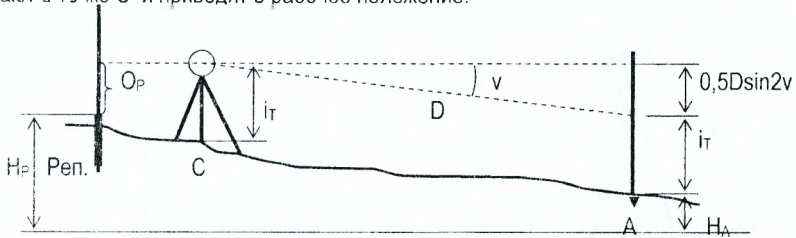


Рис. 6.9. Определение отметки точки с помощью теодолита

Наводят зрительную трубу на рейку, установленную на точке с известной отметкой H_P , и, установив трубу на отсчёт по вертикальному кругу, равный величине места нуля, берут отсчёт по рейке O_P , наблюдая при этом, чтобы пузырёк уровня при зрительной трубе находился в нуль-пункте. Затем, измерив высоту i_T оси вращения трубы теодолита относительно точки С, наводят визирную ось трубы на отсчёт i_T по рейке, установленной в закреплённой точке А, берут отсчёты по вертикальному кругу v и по дальномерным нитям зрительной трубы D . Отметка H_A точки А определяется по формуле:

$$H_A = H_P + O_P - 0,5D \sin 2v - i_T \quad (6.12)$$

Пример 6.4.

Отметка репера (рис. 6.9.) $H_P = 40,258$ м. Высота теодолита, установленного в точке С, равна $i_T = 1452$ мм $= 1,452$ м. Отсчёт по чёрной стороне рейки, установленной на репере $O_P = 1020$ мм $= 1,020$ м. Наклонное расстояние D , измеренное при помощи нитяного дальномера, равно $D = 56,2$ м. Отсчёт по вертикальному кругу теодолита при КЛ равен $\text{КЛ} = -2^\circ 29'$. Значение MO теодолита равно $MO = 1'$. Определить отметку H_A точки А.

Значение вертикального угла наклона равно $v = \text{КЛ} - MO = -2^\circ 29' - 1' = -2^\circ 30'$.

Отметка точки А равна $H_A = H_P + O_P - 0,5 \cdot D \cdot \sin 2v - i_T = 40,258 + 1,020 - 0,5 \cdot 56,2 \cdot \sin[2 \cdot (-2^\circ 30')] - 1,452 = 40,258 + 1,020 - 2,499 - 1,452 = 37,327$ м.

6.8. Построение в натуре линии проектного уклона

При строительстве линейных сооружений (дороги, каналы, трубопроводы) всегда возникает задача построения линии с заданными уклонами.

На местности закреплена точка А и задана её отметка H_A . Требуется построить линию АВ длиной d с проектным уклоном $i_{пр}$ и на расстояниях d_1, d_2, \dots от начальной точки А закрепить промежуточные точки 1, 2, Проектная отметка конечной точки В находится по формуле:

$$H_B = H_A + i_{пр} \cdot d. \quad (6.13)$$

Точка В с отметкой H_B выносится в натуре способом, рассмотренным выше (пункт 6.6). Промежуточные точки 1, 2, закрепляются при помощи наклонного луча нивелира, теодолита или визирок.

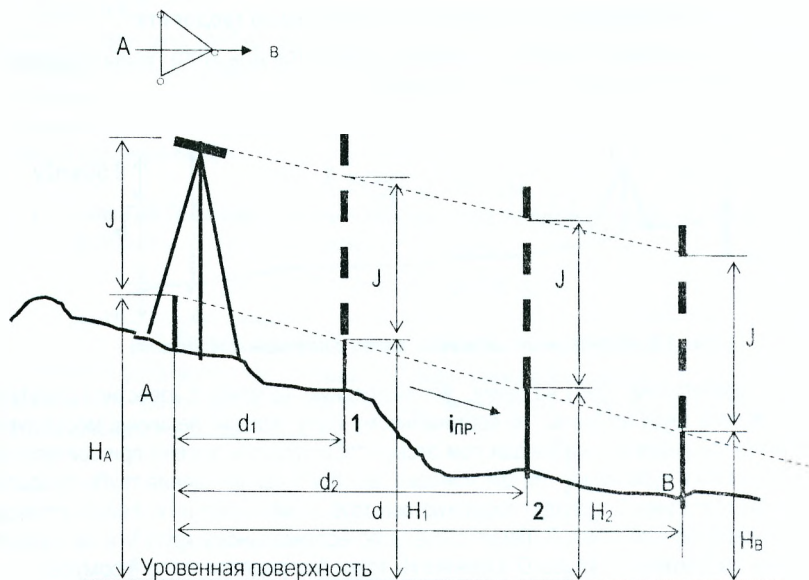


Рис. 6.10. Построение линии с заданным уклоном $i_{пр}$ при помощи нивелира

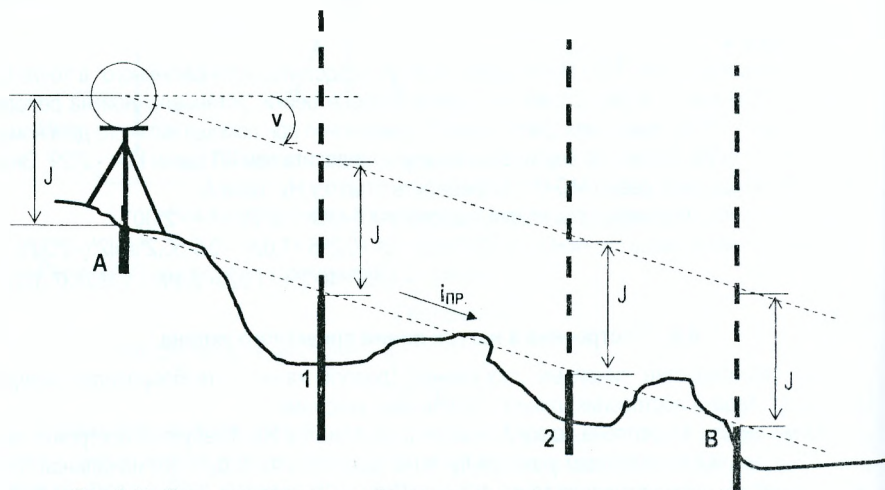


Рис. 6.11. Построение линии с заданным уклоном $i_{пр}$ при помощи теодолита

При построении линии заданного уклона нивелир устанавливают над точкой А так, чтобы один из его подъёмных винтов располагался по направлению АВ (рис. 6.10). Измеряют высоту инструмента J . Выставив от ближайшего репера конечную точку В на проектную отметку H_B , наклоняют зрительную трубу нивелира подъёмными винтами до тех пор, пока отсчёты по рейкам на точках А и В не станут равными высоте инструмента J . При этом положении зрительной трубы:

рейку перемещают и попеременно устанавливают её на промежуточные точки 1,2,... между А и В таким образом, чтобы отсчёты по ним были те же, что и на А и В. Пятка рейки при этом будет фиксировать на местности линию с заданным уклоном.

При решении этой задачи при помощи теодолита прибор устанавливают в рабочее положение в точке А, измеряют высоту теодолита J. По заданному уклону $i_{пр.}$ определяют угол наклона v линии АВ.

$$i_{пр.} = \operatorname{tg} v \quad \text{или} \quad v = \operatorname{arctg} i_{пр.}$$

Подсчитывают отсчёт по вертикальному кругу теодолита при «круге лево».

$$КЛ = v + MO,$$

где MO - место нуля вертикального круга. Отсчёт устанавливают по вертикальному кругу теодолита. Ставят рейку в точке В на кол, который постепенно забивают так, чтобы отсчёт по рейке был равен высоте J теодолита. В характерных точках рельефа 1,2,... забивают колышки, чтобы отсчёты по рейке, поставленной на них, везде были равны высоте J теодолита (рис. 6.11).

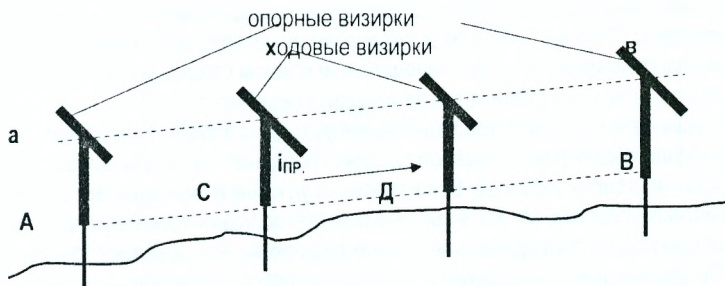


Рис. 6.12. Разбивка промежуточных точек при помощи визирок

Для разбивки промежуточных точек при помощи трех визирок поступают так. В точках А и В устанавливают отвесно две визирки. Затем третья визирка последовательно устанавливается на колышки в точках С и Д, которые забивают так, чтобы верхняя грань визирок была на прямой ав.

Примечание: визирки – столбики с планкой, прибитой горизонтально. Устанавливаемые в начале и конце хода – опорные, между опорными – ходовые.

Вопросы для самоконтроля

1. Как построить проектный угол с точностью теодолита?
2. Рассчитайте необходимое количество приёмов, если значение угла должно быть определено со средней квадратической погрешностью не более $15''$, а средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приёмом $30''$.
3. Как построить проектный угол с повышенной точностью?
4. Назовите способы построения прямого угла при небольшой точности построения.
5. Как вынести точку с заданной проектной отметкой?
6. Как определить отметку точки с помощью теодолита?
7. Как построить на местности проектную длину линию?
8. Как вычислить поправку за наклон линии к горизонту?
9. Как построить линию заданного уклона с помощью нивелира?
10. Как построить линию заданного уклона с помощью теодолита?
11. Как построить линию с заданным уклоном при помощи визирок?

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

1. Разбивочные сети мостовых переходов. Разбивка мостовых опор

1.1. Общие сведения

Вынос в натуру проекта мостового перехода осуществляется по принципу от общего к частному, от более точных измерений, охватывающих всю длину моста к менее точным разбивкам опор или пролетов. От пунктов разбивочной сети выносят в натуру и контролируют центры опор. От центров разбивают оси опор, а от них, в свою очередь, выполняют разбивку конструкций на опоре. Таким образом, разбивочная сеть является общей основой разбивки моста, и поэтому к ней предъявляются более высокие требования. Она должна обеспечивать контроль всех разбивочных работ на всех стадиях строительства моста.

Разбивочную геодезическую сеть проектируют с учетом следующих требований:

максимального удобства и контроля центров опор;

сохранности и устойчивости пунктов сети, как в период строительства, так и после его завершения. Поэтому пункты сети закрепляют на незатопляемых коренных берегах; увязки расположения пунктов с генеральным планом строительства с целью их сохранности на период строительства и эксплуатации моста.

Разбивочные сети создаются традиционными методами в виде триангуляции, трилатерации или полигонометрии в условной системе координат так, чтобы ось абсцисс совпадала с осью мостового перехода. Все измерения угловые и линейные выполняются в неблагоприятных условиях, так как визирный или светодальномерный луч проходит через водные преграды и подвергается явлениям рефракции, что понижает точность измерений. По сложившейся технологии строительных работ разбивочные сети строят проектные организации, а разбивочные – выполняют строители с их пунктов.

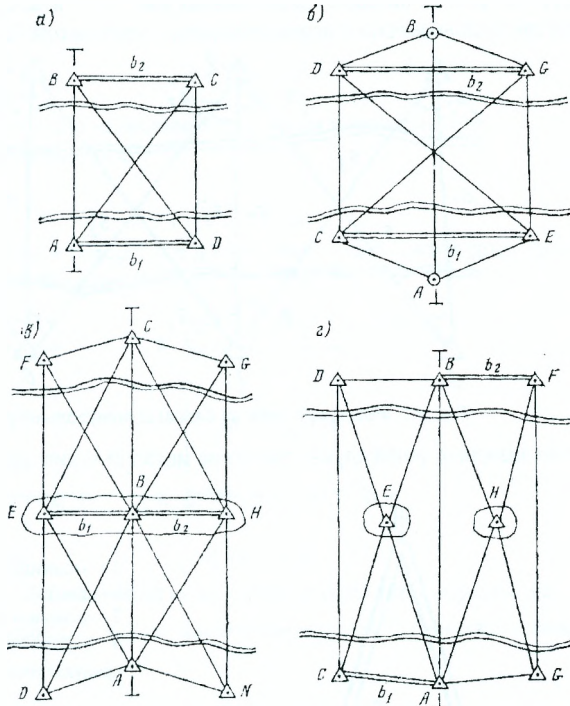
1.2. Мостовая триангуляция

До начала широкого применения светодальномеров мостовая триангуляция была основным методом построения разбивочных сетей. В отличие от государственной триангуляции, мостовая триангуляция имеет сравнительно короткие стороны при требуемой точности измерения углов $2 - 5''$ (известно, что чем длиннее стороны, тем точнее можно измерить угол). Поэтому здесь повышение точности достигается путем увеличения количества приемов, измерения выполняют в утреннее, вечернее и ночное время. В ночное время измерения выполняют на светящихся цели.

Типовые схемы мостовой триангуляции приведены на рис. 1.1.

В ряде литературных источников рекомендуется схема в виде одного четырехугольника (рис. 1.1, а), в котором базисом являются стороны AD и BC., а контроль обеспечения визирования по оси моста АВ.

Такой вариант не является удачным, так как видимость при строительстве по оси АВ часто отсутствует, а утрата пункта С или D останавливает всю работу. Наиболее удачной схемой является четырехугольник (1.1. б) с дополнительными угловыми построениями, в котором стороны DG и CE являются базисами, а ось моста АВ привязана к его пунктам дополнительными угловыми построениями.



а) в виде одного четырехугольника; б) четырехугольник с дополнительными угловыми построениями; в) в виде четырехугольников с двумя базами, измеренными на острове; г) в виде двух центральных систем.

Рис. 1.1. Типовые схемы мостовой триангуляции

На рис. 1.1, в и 1.1, г показаны более сложные разбивочные системы. Такие построения используют для построения больших мостов. Здесь пункты Е и Н располагают на островах или мелководье. Центральными служат железобетонные или трубчатые знаки, закладываемые на глубину около 2 м.

Базисы b_1 в b_2 (рис. 1.1.) измеряют с относительной погрешностью $1:200000 - 1:3000000$. Такую точность линейных измерений можно обеспечить либо инварными проволоками, либо светодальномерами.

Горизонтальные углы измеряют с точностью $2-5''$, следовательно при измерении углов используют теодолиты типа Т2 и Т5.

Линейно-угловые сети (рис. 1.2.) позволяют повысить точность конечных результатов и исключить из программы направления, наиболее подверженные рефракции. Взаимная видимость между пунктами обеспечивается без постройки высоких знаков. При сравнительно небольшом объеме линейных и угловых измерений сеть обладает достаточной точностью и высокой маневренностью. Сеть уравнивается параметрическим способом, так как независимо от числа связей число нормальных уравнений не увеличивается.

Организуется сеть из базовых треугольников (рис. 1.2), в которых все семь сторон измеряются светодальномером и все восемь углов - теодолитом Т2 или Т5.

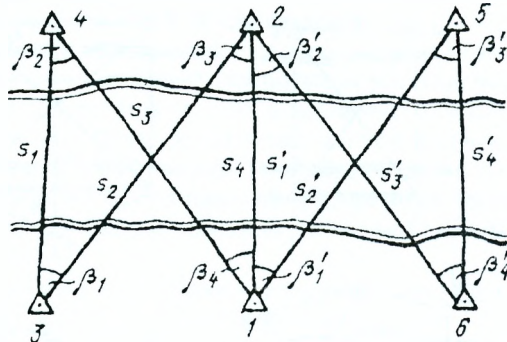
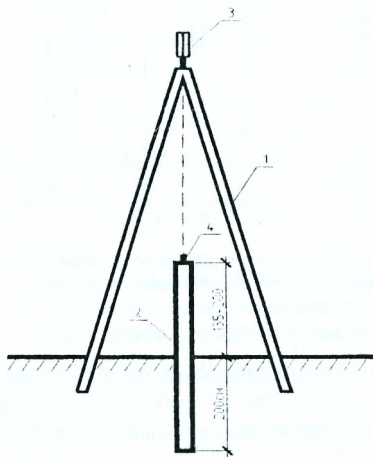


Рис. 1.2. Мостовая сеть из базовых треугольников

В качестве визирных целей служат трехногие металлические пирамиды (рис. 1.3.).



- 1 – пирамида;
- 2 – центр.
- 3 – визирный цилиндр;
- 4 – устройство для принудительного центрирования.

Рис. 1.3. Пункт мостовой триангуляции

При закладке центров их тщательно совмещают с визирной целью пирамиды. В верхней части центра предусматривается устройство для принудительного центрирования теодолита.

В настоящее время при создании мостовой триангуляции используют электронные тахеометры, которые могут обеспечивать точность как линейных, так и угловых измерений. Их же используют при разбивке мостовых опор.

Мостовая триангуляция вычисляется как самостоятельная сеть, т.е. в условной системе координат. За начало координат применяют одну из точек сети (например, А), ось мостового перехода применяют за ось абсцисс, а азимут этой линии условно считают равным нулю.

Рассмотрим пример вычисления координат пунктов мостовой триангуляции на примере простейшего геодезического четырехугольника (рис. 1,а). В этом четырехугольнике измерены базисы b_1 и b_2 и все углы (их 8).

Вычисления выполняют в следующем порядке:
вычисляют угловые невязки во всех треугольниках

$$f = \sum_{i=1}^3 \beta_i - 180^\circ;$$

оценивают качество угловых измерений по невязкам в треугольниках, где n – количество треугольников

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{\sum f^2}{4n}};$$

из решения треугольников находят все длины линий и уравнивают сеть. Четырехугольник (рис. 1.1, а) можно разделить на две схемы (рис. 1.4.).

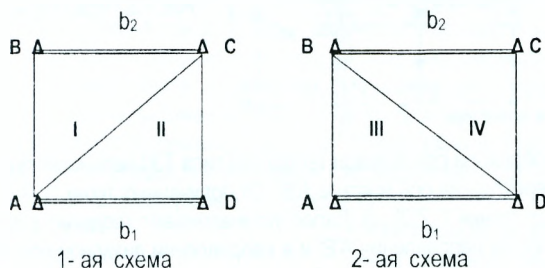


Рис. 1.4. Эквивалентная схема геодезического четырехугольника

Решая треугольники I, II, III, и IV, по теореме синусов находят сначала длины диагоналей AC и DB

$$AC = b_2 \cdot \frac{\sin B_1}{\sin A_1}, \quad BD = b_2 \cdot \frac{\sin C_4}{\sin D_4}, \text{ а затем длину базиса } b_1$$

$$b_1 = AC \cdot \frac{\sin C_2}{\sin D_2}; \quad b_1 = BD \cdot \frac{\sin B_3}{\sin A_3},$$

где $A_1, B_1, C_2, D_2, B_3, A_3, C_4, D_4$ – уравненные углы при точках A, B, C, D соответственно в первом, втором, третьем и четвертом треугольниках.

Базис b_1 измерен с высокой точностью и вычислен дважды. Это обстоятельство позволяет проконтролировать качество измерений и выполнить уравнивание всей сети.

Далее, зная все длины линий, все углы и направления линий AB ($A_3=0^\circ$), вычисляют координаты всех точек сети. Обработку геодезических сетей ведут, как правило, параметрическим способом уравнивания, который лежит в основе многих программных продуктов, например CREDO.

1.3. Разбивка центров мостовых опор.

1.3.1. Непосредственная разбивка опор

При проектировании моста на суходолы или в случае разбивки его в зимнее время по льду положение центров мостовых опор можно определить путем непосредственных измерений. Измерения выполняют по оси моста от исходных точек A или B (рис. 1.1). Измерения выполняют шкаловыми лентами и рулетками по специальным деревянным мосткам, которые заранее сооружают и устанавливают горизонтально по строительному уровню или

нивелированием. Натяжение мерных приборов задается динамометром в 10 кг. Поправки за температуру и компарирование мерного прибора вводят в измеренную величину каждого пролета. Измерения выполняют дважды с относительной погрешностью не ниже 1:5000. Намеченные центры опор сносят при помощи отвесов на землю и закрепляют.

Аналогичный метод используют при разбивке опор на неглубоких реках. В этом случае мостки строят не по оси мостового перехода, а параллельно оси АВ (рис. 1.5.) так, чтобы они не попадали в зону строительных работ.

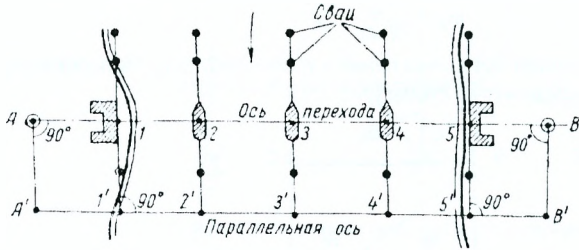


Рис. 1.5. Параллельная ось

Точки А и В оси мостового перехода при помощи теодолита типа Т30 переносят под прямым углом к оси мостового перехода на ось мостков А'В'. От полученных точек А' и В' разбивают проекции центров опор (точки 1',2',3',...). Далее устанавливают теодолит в каждой точке откладывают прямой угол от направления А'В' и в направлении визирной оси трубы теодолита забивают три сваи, причем одну сваю забивают со стороны параллельной оси, другие с противоположной стороны оси перехода (рис. 1.5). Такое расположение свай позволяет легко выносить продольную ось на строящуюся опору даже в случае, когда прямая видимость между первой и второй сваями нарушается, или одна из них уничтожена.

При наличии старого моста вблизи строящегося мостового перехода, его можно использовать для разбивки осей опор. Так как оси старого моста и строящегося не параллельны, то сначала из точек А и В под углом 90° проектируют их на ось существующего моста и получают точки А' и В' (рис. 1.6.).

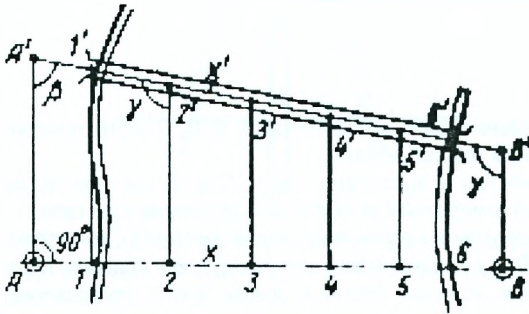


Рис. 1.6. Непараллельная ось

Далее измеряют углы β и γ в точках А' и В'. Контроль $\beta + \gamma = 180^\circ \pm 1'$

По этим углам пересчитывают расстояния между опорами вдоль вспомогательной оси А'В' по формуле:

$$X' = \frac{X}{\sin \beta}, \quad (1.1)$$

где x – проектное расстояние между центрами мостовых опор;

x' – расстояние между центрами опор по оси существующего моста.
В дальнейшем по углам β и γ разбивают точки 1,2,3,... мостовых опор.

1.3.2. Разбивка мостовых опор прямой угловой засечкой

При построении больших мостов через глубокие реки разбивка центров мостовых опор производится методом прямых угловых засечек. Для этого предварительно составляют разбивочный чертеж. На него в масштабе наносят исходные пункты, ось мостового перехода и центры опор с указанием расстояний между ними. На чертеже показывают, с каких именно пунктов мостовой триангуляции разбивается центр каждой опоры. Здесь же выписывают величины разбивочных углов, которые вычисляют по дирекционным углам в процессе подготовки данных для выноса проекта опор в натуру.

Центр каждой опоры засекают как минимум с трех точек: с двух пунктов триангуляции и с одной из точек - А или В, которые закрепляют ось мостового перехода.

Для сооружения опор на реке предварительно закрепляют их плавающими в воде буйками (вехами). Затем в шестах расположения вех отсыпают островки, на которых разбивают точное положение центров опор. Для этого на опоре устанавливают визирную цель-марку с оптическим центром. Марку засекают двумя теодолитами с пунктов мостовой триангуляции и по команде наблюдателей перемещают до проектного положения горизонтальных углов β и γ (рис. 1.7).

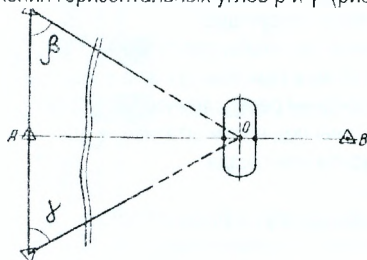


Рис. 1.7. Прямая угловая засечка

Полученная точка, находящаяся на пересечении визирных лучей двух теодолитов, проектируется при помощи центра на землю и закрепляется. Таким же образом положение точки определяется при втором положении круга теодолита. За центр опоры принимают точку, расположенную между двумя проекциями.

Для повышения точности и контроля третьим теодолитом, установленным в точках А или В, проверяют, находится ли полученный центр опоры на оси мостового перехода.

Вопросы для самоконтроля

1. Зачем нужна разбивочная сеть при строительстве мостов?
2. Какими методами создаются разбивочные сети?
3. В какой системе координат создается мостовая триангуляция?
4. Как закрепляют пункты мостовой триангуляции?
5. Как выполняют непосредственную разбивку опор?
6. Когда используют непосредственную ось для разбивки мостовых опор?
7. Как пересчитывают длины пролетов при непараллельной разбивочной оси?
8. Как выполняют ось опоры прямой угловой засечкой?
9. С каких точек контролируют ось мостовой опоры?

2. Передача отметок через водные преграды

Согласно СНИП для мостовых переходов длиной более 300 м на каждом берегу должны быть установлены не менее двух постоянных реперов. Погрешность определения их отметок относительно исходного не должна превышать ± 10 мм. При этом реперы, расположенные на разных берегах водной преграды, должны быть связаны нивелированием. Таким образом, при изысканиях мостовых переходов возникает задача передачи отметки с одного берега на другой, т.е. через водные преграды. Эту задачу можно решить следующими методами:

- в зимнее время геометрическим нивелированием по льду;
- двойным нивелированием;
- тригонометрическим нивелированием;
- гидростатическим нивелированием.

2.1. Нивелирование по льду

При нивелировании по льду нужно помнить, что лед имеет подвижки по высоте, которые особенно значительны на середине водоема. Помимо этого при постановке штатива непосредственно на поверхность льда инструмент может оседать в процессе наблюдений в связи с подтаиванием льда под ножками штатива.

Поэтому при нивелировании по льду рекомендуется следующее:

1. Намечают места постановки нивелира и реек так, чтобы расстояние от мест постановки нивелира до реек не превышало 75 м, и при этом должно соблюдаться равенство плеч (расстояние до задней и передней реек) с точностью $\pm 2,5$ м.
2. Вмораживают кольца или деревянные пластины под ножки штатива, а для постановки реек в них вбивают штыри в виде шурупа или гвоздя;
3. На всех станциях устанавливают нивелиры;
4. Приведя нивелиры в рабочее положение, по сигналу, наблюдатели берут отчеты на задние и передние рейки, и так отсчитывая по рейкам несколько раз, можно добиться хороших результатов.

2.2. Двойное геометрическое нивелирование

При передаче отметок через водоемы в летнее время используют метод двойного нивелирования.

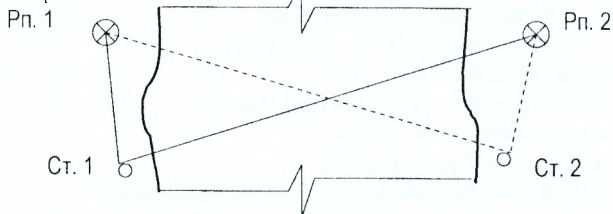


Рис. 2.1. Двойное нивелирование

Перед нивелированием на берегах закладывают реперы Рп. 1 и Рп. 2 (рис. 2.1) с таким расчетом, чтобы визирный луч проходил не ниже 2 м над поверхностью воды. В 10-30 м от реперов выбирают станции для постановки нивелира (Ст. 1 и Ст. 2), с таким расчетом, чтобы расстояния между репером и станцией на каждом берегу были одинаковы.

Наблюдения осуществляют по следующей программе:

1. Установив нивелир на Ст. 1, берут отчет ($З_1$) по ближайшей задней рейке, установленной на репере 1;
 2. После перемены фокусировки берут отчет ($П_1$) по дальней рейке, установленной на репере 2;
 3. Далее, не меняя фокусировки, нивелир перевозят на другой берег, устанавливая на Ст. 2. и, не меняя фокусировки, берут отчет ($З_2$) по рейке, установленной на репере 1;
 4. Изменив фокусировку, берут отчет по ближней рейке ($П_2$).
- Это составит один прием. Таких приемов выполняют несколько.

Такая программа обязательна, так как здесь исключаются погрешности за неравномерность хода фокусирующей линзы и за невыполнение главного условия нивелира. Передача должна осуществляться нивелирами с большим увеличением зрительной трубы типа Н-05, Н-1.



При больших расстояниях между реперами отсчеты делают при помощи передвижных щитков с утолщенными штрихами (рис. 2.2). Превышение между реперами в каждом приеме определяют по формуле:

$$h_1 = \frac{(З_1 - П_1) + (З_2 - П_2)}{2}, \quad (2.1)$$

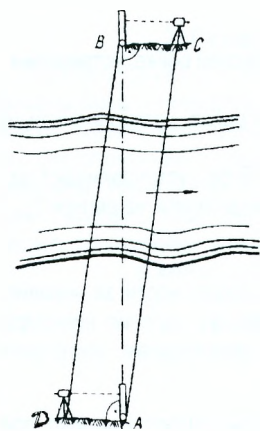
далее вычисляют среднее значение из всех превышений. По отклонениям от среднего судят о точности выполненных работ.

Рис. 2.2. Подвижный щиток

2.3. Тригонометрическое нивелирование

Для передачи отметок через водные преграды реперы А и В (рис. 2.3.) совмещают с пунктами мостовой триангуляции, так как расстояние S между ними определено из триангуляции. Вертикальные углы измеряют точными теодолитами (типа Т2 или Т5) в период спокойных изображений в летнее время, лучше утром до 11 часов и вечером после 17 часов. Измерения ведут в прямом и обратном направлениях сразу двумя теодолитами.

От пунктов А и В откладывают под прямым углом от линии А равные расстояния, не длиннее 3м и закрепляют точки С и D. В качестве визирных целей используют три марки с утолщенными штрихами (рис. 2.2). По горизонтальной оси марки делают прорезы, которые тщательно совмещают с делениями рейки. Эти деления будут являться высотой наведения. Высоты наведений для двух реек устанавливают одинаковые. Рейки устанавливают вертикально в точках А и В и в таком положении закрепляют. Теодолиты устойчиво устанавливают в точках С и D и, определив место нуля, устанавливают его на вертикальном круге. Для теодолитов с компенсаторами (например 2Т5К) отсчет устанавливают равным 0° .



Далее одновременно на обоих берегах зрительную трубу наводят на ближнюю рейку, и, приведя уровень при вертикальном круге в нульпункт, берут отсчет по ней. Этот отсчет в дальнейшем считается высотой инструмента i_1 и i_2 над репером. Углы измеряют на все три утолщенных штриха дальней рейки при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ).

Выполняя два-три приема на каждую марку, закончив измерения, теодолиты перевозят через реку и меняют их местами. Не меняя фокусировки, измерения начинают на дальние рейки, а затем определяют высоту инструмента по ближней рейке.

Рис. 2.3. Тригонометрическое нивелирование

Превышение между пунктами А и В вычисляют по каждой марке по формуле:

$$h_i = S \cdot \operatorname{tg} \alpha_i + i_i - i_v, \quad (2.2)$$

где α_i - вертикальные углы, измеренные на различные визирные цели;

i_i - высоты инструментов;

i_v - высоты наведений.

При измерениях на три марки двумя теодолитами и трех приемах измерений в заключении получают 36 превышений. Вычислив средние из всех $h_{\text{сп}} = \frac{\sum h_i}{n}$, и, найдя вероятнейшие погрешности $\delta_{h_i} = h_i - h_{\text{сп}}$, оценивают точность измерений по формуле:

$$m_n = \pm \sqrt{\frac{\sum \delta_{h_i}^2}{n-1}}, \quad (2.3)$$

где n - количество измеренных превышений.

2.4. Гидростатическое нивелирование

Гидростатическое нивелирование основано на том принципе, что в сообщающихся сосудах жидкость располагается на одном уровне независимо от массы жидкости и поперечного сечения сосудов. При нивелировании превышения между точками определяют непосредственно по поверхности жидкости (мениску).

Гидростатическое нивелирование позволяет избавиться от ряда инструментальных погрешностей, влияния рефракции и других погрешностей, которые присущи геометрическому или тригонометрическому нивелированию. Недостатком такого нивелирования является то, что точки, между которыми определяют превышения, должны быть соединены шлангами, что приводит к громоздкости оборудования. Тем не менее, в благоприятных условиях этот метод обеспечивает передачу высот с погрешностью в несколько миллиметров. При передаче высот через водоемы может быть использовано сочетание геометрического и гидростатического нивелирования. Для этого по днущу водоема прокладывают шланг, который под большим давлением наполняется водой так, чтобы в

нем не осталось пузырьков воздуха. В концы шланга вставляют прозрачные трубки с миллиметровыми делениями (рис. 2.4) и укрепляют их на заранее вкопанных столбах, забитых трубах или кольях.

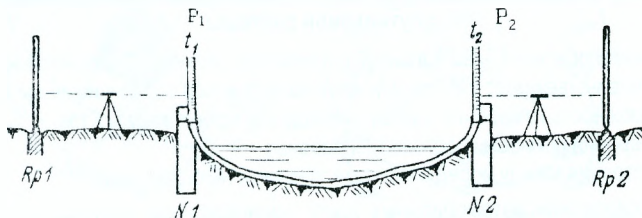


Рис. 2.4. Гидростатическое нивелирование

На расстоянии одной-двух станций от столбов в устойчивых местах, вне зоны строительных работ, закладывают реперы ($R_p 1$ и $R_p 2$). Далее, считая, что мениски жидкости на правом и левом берегах в трубках №1 и №2 находятся на одном уровне, их привязывают при помощи двух нивелиров к реперам $R_p 1$ и $R_p 2$.

Наблюдения целесообразно вести через определенные интервалы с измерением на каждом берегу атмосферного давления, температуры воды и воздуха, чтобы при необходимости ввести поправки в результаты измерений.

Вопросы для самоконтроля

1. С какой точностью требуется передавать отметки через водные преграды?
2. Какие методы используют для передачи высот через водные препятствия?
3. Как передают отметки по льду?
4. В чем сущность двойного геометрического нивелирования?
5. В чем сущность двойного тригонометрического нивелирования?
6. Как устраивают визирные цели при тригонометрическом нивелировании?
7. В чем сущность гидростатического нивелирования?
8. Как передают высоты через водные преграды гидростатическим нивелированием?
9. Что такое мениск?

3. Применение глобальных навигационных спутниковых систем для определения местоположения пунктов

3.1. Общие сведения о структуре глобальной навигационной спутниковой системы

Применение глобальной навигационной спутниковой системы (в дальнейшем ГНСС) в дорожном строительстве имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами:

- Возможность измерений в любую погоду и в любое время суток;
- Измерения полностью автоматизированы;
- Расстояния между определяемыми пунктами не ограничены.

При трассировании автомобильных дорог навигационные системы могут быть использованы при выносе проектов трасс на местность, а также при открытии видимости между углами поворота.

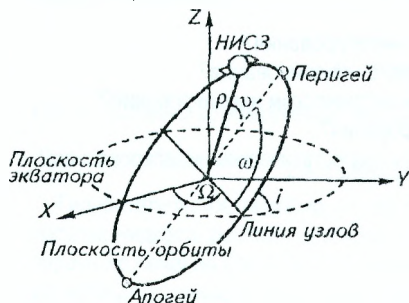
В настоящее время существует две системы: Российская ГЛОНАС и США – GPS. К 2012 году проектируется Европейская система «Галилео».

- В ГНСС функционируют три сегмента:
- Сегмент контроля и управления;
- Космический сегмент.

Первые два сегмента – это комплекс наземных средств, которые обеспечивают непрерывные наблюдения и контроль всей работы системы. Одна из составляющих этого сегмента является расположенная на территории государства космическая геодезическая сеть.

Космический сегмент ГНСС включает созвездие навигационных искусственных спутников Земли (в дальнейшем НИСЗ), вращающихся вокруг Земли на определенных орбитах.

Положение плоскости орбиты каждого спутника характеризуют следующими величинами (рис. 3.1):



- Ω – долгота восходящего угла;
- ω – аргумент перигея;
- i – угол наклона плоскости экватора;
- r – радиус-вектор;
- ν – эксцентриситет орбиты.

Рис. 3.1. Основные элементы орбиты НИСЗ

При невозмущенном движении НИСЗ перечисленные параметры постоянны для каждого спутника и не меняются при движении по орбите.

На рисунках 3.2 и 3.3 показаны системы GPS и ГЛОНАСС. В GPS навигационные спутники расположены на шести орбитах по четыре НИСЗ в каждой. В ГЛОНАСС на трех орбитах вращаются 24 спутника. Навигационный спутник движется по орбите в некоторой шкале времени. При этом используют следующие системы: всемирная UT (гринвичское); всемирное координированное UTC измеряют по атомным часам и используют в повседневной жизни.

Система GPS привязана к времени UT, а ГЛОНАСС – UTC.

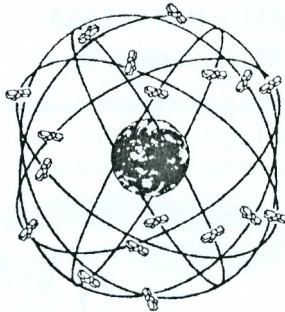


Рис. 3.2. Созвездие НИСЗ системы GPS (показаны не все НИСЗ)

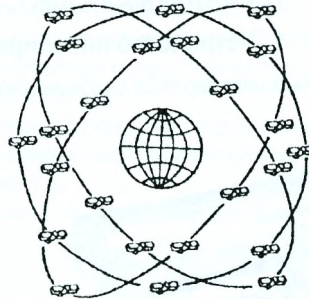


Рис. 3.3. Созвездие НИСЗ системы ГЛОНАСС

3.2. Принцип определения местоположения пунктов с использованием GPS – навигатора

На панели навигатора GPS расположено девять кнопок:

GOTO – перейти к.....;

IN – для уменьшения масштаба экранной карты;

OUT – для увеличения масштаба данной карты;

NAV и MOB – при помощи этих кнопок соответственно запускают и останавливают процесс измерений;

PAGE – переключают последовательно пять основных экранных страниц;

POWER- включают и выключают прибор;

MENU – вызывает на экран страницу настроек экранной страницы, просматриваемой в данное время, двойное нажатие вызывает на экран страницу основного списка функций;

QUIT – переключает в обратной последовательности пять основных экранных страниц; эта же кнопка отменяет выполняемую операцию и вызывает на экран основную страницу, с которой была запущена операция;

ENTER – активизирует поле ввода данных или подтверждает их ввод. Удерживание этой кнопки записывает текущие координаты и вызывает страницу создания точки.

Для выноса проектной точки на местность (в натуру) выполняют следующие действия:

Вводят в GPS-навигатор прямоугольные координаты проектной точки;

Запускают процедуру навигации, для чего выбирают требуемую точку и нажимают кнопку GO TO:



С помощью кнопки PAGE выбирают страницу указателя пути (рис.3.4).

На этой странице изображен электронный компас, направление стрелки указывает на выносимую точку. В верхней части экрана показаны расстояние до заданной точки (справа) и текущая скорость движения (слева). При приближении к точке на 10 м навигатор выдает звук, сообщая о прибытии в пункт назначения. При расстоянии до выносимой точки 2-3 м нужно остановиться и через 2-3 мин снова пойти по направлению стрелки электронного компаса. При изменении положения стрелки или ее колебаниях, на этом месте следует остановиться и, подождя примерно 10 минут, по показаниям навигатора закрепить проектную точку.

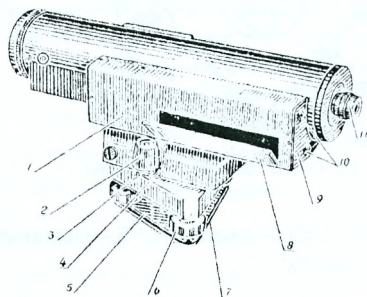
Рис. 3.4. Указатель пути

УПРАВЛЯЕМАЯ САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

1. Устройство нивелира Н-05 и инварных реек

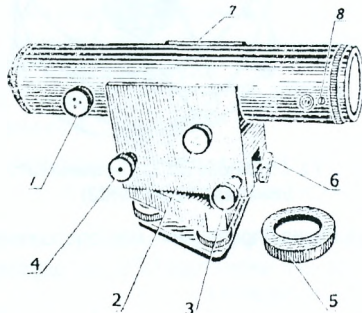
Высокоточный нивелир Н-05 снабжен зрительной трубой с увеличением 42^x.

а)



- 1- коробка уровня;
- 2-круглый уровень;
- 3-исправительные винты круглого уровня;
- 4-вкладыш;
- 5-пружинящая пластинка;
- 6-подъёмный винт;
- 7-подставка;
- 8-зеркало;
- 9-крышка;
- 10- исправительные винты уровня;
- 11-окуляр.

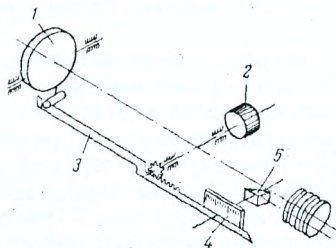
б)



- 1-кремальера;
- 2- винт механизма наклона плоско-параллельной пластины 1 (рис. 1.2) (маховик);
- 3-наводящий винт;
- 4-элевационный винт;
- 5-насадка на объектив;
- 6-закрепительный винт (флажок);
- 7-механический визир;
- 8-закрепительный винт оправы оптического клина.

Рис. 1.1. Устройство нивелира Н-05

На рис. 1.1,а показан общий вид нивелира со стороны цилиндрического уровня. В отличие от нивелира Н-5 (Н-3) помимо винта 1 (кремальера) (рис. 1.1,б), наводящего винта 3, элевационного винта 4 у нивелира имеется маховик 2, который механически связан с плоско-параллельной пластиной 1 (рис. 1.2).



- 1-плоскопараллельная пластинка; 2-маховик;
- 3-тяги; 4-отсчётная шкала; 5-призма

Рис. 1.2. Устройство отсчётного механизма нивелира Н-05

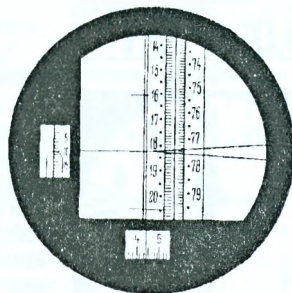


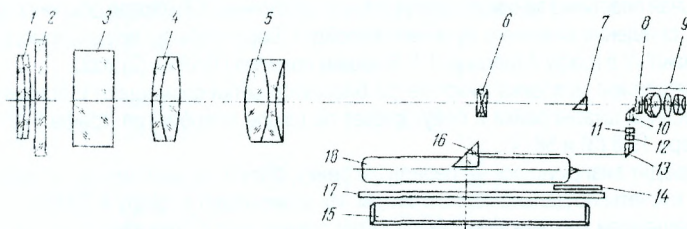
Рис. 1.3. Поле зрения нивелира Н-05

При вращении микрометра 2 плоскопараллельная пластинка может наклониться в ту или иную сторону, смещая визирную ось в параллельной плоскости. Величина смещения оси измеряется при помощи шкалы 4, изображение которой призмой 5 (рис. 1.2) передается в поле зрения трубы нивелира (рис. 1.3.).

Таким образом, в поле зрения трубы нивелира одновременно видна сетка нитей, изображения концов пузырька уровня, нивелирная рейка и шкала измерительного устройства.

Оптическая схема нивелира показана на рис. 1.4.

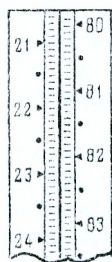
Съемная насадка 1 обеспечивает визирование на 1 м. оптический клин 2 позволяет корректировать главное условие нивелира.



- 1- линза насадки; 2-оптический клин; 3-плоскопараллельная пластинка; 4-5 –линзы объектива;
 6-фокусирующая линза; 7-передающая призма оптического микроскопа; 8-сетка нитей; 9-окуляр;
 10-13 и 16-оптическая система передачи изображения концов пузырька уровня в поле зрения окуляра;
 14-шкала оптического микрометра; 15-зеркало подсветки; 17-защитное стекло цилиндрического уровня;
 18-цилиндрический уровень.

Рис. 1.4. Оптическая схема нивелира Н-05

При нивелировании используют инварные рейки (рис. 1.5.).



Рейка имеет деревянный корпус в средней части которого вырезан паз, в который вставляется инварная лента со штрихами. Нижний конец ленты неподвижно скреплен со стальным наконечником корпуса рейки (пяткой), верхний - со стальным рычагом через пружину, которая натягивается с усилием в 20 кг. На инварной ленте (полоске) нанесены две шкалы: основная и дополнительная. Толщина штрихов 1 мм, расстояния между осями штрихов 5 мм.

Рис. 1.5. Инварная рейка

Каждый десятичный штрих оцифрован на деревянной части рейки: по основной шкале от 0 до 60, по дополнительной – от 60 до 119. Деления кратные 10 (полудециметровые) маркируются треугольниками, а кратные 5 – точками. Отсчет производится следующим способом:

1. Работая зевационным винтом 4(рис. 1.1.), наклоняют трубу нивелира вместе с уровнем до совмещения концов пузырька уровня.
2. Работая маховиком 2, наклоняют плоскопараллельную пластинку до совмещения биссектора сетки с каким-либо штрихом рейки (например, 18,2 рис. 1.3.).
3. Берут отсчет по рейке, он будет 18,2.
4. Берут отсчет по шкале микроскопа в целых делениях. На рис. 1.3. он будет 44. Полный отсчет будет 18,244 полудециметра или 912,2 мм (18,244*50мм=912,2мм).

Порядок работы на станции при высокоточном нивелировании

1. Инварные рейки устанавливают на костыли или башмаки и по круглому уровню приводят в вертикальное положение (в табл. 1.1. в круглых скобках пронумерован порядок действий при нивелировании).

2. Расстояние между рейками делят пополам с точностью $\pm 0,5$ м. И в полученной точке устанавливают нивелир. Расстояние до реек не должно превышать 50-60 м. Нивелир устанавливают в рабочее положение по круглому уровню, а далее перед каждым отсчетом по рейке совмещают концы пузырька уровня элевационным винтом.

3. Наводят визирную ось на основную шкалу задней рейки. Отсчет по шкале микрометра устанавливают равным 50 вращениям маховика микрометра. При каком отсчете плоскопараллельная пластинка занимает вертикальное положение, а визирная ось перпендикулярна к ней, т.е. смещения визирного луча не произойдет. Берут отсчеты по дальномерным нитям и записывают их в графу 3 таблицы 1.1. В нашем примере (1) 1910, (2) 2050.

4. Вращением маховика микрометра биссектор сетки совмещают с ближайшим штрихом основной шкалы рейки и берут отсчет по шкале микрометра (графа 6 и 7 таблицы). В примере 19,8 (3) и 58 (4).

5. Наводят визирную ось на переднюю рейку, отсчет по микрометру устанавливают 50 и берут отсчеты по дальномерным нитям. Их записывают в графу 4 [2840(5) и 2980 (6)].

6. Вращением маховика биссектор сетки совмещают с ближайшим штрихом основной шкалы передней рейки и берут отсчет по рейке и по шкале микрометра и записывают их в графу 6 и 7 [29,1 (7) и 58 (8)].

7. Те же операции выполняют по дополнительной шкале передней рейки. Отсчеты записывают в графы 8 и 9 [88,4 (9) и 08 (10)].

8. Визирную ось наводят на заднюю рейку на дополнительную шкалу и берут отсчет по рейке и шкале микрометра, записывая в графу 8 и 9 [79,0 (11) и 102 (12)].

Обработка журнала

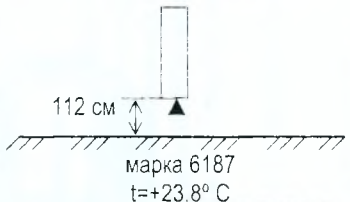
1. В графах 6, 7 и 8, 9 из верхних отсчетов (задних) вычитают нижние (передние) и получают превышения в $1/2$ дм по основной и дополнительной шкалам, т.е. $-9,3$ (13) в графе 6 и 00 (14) в графе 7. Объединив графы 6 и 7, получают превышения в полудециметрах по основной шкале $-9,300$ (15).

2. Подобные действия выполняют по дополнительной шкале и получают соответственно $-9,4$ (16) и $+94$ (17). Превышение по дополнительной шкале будет $-9,306$ (18).

3. В графе 10 осуществляют контроль измерений и вычислений. Для этого из объединенных граф 8 и 9 вычисляют значения граф 6 и 7. Этим контролируется постоянство разности пятюк основной и дополнительной шкалы, т.е. $79,102 - 19,858 = 59,244$ (19) и $88,408 - 29,158 = 59,250$ (20). Далее из (20) вычитаем (19), получаем $59,250 - 59,244 = +6$ (21) и из (15) вычитаем (18), получаем $-9,300 + 9,306 = +6$ (22). Равенство разниц (20) – (19) и (15) – (18) говорят о том, что вычисления правильны, а их абсолютные величины меньше 15 делений показывают о качественных измерениях.

4. Заканчивают вычисления в графах 3 и 4. Здесь сначала вычитают от нижних отсчетов верхние и получают расстояния в полуметрах до задней рейки и передней, т.е. в графе 3 140 (23) и в графе 4 тоже 140 (24) и, наконец, вычитают от отсчетов по дальномерным нитям задней рейки отсчеты передней, получают грубый контроль нивелирования $-9,30$ (25). Разница между величинами (23) и (24) показывает разность расстояния до задней и передней реек % (26).

Таблица 1.1. Образец записи в журнале высокоточного нивелирования.

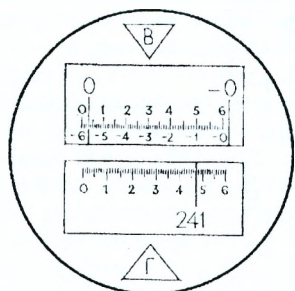
Номера штативов, номер реек	Зарисовка привязок	Отсчёты по дальномерным нитям $\left(\frac{1}{2} \text{ мм}\right)$			Отсчёты по биссектору нитей $\left(\frac{1}{2} \text{ мм}\right)$				Контроль
		З/У'	П/д		Основная шкала		Дополнительная шкала		
					Р	Б	Р	Б	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Подв.-2		1910(1)	2840(5)	3 П 3-П У	19,8(3)	58(4)	79,0(11)	102(12)	59,244(19) 59,250(20)
		2050(2)	2980(6)		29,1(7)	58(8)	88,4(9)	08(10)	
		140(23)	140(24)		-9,3(13)	00(14)	-9,4(16)	+94(17)	
		-9,30(25)	0/0(26)		-9,300(15)		-9,306(18)		
2 2-1		2435	2380	3	28,5	40	87,8	88	59,248
		3260	3215	П	28,0	95	87,3	47	59,252
		825	835	3-П	+0,5	-55	+0,4	+41	+4
		+0,50	-10/-10	У	+0,445		+0,441		+10

2. Точные теодолиты

К точным теодолитам относятся Т5, Т5К, 2Т5К, Т2, 2Т2, 3Т2КП и другие модификации. Они широко используются при строительстве мостовых переходов при измерении углов мостовой триангуляции, разбивке мостовых опор, передаче отметок через водные преграды и т.д.

Теодолиты типа Т5

Поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т5, 2Т5К показано на рис. 2.1.



Вертикальный круг имеет секторную оцифровку, как и круг теодолита 2Т30. Шкала микроскопа имеет 60 делений и по размеру соответствует одному градусу. Отсчёт производится по градусному делению, которое проектируется на шкалу. Каждое десятое деление оцифровано. Шкала вертикального круга имеет двойную оцифровку: верхняя для положительных углов, а нижняя для отрицательных.

Рис. 2.1. Поле зрения теодолита 2Т5, 2Т5К

На рис. 2.1 отсчет по вертикальному кругу $0^{\circ}03,0'$, а по горизонтальному $241^{\circ}46,5'$.

Основное рабочее положения «круг право», поэтому формулы для вычисления вертикальных углов имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} MO &= \frac{KP + KL + 180}{2} \\ \alpha &= \frac{KP - KL - 180}{2} \\ \alpha &= KP - MO \\ \alpha &= MO - KL - 180 \end{aligned} \right\} , \quad (2.1)$$

где КР и КЛ - отсчеты по вертикальному кругу при круге право и круге лево;

МО- место нуля вертикального круга.

Теодолит класса Т5 относится к теодолитам с односторонним отсчитыванием, т.е. отсчеты снимают по одному краю лимба. Это является их недостатком, так как при таком отсчитывании возникает погрешность из-за эксцентриситета горизонтального или вертикального круга, т.е. из-за несовпадения центра круга и оси его вращения. У теодолитов Т5 при вертикальном круге имеется уровень, который перед каждым отсчетом по вертикальному кругу необходимо приводить в нуль-пункт.

Теодолиты типа Т2

Основными отличительными особенностями теодолитов этого класса являются угломерные круги, разделенные с высокой точностью, и более сложная схема отсчетного устройства, которое позволяет исключить влияние эксцентриситета лимба. Отсчетное

устройство позволяет принцип совмещенного отсчета по двум противоположным сторонам угломерных кругов оптическим микрометром. На рис. 2.2 показана схема отсчетной системы горизонтального круга теодолита Т2.



Рис. 2.2. Схема отсчётной системы горизонтального круга теодолита Т2

Горизонтальный круг имеет двойные штрихи, а вертикальный - одинарные.

Отсчитывания по горизонтальному и вертикальному кругам производятся раздельно, для этого имеется переключатель кругов.

Рис. 2.3. а Схема оптического микрометра Т2

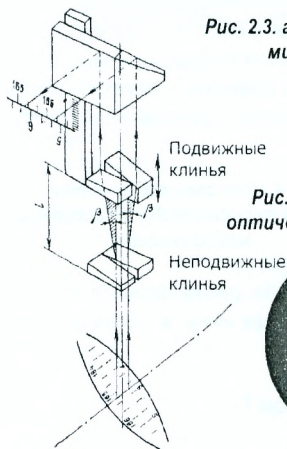
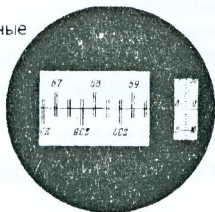


Рис. 2.3. б Поле зрения оптического теодолита Т2



На рис. 2.3, б в произвольном положении двойные деления верхней шкалы и нижней не совпадают. Перед взятием отсчета вращением маховичка микрометра совмещают изображения верхних и нижних штрихов. Отсчет числа градусов берется по верхнему изображению слева от центра или непосредственно по центру. Далее отсчитывают число десятков минут, равное числу интервалов, отсчитанным между верхним оцифрованным штрихом и нижним, отличным от верхнего на 180° .

Единицы минут отсчитывают в малом правом окошке по левому ряду цифр, там же отсчитывают десятки секунд по правому ряду цифр. Единицы секунд и их доли отсчитывают по неподвижному индексу. На рис. 2.3, б отсчет $57^{\circ} 58' 02,0''$.

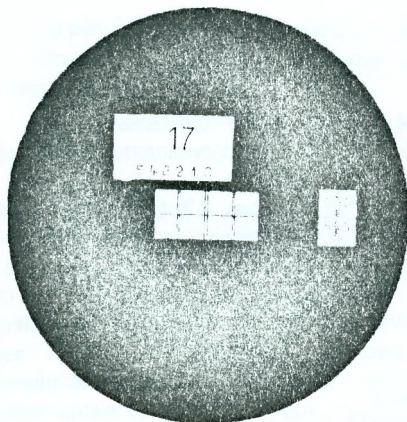
В теодолите Т2, в отличие от Т5, вертикальный круг соединен со зрительной трубой по диаметру 0° - 180° . Поэтому измеряют не вертикальные углы, а зенитные расстояния (z) – угол между отвесной линией и визирной осью зрительной трубы. Отсчет по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси теоретически должен равняться 90° , отклонение от этого значения называется местом зенита (MZ). В теодолите Т2 за основное положение принят круг лево, поэтому формулы для вычисления зенитных расстояний имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} MZ &= \frac{КЛ + КП}{2} \\ Z &= \frac{КЛ - КП + 360}{2} \\ Z &= КЛ - MZ \\ Z &= MZ - КП \end{aligned} \right\} (2.2)$$

где Z- зенитное расстояние;

MZ- место зенита;

КЛ и КП - отсчеты по вертикальному кругу при круге лево и право.



Основными конструктивными особенностями теодолита Т2 является система отсчитывания по микроскопу оптического микрометра.

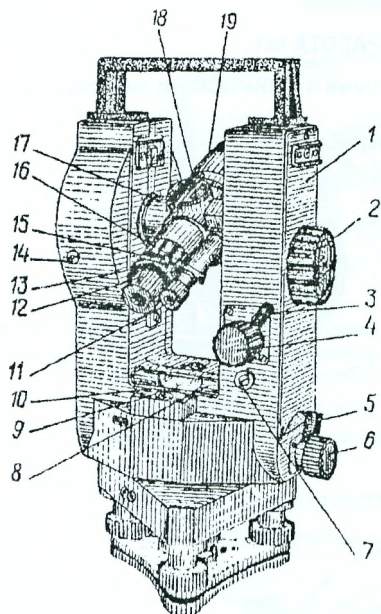
В отсчетной системе применена дополнительная шала десятков минут (рис. 2.4). В центральном малом окошке (оно внизу) производится совмещения верхних и нижних штрихов с помощью барабана 3 (рис. 2.5). В верхнем большом окошке отсчитывают число градусов и десятков минут, в баковом окошке- единицы минут и секунды.

Рис. 2.4. Поле зрения отсчётного микроскопа теодолита Т2 и последующих модификаций

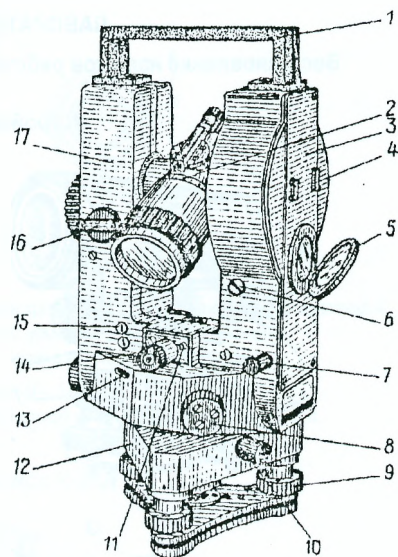
Отсчитывание выполняют в следующем порядке. Цифра, расположенная под числом градусов, показывает количество десятков минут, а единицы минут и секунды отсчитывают в правом окне, как и в теодолите Т2.

На рис. 2.4 отсчет по микроскопу будет $17^{\circ} 25' 27,0''$.

Зенитные расстояния измеряют так же, как и теодолитом Т2.



- 1-боковая крышка;
- 2-рукоятка микрометра;
- 3,5-закрепительные винты;
- 4,6-наводящие винты;
- 7,10-юстировочные винты уровня;
- 8,9-уровни при алидаде горизонтального круга;
- 11-окуляр микроскопа;
- 12-окуляр зрительной трубы;
- 13-защитный колпачок;
- 14-штеккерное гнездо;
- 15-кремальера;
- 16-флажок отражателя;
- 17-горизонтальная ось;
- 18-коллиматорный визир;
- 19-зрительная труба.



- 1-ручка;
- 2-клиновое кольцо;
- 3-боковая крышка;
- 4-упор;
- 5-зеркало;
- 6-юстировочный винт;
- 7-установочный винт;
- 8-рукоятка перестановки лимба;
- 9-подъемный винт;
- 10-закрепительный винт;
- 11-винт;
- 12-подставка;
- 13-иллюминатор круга-искателя;
- 14-окуляр оптического центрира;
- 15-пробка для юстировки крена вертикального круга;
- 16-рукоятка переключателя кругов;
- 17-колонка.

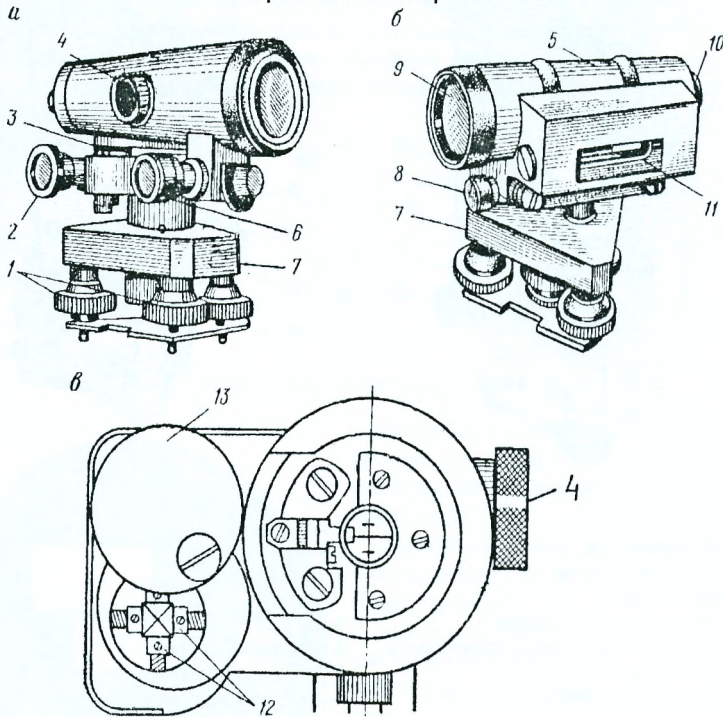
Рис. 2.5. Теодолит 2Т2, 3Т2КП

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Восстановление навыков работы с точными и техническими нивелирами

Устройство нивелира Н-3

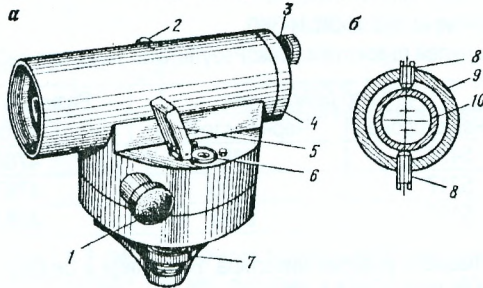


- 1 - подъёмные винты; 2 - элевационный винт; 3 - круглый уровень; 4 - кремальера;
5 - корпус зрительной трубы; 6 - наводящий винт; 7 - подставка (трегер); 8 - закрепительный винт;
9 - объектив; 10 - окуляр; 11 - цилиндрический уровень;
12 - исправительные винты цилиндрического уровня; 13 - защитная крышка.

Рис. 1.1. Нивелир Н - 3

*а - вид со стороны круглого уровня;
б - со стороны цилиндрического уровня; в - со стороны окуляра (без окуляра)*

Устройство нивелира Н-ЗК

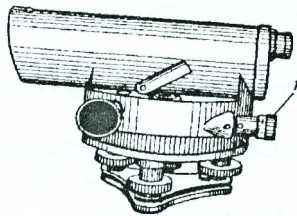


- 1 – винт бесконечной наводки; 2 – кремальера; 3 – гайка крепления предохранительного колпачка 4;
 5 – зеркальце круглого уровня; 6 – круглый уровень; 7 – подъёмный винт;
 8 – юстировочные винты сетки нитей; 9 – оправа окуляра; 10 – сетка нитей.

Рис. 1. 2. Нивелир Н – ЗК.

а) – общий вид; б) – поперечный разрез окулярной части зрительной трубы.

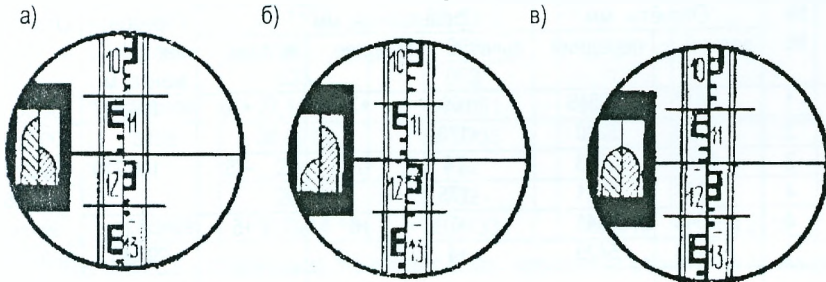
Устройство нивелира Н-ЗКЛ



- 1 – окуляр для отсчётов по горизонтальному кругу (лимбу).

Рис. 1. 3. Нивелир Н -ЗКЛ

Поле зрения трубы нивелира



отсчёт 1191

- а) и б) – положение пузырька цилиндрического уровня вне нуля-пункта; в) – в нуля-пункте.

Рис. 1. 4. Поле зрения трубы нивелира Н – 3

ЗАДАНИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №1

1. Детально изучить нивелиры Н-3, Н-3К, Н-3КЛ.
2. Определить разность нулей пяток трёх реек. Результаты занести в таблицу.

№ рейки	Отсчёты по рейкам, мм		Разность нулей пяток
	Красная сторона	Чёрная сторона	
1	5470	0684	4786
2	5217	0430	4787
3	5197	0514	4683

3. Выполнить поверку главного условия нивелира. В таблице в скобках приведен порядок операций при наблюдении и вычислениях.

№ ст.	№ точек визирова- ния	Рейка	Отсчёты по рейкам, мм			Вычисления
			чёрная	красная	контроль	
1	A	B ₁	1624 (1)	6409 (2)	4785 (3)	X _ч = + 2мм.
	B	D ₁	1282 (4)	6065 (5)	4783 (6)	X _к = + 2мм.
2	B	B ₂	1754 (7)	6536 (8)	4782 (9)	X _{ср} = + 2мм.
	A	D ₂	2098 (10)	6882 (11)	4784 (12)	D _{2ч} ^{испр} = 2098 - 2 = 2096.

$$X_{ч} = \frac{D_{1ч} + D_{2ч}}{2} - \frac{B_{1ч} + B_{2ч}}{2} = \frac{1282 + 2098}{2} - \frac{1624 + 1754}{2} = +2\text{мм};$$

$$X_{к} = \frac{D_{1к} + D_{2к}}{2} - \frac{B_{1к} + B_{2к}}{2} = \frac{6065 + 6882}{2} - \frac{6409 + 6536}{2} = +2\text{мм};$$

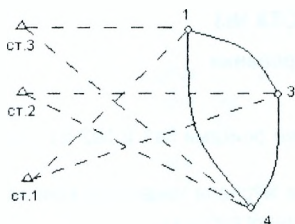
$$X_{ср.} = + 2\text{мм.}$$

$$D_{2ч}^{испр} = 2098 - 2 = 2096.$$

4. Выполнить техническое нивелирование.

Журнал технического нивелирования

№ ст.	№	Отсчёты, мм		Превышения, мм			Горизонт инстру- мента, м	Отметка, м
		задний	передний	вычисл.	среднее	исправ.		
1	1	0617	0548	+69	+71 ⁻¹	+70	100.617	100.000
	3	5403	5230	+173				100.070
2	3	0649	0723	-74	-74 ⁻¹	-75	100.719	100.070
	4	5336	5511	-175				99.095
3	4	0648	0641	+7	+6 ⁻¹	+5	997.43	99.095
	1	5433	5429	+4				100.000
Кон- троль		ΣЗ=18086	ΣП= 18082	Σh зыч = +4	Σh _{ср} = +3	Σh _{испр} = 0		
		ΣЗ - ΣП = +4		f _н = +3 мм	f _{н доп} = ±10 √n = ±10 √3 = ±17мм.			



С трёх станций выполнить нивелирование по подвесным нивелирным рейкам и обработать результаты нивелирования с вычислением горизонта инструмента. Отметку рейки №1 принять равной 100.000 м.

Примечание. Рейки 1 и 4 имеют пяточную разность 4785 мм, а рейка 3 – 4685 мм (т. е. разница пяток реек составляет 100 мм, поэтому в графе «вычисленные превышения» для станций 1 и 2 превышения по чёрной и красной стороне должны отличаться на 100 мм±5 мм). При определении среднего превышения сот миллиметров берут по чёрной (основной) стороне, а среднее определяют из десятков и единиц по чёрной и красным сторонам реек. Превышения между рейками 4 и 1 (станция 3), вычисленные по чёрной и красной сторонам реек должны отличаться не более, чем на ±5 мм.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Изучение устройства нивелира Н-05 и инварных реек

Устройство нивелира и инварных реек приведено в разделе «Управляемая самостоятельная работа». Там же изложен принцип отсчитывания по инварной рейке при высокоточном нивелировании.

После изучения нивелира следует определить разность высот нулей шкал двух инварных реек двумя приёмами.

Таблица. Определение разности высот нулей шкал инварных реек

Номер приёма	Номер рейки	Отсчёты		Разность шкал	Средняя разность из двух приёмов
		Основная шкала	Дополнительная шкала		
1	2	3	4	5	6
1	6708	27,1533	86,4042	59,2514	
		545	058		
		533	053		
	среднее	27,1537	86,4051		
2	6708	30,0211	89,2735	59,2519	59,2516
		224	732		
		208	732		
		среднее	30,0214		

Приём заключается в следующем. На каждую рейку производят отсчёты по основной и дополнительным шкалам, делая на каждый штрих по три наведения. По трём наведениям определяют среднее значение. По средним значениям на основную и дополнительную шкалы определяют их разность (графа 5).

Нивелир устанавливают на другой кронштейн и выполняют те же измерения. За окончательное значение разности пяток принимают среднее значение из двух приёмов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

Высокоточное нивелирование

Задание.

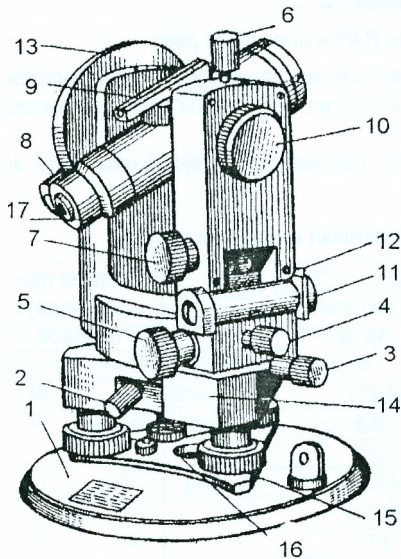
Определить превышение между двумя инварными рейками №1 и №2 по программе нивелирования II класса с двух станций.

Порядок работы при нивелировании и обработка журнала нивелирования подробно рассмотрены в разделе «Управляемая самостоятельная работа».

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

4.1. Восстановление навыков работы с техническими теодолитами

Теодолит Т30, 2Т30 предназначен для измерения углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при разбивке плановых и высотных съёмочных сетей, для измерения расстояний с использованием нитяного дальномера зрительной трубы, определения магнитных азимутов по ориентир-буссоли, а также для нивелирования горизонтальным лучом с помощью уровня при трубе.



- 1 – основание теодолита;
- 2 – закрепительный винт лимба;
- 3 – наводящий винт лимба;
- 4 – закрепительный винт алидады;
- 5 – наводящий винт алидады;
- 6 – закрепительный винт зрительной трубы;
- 7 – наводящий винт зрительной трубы;
- 8 – оптический микроскоп;
- 9 – оптический визир;
- 10 – кремальера;
- 11 – цилиндрический уровень на алидаде;
- 12 – исправительный винт уровня;
- 13 – вертикальный круг;
- 14 – подставка;
- 15 – подъемный винт;
- 16 – отверстие для центрирования;
- 17 – диоптрийное кольцо.

Рис. 4.1. Общий вид теодолита Т30

В качестве **отсчётных устройств** используются штриховые (теодолит Т30) и шкаловые (теодолит 2Т30) микроскопы. Горизонтальный и вертикальный круги теодолита Т30 разделены через $10'$ с оцифровкой через 1° . Изображение отсчётного индекса и штрихов обоих кругов передано в поле зрения микроскопа (рис. 4.2, б) посредством оптической схемы (рис. 4.2, а).

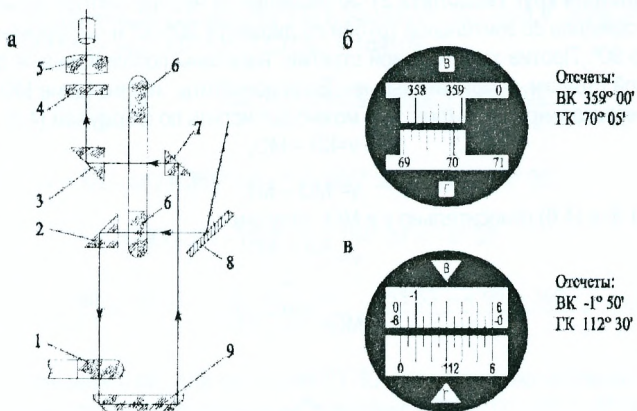


Рис. 4.2 Отсчётные устройства теодолитов Т30, 2Т30

а - оптическая схема; б - поле зрения теодолита Т30;

в - поле зрения теодолита 2Т30.

Вертикальный круг теодолита Т-30 скреплён со зрительной трубой по диаметру $90^\circ - 270^\circ$ и оцифрован против хода часовой стрелки от 0° до 360° . Из рисунка 4.3 следует, что

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}, \quad (4.1)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП} + 180^\circ, \quad (4.2)$$

решая (4.1) и (4.2) относительно v и МО , получим

$$v = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} + 180^\circ}{2}, \quad (4.3)$$

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ} + \text{КП} - 180^\circ}{2}. \quad (4.4)$$

Следовательно, для определения величины МО нужно на одну и ту же точку навести зрительную трубу при КП и КЛ , взять отсчёты по вертикальному кругу и вычислить МО по формуле (4.4).



Рис. 4.3. Вертикальный круг теодолита Т-30

Вертикальный круг теодолита 2Т-30 разделен на четыре сектора диаметрами $0^{\circ}-0^{\circ}$ и $90^{\circ}-90^{\circ}$, скреплён со зрительной трубой по диаметру $90^{\circ}-90^{\circ}$ и оцифрован в обе стороны от 0° до 90° . Против хода часовой стрелки нанесены положительные деления, а по ходу часовой стрелки – отрицательные. Если допустить, что значение $МО$ известно, то значение вертикального угла (рис. 4.4) можно вычислить по формулам (4.5) и (4.6):

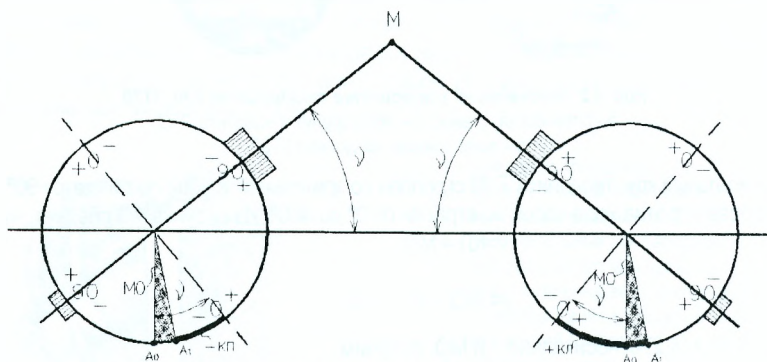
$$v = КЛ - МО, \quad (4.5)$$

$$v = МО - КП. \quad (4.6)$$

Решая (4.5) и (4.6) относительно v и $МО$, получим:

$$v = \frac{КЛ - КП}{2}, \quad (4.7)$$

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2}. \quad (4.8)$$



$А_0$ – положение отсчётного индекса при $МО=0$;

$А_1$ – положение отсчётного индекса при $МО \neq 0$

Рис. 4.4. Вертикальный круг теодолита 2Т30

Анализируя формулы (4.3) и (4.7), можно сделать вывод: если угол измерен при двух положениях вертикального круга, то $МО$ не влияет на правильность определения вертикального угла. При известной величине $МО$ вертикальный угол можно вычислить по формулам (4.1), (4.2), (4.5) и (4.6). Для удобства вычисления углов наклона по этим формулам желательно, чтобы значение $МО$ не превышало двойной точности отсчётного устройства, т.е. $1'$ для теодолитов Т30, 2Т30.

Пример 4.1. Определить $МО$ теодолита Т-30 и вертикальный угол v , если отсчёты по вертикальному кругу известны: $КП = 175^{\circ}28'$; $КЛ = 4^{\circ}36'$.

$$МО = \frac{КЛ + КП - 180}{2} = \frac{4^{\circ}36' + 175^{\circ}28' - 180}{2} = 2';$$

$$v = КП - МО = 175^{\circ}28' - 2' = 175^{\circ}26';$$

$$v = МО - КП + 180^{\circ} = 2' - 175^{\circ}28' + 180^{\circ} = 4^{\circ}34';$$

$$v = \frac{КЛ - КП + 180}{2} = \frac{4^{\circ}36' - 175^{\circ}28' + 180}{2} = 4^{\circ}34'.$$

Пример 4.2. Определить МО теодолита Т30 и вертикальный угол V, если отсчёты по вертикальному кругу известны : КЛ = 355° 53'; КП = 184° 09'.

$$MO = \frac{KL + KP - 180^\circ}{2} = \frac{355^\circ 53' + 184^\circ 09' - 180^\circ}{2} = \frac{360^\circ 02'}{2} = 1';$$

$$V = KL - MO = 355^\circ 53' - 1' = 355^\circ 52' - 360^\circ = -4^\circ 08';$$

$$V = MO - KP - 180^\circ = 1' - 184^\circ 09' = -4^\circ 08';$$

$$v = \frac{KL - KP + 180}{2} = \frac{355^\circ 53' - 184^\circ 09' + 180}{2} = \frac{355^\circ 53' - 4^\circ 09' - 360}{2} = -4^\circ 08'$$

Пример 4.3. Определить МО для теодолита 2Т-30 и величину вертикального угла наклона v, если отсчёты по вертикальному кругу известны: КП = 5°17'; КЛ = - 5°19'.

$$MO = \frac{KL + KP}{2} = \frac{-5^\circ 19' + 5^\circ 17'}{2} = -1';$$

$$v = KL - MO = -5^\circ 19' - (-1') = -5^\circ 18';$$

$$v = MO - KP = -1' - 5^\circ 17' = -5^\circ 18';$$

$$v = \frac{KL - KP}{2} = \frac{-5^\circ 19' - 5^\circ 17'}{2} = -5^\circ 18'.$$

1. Установить теодолит в рабочее положение и измерить три горизонтальных угла одним приёмом

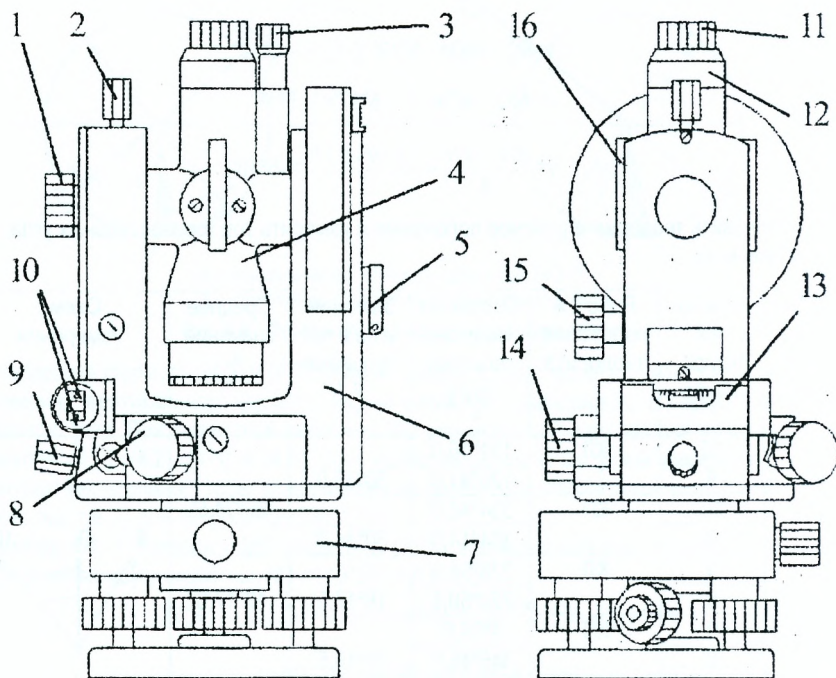
№№ точек стояния	№№ точек визирования	Рабочее положение теодолита	Отсчёт по горизонтальному кругу	Значение угла в полуприёме	Среднее значение	Схема измерения
13	10	КЛ	151°16,0'	30°35,0'	30°34,5'	
	9		120°41,0'			
	10	КП	334°48,0'	30°34,0'		
	9		304°14,0'			
13	9	КЛ	238°08,0'	18°17,5'	18°17,0'	
	8		220°50,5'			
	9	КП	4°04,5'	18°16,5'		
	8		345°48,0'			
13	10	КЛ	136°41,0'	48°50,5'	48°50,0'	
	8		87°50,5'			
	10	КП	215°17,0'	48°49,5'		
	8		166°27,5'			

2. Установить теодолит в рабочее положение и измерить вертикальные углы

№№ точек стояния. Теодолит	№№ точек визирования	Круг	Отсчёт		МО v
			°	'	
12 2Т30	1	КП	-3°19'		-0,5'
		КЛ	3°18'		3°18,5'
	2	КЛ	5°41'		+0,5'
		КП	-5°40'		5°40,5'
10 Т30	3	КП	176°42'		+0,5'
		КЛ	3°19'		3°18,5'
	4	КЛ	8°45'		-0,5'
		КП	171°14'		8°45,5'

4.2. Знакомство с техническими теодолитами 4Т30П, 4Т15П.

Изучение особенностей устройства этих теодолитов



- 1-кремальера; 2-закрепительный винт трубы; 3-окуляр микроскопа; 4,16-визир; 5-зеркало подсветки;
 6-колонка; 7-подставка; 8-рукоятка перевода лимба; 9-закрепительный винт алидады;
 10-юстировочный винт; 11-диоптрийное кольцо окуляра; 12-колпачок; 13-уровень при алидаде;
 14-наводящий винт алидады; 15-наводящий винт трубы

Рис. 4.5. Теодолит 4Т30П

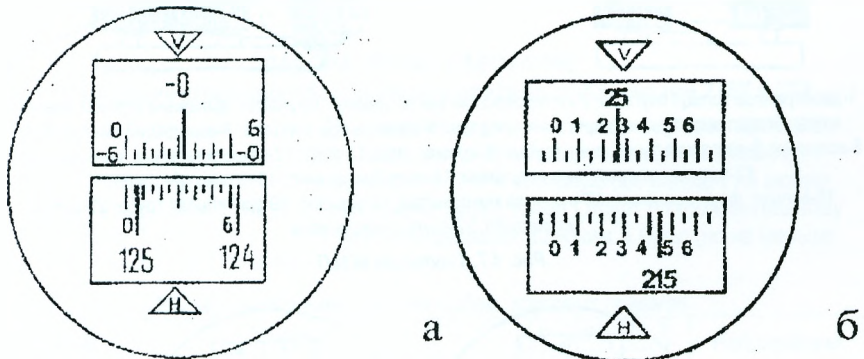
Основные особенности:

- отсчёт снимается с одной стороны лимба с помощью шкалового микроскопа;
- малые масса и размеры;
- возможность центрирования теодолита над точкой с помощью оптического центрира на подставке;
- возможность выполнять нивелирование с помощью уровня при трубе.

Фокусирование на цель осуществляется вращением кремальеры 1 (рис. 4.5.). Вращением диоптрийного кольца 11 окуляр устанавливается по глазу до резкой видимости изображения сетки нитей. Коллиматорные визиры 4,16 предназначены для грубой наводки на цель. Точное наведение зрительной трубы на предмет в горизонтальной плоскости осуществляется наводящим винтом 14 после закрепления алидады винтом 9, в вертикальной плоскости - наводящим винтом 15 после закрепления винтом 2.

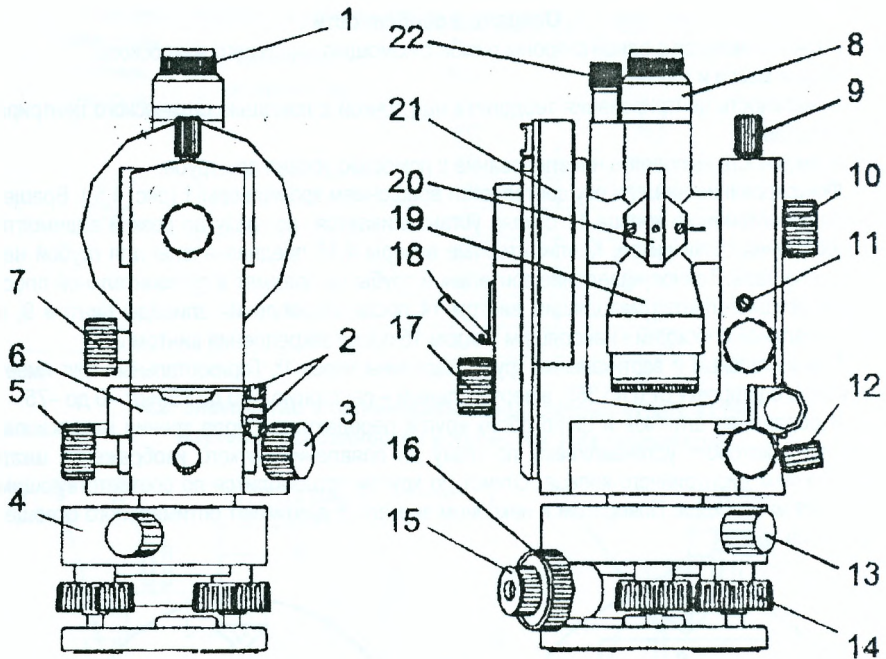
Горизонтальный и вертикальный круги разделены через 1° . Горизонтальный круг имеет круговую оцифровку от 0 до 359, а вертикальный – секторную от 0 до 75 и от -0 до -75 .

Изображение штрихов и цифр обоих кругов передаются в поле зрения микроскопа, окуляр 3 которого устанавливают по глазу до появления четкого изображения шкал вращением диоптрийного кольца. Отсчёт по кругам производится по соответствующим шкалам микроскопа. Поворотом и наклоном зеркала 5 достигают оптимального освещения поля зрения.



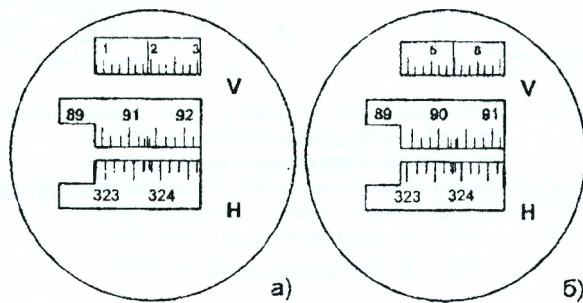
- а) для теодолитов с кругами, разделёнными на 360° и с ценой деления шкал микроскопа $5'$:
показания лимба горизонтального круга $125^\circ 05,5'$;
показания лимба вертикального круга минус $0^\circ 26'$.
- б) для теодолитов с кругами, разделёнными на 360° и с ценой деления шкал микроскопа $1'$:
показания лимба горизонтального круга $215^\circ 44'$;
показания лимба вертикального круга $25^\circ 26'$.

Рис. 4.6. Поле зрения микроскопа 4Т30П



1-диоптрийное кольцо окуляра; 2-юстировочные винты уровня; 3-рукоятка вращения горизонтального круга; 4-подставка; 5-наводящий винт алидады; 6-уровень при алидаде; 7-наводящий винт трубы; 8-колпачок; 9-закрепительный винт трубы; 10-кремальера; 11-винт; 12-закрепительный винт алидады; 13-закрепительный винт подставки; 14-подъемный винт; 15-окуляр центра; 16-кольцо фокусирования; 17-рукоятка микрометра; 18-зеркало; 19-зрительная труба; 20-визир; 21-колонка; 22-окуляр микроскопа.

Рис. 4.7. Теодолит 4Т15П



Показания лимбов:
а) вертикального круга $91^{\circ}21'57''$; б) горизонтального круга $323^{\circ}55'30''$.

Рис. 4.8. Поле зрения микроскопа 4Т15П

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

Изучение теодолитов Т2 (2Т2), 2Т5К

Отсчётные устройства теодолитов и их устройство рассмотрены в разделе «Управляемая самостоятельная работа». После изучения теодолитов определить коллимационную погрешность теодолита 2Т5К и Т2 (2Т2).

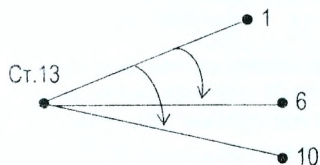
Таблица. Определение коллимационной погрешности

Выполнил студент Иванов Г.В., гр. Д-12

Номер точки визирования. Теодолит	Отсчёты					2С	
	Круг Л		Круг П				
	о	'	''	о	'	''	
3	136	17	18	318	17	25	
2Т2А			20			30	
среднее	136	17	19	318	17	27,5	-8,5"
5	316	45	40	136	45	48	
2Т2А			43			49	
среднее	316	45	41,5	136	45	48,5	-7,0"
5	78°21,3'			258°22,4'			-1,1'
2Т5К	318°43,4'			138°44,0'			-0,6'
8	217°36,8'			37°37,5'			-0,7'
2Т5К							

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

Измерение углов способом круговых приёмов теодолитами 2Т5К и 2Т2



При измерении углов способом круговых приёмов рабочее положение теодолита устанавливают «Круг лево» (КЛ) и визирную ось наводят на любую точку (начальную) точку. Отсчёт по горизонтальному кругу устанавливают близким к нулю (но не меньше нуля).

Журнал измерения углов способом круговых приёмов

№№ наблюдаемых точек	Отсчёты					2С"	$\frac{[L + (L \pm 180)]}{2}$	Направления о ' ''		
	Л		П							
	о	'	''	о	'	''	о	'	''	
1	0	01	15,0	180	01	25,0				
			18,0			25,8				
среднее	0	01	16,5	180	01	25,4	-8,9	0	01	21,0
6	30	08	29,4	210	08	36,3				
			31,3			37,0				
среднее	30	08	30,4	210	08	36,6	-6,2	30	08	33,5
10	71	39	45,3	251	39	54,0				
			46,6			53,0				
среднее	71	39	46,0	251	39	53,5	-7,5	71	39	49,8
1	0	01	16,9	180	01	25,8				
			19,0			26,0				
среднее	0	01	18,0	180	01	25,9	-7,9	0	01	22,0

Вращая теодолит по ходу часовой стрелки, визирную ось трубы поочередно наводят на все точки, и снова на начальную, беря отсчёты по горизонтальному кругу. Установив рабочее положение КП, все действия повторяют, вращая теодолит против хода часовой стрелки. Результаты записывают в «Журнал измерения горизонтальных углов способом круговых приёмов». Контролем качества измерений служит графа «2С». Последнюю графу «Направления» получают путём вычитания результатов наблюдений на начальную точку из всех последующих.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

Измерение вертикальных углов и зенитных расстояний

Теодолитом 2Т5К измеряют горизонтальные углы, а так как основное рабочее положение теодолита – «круг право (КП)», а вертикальный круг имеет секторную оцифровку, то вертикальные углы вычисляют по формулам:

$$MO=0,5(\Pi+\Lambda); \quad \alpha=0,5(\Pi-\Lambda); \quad \alpha= \Pi-MO; \quad \alpha=MO-\Lambda.$$

Отсчёты записывают в «Журнал измерения вертикальных углов», там же выполняют вычисления.

Журнал измерения вертикальных углов

Номер станции	Номер точки визирования	Отсчёты по вертикальному кругу		MO=0,5(Π+Λ)	α= Π-MO	α=MO-Λ
		Π	Λ	α=0,5(Π-Λ)		
		о	и			
13	8	7	18,3	-7	18,6	-0,1'
		18,4	18,5			
		7	18,3	-7	18,6	

Вертикальный круг теодолита 2Т2 оцифрован против хода часовой стрелки от 0° до 359° и скреплен неподвижно со зрительной трубой по диаметру 0° -180°. Отсчёт по вертикальному кругу при горизонтальном положении визирной оси должен быть равен зенитному расстоянию Z, т.е. 90°. Уклонение отсчёта от зенитного расстояния в 90° называется местом зенита (MZ). Теодолитом 2Т2 измеряют не вертикальные углы, а зенитные расстояния, которые вычисляют по формулам:

$$Z=0,5(\Lambda - \Pi + 360^\circ); \quad Z=\Lambda - MZ; \quad Z= MZ - \Pi + 360^\circ,$$

где Λ и Π –отсчёты по вертикальному кругу соответственно при круге лево и круге право;

$$MZ=0,5(\Lambda + \Pi - 360^\circ) - \text{место зенита.}$$

Результаты измерений записывают в «Журнал измерения зенитных расстояний».

Журнал измерения зенитных расстояний

№ станции	№ точки визирования	Отсчёты по вертикальному кругу			MZ=0,5(Λ+Π-360°)	Z=Λ - MZ	Z= MZ- Π + 360°				
		Λ		Π	Z=0,5(Λ- Π + 360°)	о	и				
		о	и	о				и			
13	8	84	58	30	275	00	44	-22,5'	84° 58' 55,5"	84° 58' 55,5"	84° 58' 55,5"
				36		40					
		84	58	33	275	00	42				

Вопросы для подготовки к зачёту

1. Рассказать сущность геометрического нивелирования.
2. Перечислить поверки нивелира.
3. Рассказать программу работы на станции при высокоточном нивелировании.
4. Особенности устройства высокоточных нивелиров.
5. Устройство инварных реек.
6. Отсчётные устройства теодолитов типа Т-30, 2Т30, 2Т8, их отличие.
7. Отсчётные устройства теодолитов типа Т2, 2Т2, их отличие.
8. Электронный тахеометр 3Та5Р, возможности его использования при трассировании автомобильных дорог.
9. Принцип устройства гиротеодолита, его назначение.
10. Общие сведения о трассировании. Основные элементы трассы. Методы трассирования.
11. Полевое и камеральное трассирование.
12. Безпикетажный метод трассирования.
13. Методы перенесения трассы в натуру
14. Основные способы определения направления трассы в закрытой местности.
15. Проложение магистрального хода вдоль трассы (угловые измерения).
16. Линейные измерения.
17. Разбивка пикетажа вдоль трассы.
18. Разбивка главных точек кривых.
19. Нивелирование трассы.
20. Основные виды работ при восстановлении трассы.
21. Детальная разбивка кривых способом координат.
22. Детальная разбивка кривых способом хорд.
23. Вынос в натуру проектных отметок.
24. Вынос в натуру линии заданного уклона при помощи нивелира.
25. Вынос в натуру линии заданного уклона при помощи теодолита.
26. Разбивка поперечников в насыпи.
27. Разбивка поперечников в выемке.
28. Мостовая триангуляция.
29. Передача высот через водные преграды при помощи нивелира.
30. Передача высот через водные преграды при помощи теодолита.
31. Разбивка центров мостовых опор.
32. Сущность навигационных спутниковых систем Земли.

Литература

1. Бобков В.Ф., Андреев О.В. Проектирование автомобильных дорог. - М.: «Транспорт», 1979.
2. Большаков В.Д., Гайдаев П.А. Теория математической обработки геодезических измерений. - М.: «Недра», 1972.
3. Захаров А.И. Геодезические приборы. (справочник). - М.: «Недра», 1989.
4. Зеленский А.М., Нуйкина Ю.В., Фолитар Г.В. Инженерная геодезия в дорожном строительстве (курс лекций). - Брест: БрГТУ, 2007.
5. Катыкало Ю.А., Катыкало А.А. Инженерная геодезия. Разбивка трассы и земляного полотна автомобильных дорог. - Могилев, 2003.
6. Кузнецов П.Н., Васютинский И.Ю., Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение. - М.: «Недра», 1984.
7. Левчук Г.П. Курс инженерной геодезии. - М.: «Недра», 1970.
8. Нивелирование I и II классов (практическое руководство). - М.: «Недра», 1982.
9. Спиридонов А.И. Теодолиты. - М.: «Недра», 1985.
10. Основы инженерных изысканий: Учеб.-метод. комплекс для студ. спец. 1-56 02 01 «Геодезия»/ Сост. и общ. ред. Л.Ф. Зуевой. – Новополоцк: ПГУ, 2004.-208с.
11. ТКП 45-3.03 –19 –2006 (02250) Автомобильные дороги. Нормы проектирования.
12. Федоров В.И., Титов А.И., Холдобаев В.А. Практикум по инженерной геодезии и аэрогеодезии. - М.: «Недра», 1987.
13. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. - М.: «Высшая школа», 2002.
14. Фельдман, Д.Ш. Михелев. Основы инженерной геодезии. - М.: «Высшая школа», 1999.

Учебное издание

Составители:

Зеленский Алексей Михайлович
Зуева Людмила Федоровна
Нуйкина Юлия Вадимовна
Фолитар Георгий Владимирович

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

(специальный курс лекций)

*Рекомендовано к изданию редакционно-издательским Советом
Учреждения образования «Брестский государственный технический
университет» в качестве пособия для студентов специальности
1-70 03 01 «Автомобильные дороги» дневной и заочной форм обучения*

Ответственный за выпуск: Фолитар Г.В.
Редактор: Строкач Т.В.
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.
Корректор: Никитчик Е.В.

ISBN 978-985-493-096-1



9 789854 930961

Подписано к печати 1.10.2008 г. Бумага «Снегурочка».

Усл. п. л. 4,42. Уч.-изд. л. 4,75. Формат 60x84 1/16.

Тираж 100 экз. Заказ № 969.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Брестский государственный технический университет».
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.