

КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ АРХИТЕКТУРЫ, ДИЗАЙНА И СТРОИТЕЛЬСТВА

Кафедра гидротехнического строительства и водных ресурсов

УДК 528.48(075)

Рекомендовано к изданию кафедрой
гидротехнического строительства и водных ресурсов

Г.П. Фролова

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам

- 1 Изучение устройства теодолита и его поверки
- 2 Измерение углов теодолитом
- 3 Изучение устройства нивелира и его поверки
- 4 Производство геометрического нивелирования
- 5 Определение расстояний нитяным дальномером
- 6 Производство тригонометрического нивелирования

по дисциплине «Инженерная геодезия»

Фролова Г.П.

Ф 91 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к лабораторным работам по дисциплине «Инженерная геодезия». – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2011. – 52 с.

Излагаются сведения о геодезических приборах (оптических нивелирах и теодолитах), их конструкции, методах измерений и математической обработке результатов измерений. Определены цели и задачи, изложен порядок выполнения, приведены задания к выполнению лабораторных работ. Сформулированы контрольные вопросы.

Предназначены для студентов инженерных специальностей направления «Строительство» и «Природообустройство», в том числе «Гидротехническое строительство», «Комплексное использование и охрана водных ресурсов».

СОДЕРЖАНИЕ

1. Изучение устройства теодолита и его поверки	4
1.1. Теодолиты, их основные части и назначение	4
1.2. Устройство теодолита 2Т30, 2Т30П	6
1.3. Устройство теодолита 2Т5К	8
1.4. Отсчетные устройства теодолитов	10
1.5. Поверки теодолита	12
1.6. Контрольные вопросы	18
2. Измерение углов теодолитом	19
2.1. Принцип измерения горизонтального и вертикального углов	19
2.2. Установка теодолита	20
2.3. Измерение горизонтальных углов	21
2.4. Измерение вертикальных углов	24
2.5. Контрольные вопросы	26
3. Изучение устройства нивелира и его поверки	27
3.1. Нивелиры, их основные части и назначение	27
3.2. Устройство нивелира НЗ	29
3.3. Устройство нивелира НВ-1	30
3.4. Устройство нивелира 2Н10Л	31
3.5. Нивелир DSC 432 Geolevel	32
3.6. Нивелирные рейки	34
3.7. Поверки нивелира	36
3.8. Контрольные вопросы	39
4. Производство геометрического нивелирования	40
4.1. Основные понятия	40
4.2. Геометрическое нивелирование «из середины» и «вперед»	40
4.3. Контрольные вопросы	45
5. Определение расстояний нитяным дальномером	46
5.1. Измерение наклонных линий и горизонтальных проложений	46
5.2. Контрольные вопросы	48
6. Производство тригонометрического нивелирования	49
6.1. Определение превышений наклонным лучом теодолита	49
6.2. Контрольные вопросы	51
ЛИТЕРАТУРА	51

1. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА ТЕОДОЛИТА И ЕГО ПОВЕРКИ

Цель задания: изучить название основных частей теодолита, освоить их взаимодействие и научиться производить отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам.

Пособия и принадлежности: комплект теодолита – сам прибор, штатив, ориентир-буссоль, нитяной отвес. Рабочая тетрадь.

1.1. Теодолиты, их основные части и назначение

Назначение т е о д о л и т а: основное – измерение горизонтальных и вертикальных углов на местности; дополнительное – измерение магнитных азимутов с помощью ориентир-буссоли, прикрепляемой к теодолиту, определение расстояний по дальномерным штрихам.

Марка теодолита указана на колонке прибора и на подставке, и означает:

Т30 – Т – теодолит, 30 – точность измерений в секундах (30").

2Т30 – 2 вторая модификация теодолита Т30.

2Т5К – 5 – точность теодолита 5", К – теодолит с самоустанавливающимся оптическим маятниковым компенсатором, заменяющим уровень при алидаде вертикального круга. Компенсатор обеспечивает автоматическое приведение отсчетного индекса к горизонту при отклонении вертикальной оси теодолита на $\pm 3'$ от отвесного положения. Это позволяет использовать теодолит и для выполнения нивелирных работ.

2Т5КП – П – зрительная труба прибора имеет прямое изображение.

Т 30М, Т15 М – М – теодолит изготовлен в маркшейдерском исполнении.

Чем точнее теодолит, тем у него больше увеличение зрительной трубы: у технических теодолитов увеличение $\approx 18^x$ – кратное; у точных $\approx 24^x$ -кратное и $\approx 30^x$ -кратное; у высокоточных $\approx 40^x$ до 65^x крат.

В зависимости от точности они подразделяются на три категории: высокоточные, точные и технические.

Высокоточные – Т1 характеризуется средней квадратической погрешностью измерения горизонтального угла одним приемом, равной 1". Он применяется для угловых измерений в плановых опорных сетях 1 и 2 классов, а также для производства высокоточных геодезических работ при строительстве и эксплуатации особо ответственных инженерных сооружений (например, Токтогульской плотины).

Точные теодолиты Т2 и Т5 со средними квадратическими погрешностями измерения углов соответственно 2" и 5". Точные теодолиты применяются при создании плановых опорных сетей 3 и 4 классов, сетей сгущения 1 разряда и при геодезических разбивочных работах соответствующей точности.

Технические теодолиты Т15, Т30 используются при развитии съемочных сетей и топографических съемках. Точность измерения – 15" и 30".

К высокоточным современным и высокопроизводительным геодезическим средствам измерений относится новое поколение приборов, позволяющих выполнять все измерения в автоматизированном режиме. Такие измерительные приборы снабжены встроенными вычислительными средствами и запоминающими устройствами, создающими возможность регистрации и хранения результатов измерений, дальнейшее их использование на ЭВМ для обработки. Такие приборы – лазерные теодолиты, электронные теодолиты и тахеометры.

Основные узлы теодолита: горизонтальный круг; вертикальный круг; зрительная труба.

На рис. 1 приведена схема теодолита, а на рис. 2 основные оси теодолита.

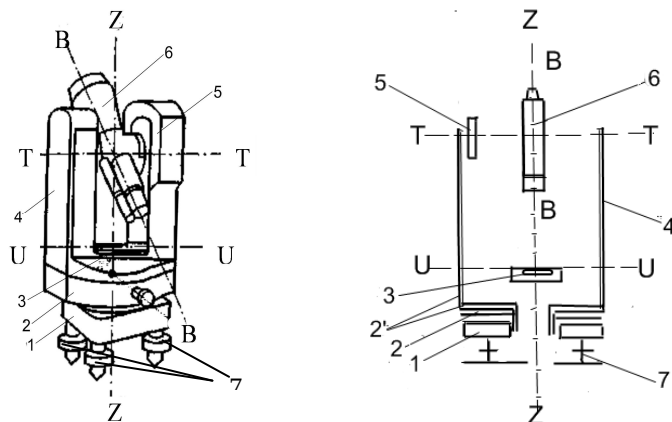


Рис. 1. Схема теодолита и его основные оси

1 – подставка; 2 – горизонтальный круг (лимб и 2' – алидада горизонтального круга); 3 – цилиндрический уровень; 4 – колонка прибора; 5 – вертикальный круг (лимб и алидада вертикального круга); 6 – зрительная труба; 7 – подъемные винты

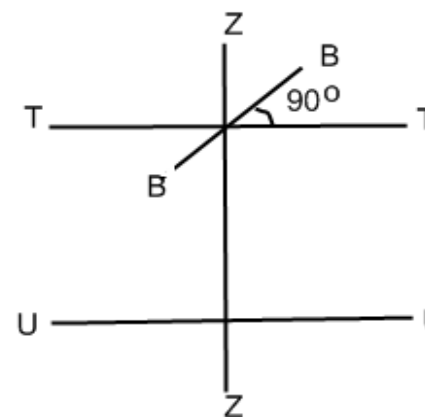


Рис. 2. Основные оси теодолита

ZZ – ось вращения инструмента, вертикальная ось теодолита;

uu – ось цилиндрического уровня;

TT – ось вращения зрительной трубы, горизонтальная ось теодолита;

BB – визирная ось зрительной трубы.

Взаимное расположение осей теодолита строго определено:

$ZZ \perp uu$; $BB \perp TT$; $TT \perp ZZ$.

1.2. Устройство теодолита 2Т30, 2Т30П

Теодолит Т30 и его модификация 2Т30 и 2Т30П относятся к угломерным повторительным приборам технической точности. Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом 30".

В теодолите 2Т30П в отличие от теодолита 2Т30 изображение прямое. В остальном устройство приборов одинаковое (рис. 3).

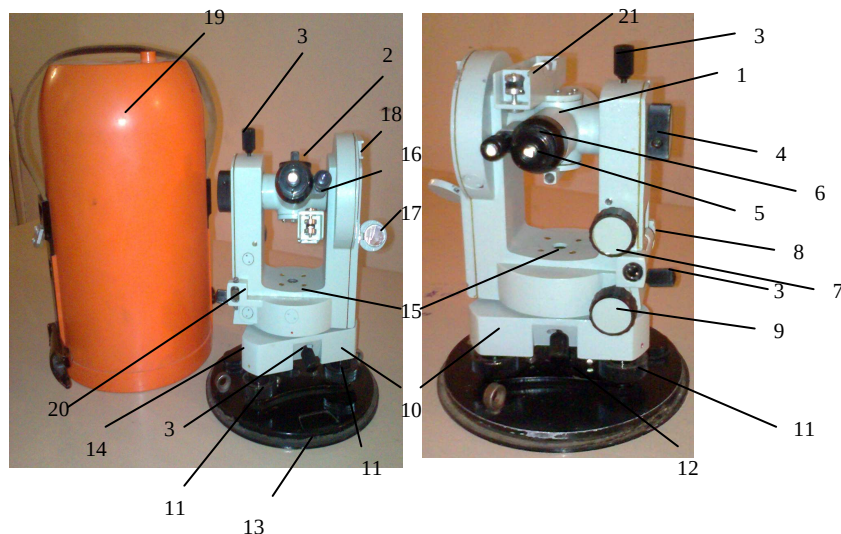


Рис. 3. Теодолит 2Т30

1 – зрительная труба; 2 – оптический визир; 3 – закрепительные винты (ГК, алидады, зрительной трубы); 4 – винт кремальеры; 5 – колпачок; 6 – окуляр; 7 – головка наводящего устройства (по высоте); 8 – цилиндрический уровень; 9 – головка наводящего устройства алидады (по горизонтали); 10 – подставка теодолита; 11 – подъемные винты; 12 – отверстие в дне футляра; 13 – дно упаковочного футляра; 14 – головка наводящего устройства ГК; 15 – отверстие (по направлению полой вертикальной оси теодолита); 16 – микроскоп; 17 – зеркало для подсветки лимбов; 18 – паз для установки ориентир-буссоли; 19 – упаковочный футляр теодолита; 20 – исправительные винты цилиндрического уровня

Зрительная труба 1 переводится через зенит объективом и окуляром. Сетку нитей по глазу устанавливают вращением диоптрийного конца окуляра 6, фокусирование зрительной трубы – вращение кремальеры 4. Исправительные винты сетки нитей находятся под колпачком 5.

Приблизленно от руки зрительную трубу наводят на предмет перекрестием оптического визира 2, расположенного на зрительной трубе 1. Глаз наблюдателя при этом должен располагаться в 20–25 см от визира. После этого закрепляют горизонтальный круг – ГК (расположенный в подставке теодолита), алидаду (расположенную под цилиндрическим уровнем) и трубу закрепительными винтами 3. Обратите внима-

ние: винты, выполняющие одинаковую функцию (в данном случае закрепляют ГК, алидаду, зрительную трубу) имеют одинаковый внешний вид, и расположены у тех частей теодолита, которые они закрепляют или регулируют. Точное наведение зрительной трубы на предмет проводят по азимуту головкой 14 наводящего устройства ГК (на рис. 3 не видно) или головкой 9 наводящего устройства алидады, по высоте – головкой наводящего устройства 7. Подставка теодолита 10 несъемная, жестко с ним связана. Три подъемных винта 11 шарнирно связаны с дном упаковочного футляра 13, который служит основанием теодолита. Такое устройство позволяет закрывать теодолит футляром, не снимая его со штатива. В нижней части одной из колонок установлен цилиндрический уровень 8. Расположение уровня на колонке параллельно коллимационной плоскости прибора вызвано необходимостью контролировать положение теодолита при измерении вертикальных углов. Уровня при алидаде вертикального круга в этом теодолите нет. На другой колонке прибора расположены паз 18 для установки ориентир-буссоли и зеркало 17, предназначенное для освещения делений кругов и передачи их изображения в окуляр отсчетного микроскопа 16.

Теодолит имеет полую вертикальную ось с отверстием 15 и отверстием в дне футляра 12. этим обеспечена возможность центрирования теодолита над точкой при помощи зрительной трубы, устанавливаемой для этого вертикально объективом вниз. Для удобства в работе (чтобы не устанавливать теодолит излишне низко для центрирования) при этом используют окулярную насадку.

1.3. Устройство теодолита 2Т5К

Теодолит 2Т5К изготавливается в двух исполнениях: 2Т5К и 2Т5КП. Теодолит 2Т5КП отличается от 2Т5К только тем, что он снабжен зрительной трубой прямого изображения.

Теодолит снабжен самоустанавливающимся оптическим маятниковым компенсатором, заменяющим уровень при алидаде вертикального круга. Компенсатор обеспечивает автоматическое приведение отсчетного индекса к горизонту при отклонении вертикальной оси теодолита на $\pm 3'$ от отвесного положения. Это позволяет использовать теодолит и для выполнения нивелирных работ.

Теодолит неповторительный. Оптическая отсчетная система двухканальная; одна ветвь передает изображение штрихов с горизонтального круга, другая – с вертикального. Для упрощения вычислений вертикальных углов оцифровка вертикального круга выполнена по секторам от 0° до плюс и минус 75° . Поле зрения отсчетного микроскопа 22 (рис. 4) рассматривают через окуляр 15.

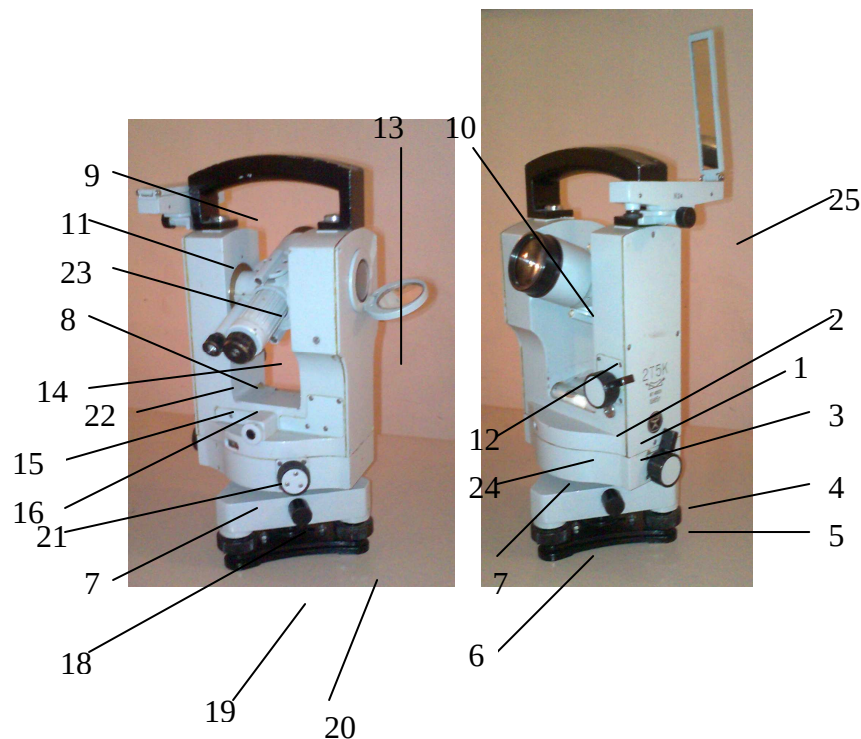


Рис. 4. Теодолит 2Т5К

1 – закрепительное устройство (курок) зрительной трубы; 2 – наводящее устройство зрительной трубы; 3 – юстировочный винт цилиндрического уровня; 4 – закрепительное устройство (курок) алидады горизонтального круга; 5 – наводящее устройство алидады горизонтального круга; 6 – подставка теодолита; 7 – иллюминатор круга-искателя; 8 – колпачок, закрывающий исправительные винты сетки нитей; 9 – переносная ручка теодолита; 10 – зрительная труба; 11 – закрепительные винты переносной ручки теодолита; 12 – клиновое кольцо; 13 – зеркало для подсветки лимбов; 14 – фокусирующее кольцо зрительной трубы; 15 – окуляр отсчетного микроскопа; 16 – окуляр зрительной трубы; 17 – рукоятка для вращения горизонтального круга; 18 – винт для закрепления теодолита в подставке; 19 – втулка для станového винта; 20 – подъемные винты; 21 – окуляр оптического центрира; 22 – отсчетный микроскоп; 23 – оптический визир; 24 – цилиндрический уровень; 25 – ориентир-буссоль

Зрительная труба 10 обоими концами переводится через зенит. Ее фокусируют вращением кольца 14. Окуляр 16 зрительной трубы устанавливается по глазу вращением диоптрийного кольца. Исправительные винты сетки нитей закрыты колпачком 8. Между корпусом трубы и горизонтальной осью расположено клиновое кольцо 12, вращение которого изменяет направление визирной оси зрительной трубы. В центральной части зрительной трубы с обеих сторон установлены оптические визиры 23 для грубой наводки на цель.

Наводящее устройство алидады горизонтального круга имеет головку 5, закрепительное устройство – курок 4. Они соосны. Наводящее устройство зрительной трубы имеет головку 2, закрепительное устройство – курок 1. Они также соосны. Подсветка лимбов осуществляется дневным светом при помощи зеркала 13.

Горизонтальный круг можно вращать рукояткой 17 (при нажатии на нее). При алидаде горизонтального круга имеется цилиндрический уровень 24. Его исправляют при помощи юстировочного винта 3. Подставка теодолита 6 съемная. Теодолит закрепляют в подставке винтом с головкой 18.

Теодолит имеет оптический центрир. Его окуляр 21 устанавливают по глазу вращением диоптрийного кольца. Окулярное кольцо центрира можно продольно перемещать для фокусирования.

Для контроля установки горизонтального круга теодолит имеет круг-искатель. Цена деления круга-искателя 10° . Погрешность установки отсчета при помощи круга-искателя не более $1,5^\circ$. Отсчет по кругу-искателю берут при помощи индексов на иллюминаторах 7. Подъемные винты 20 закрытого типа. Теодолит скрепляют со штативом станovým винтом при помощи втулки 19.

Винтами 11 на колонках теодолита укреплена переносная ручка 9 (теодолит упаковывается в футляр без снятия ручки). На колонке прибора прикрепляется ориентир-буссоль 25, необходимая при измерении магнитных азимутов.

1.4. Отсчетные устройства теодолитов

Отсчетные устройства, применяемые в точных и технических теодолитах, бывают двух типов.

Штриховой микроскоп представляет собой отсчетное устройство, в поле зрения которого (рис. 5,а) видны отсчетный индекс (штрих) 1 и деления лимбов вертикального B и горизонтального G измерительных кругов. Деления нанесены через каждые $10'$ с цифровой каждого градуса. Изображения отчетного индекса и штрихов обоих кругов передано в поле зрения отсчетного микроскопа посредством оптической системы. Отсчеты производят по штриху с округлением до десятых долей деления, оцениваемых на глаз. На рис. 5,а представлено поле зрения микроскопа теодолита Т30 с отсчетами: по горизонтальному кругу – $42^\circ 53'$, по вертикальному – $359^\circ 04'$.

Шкаловой микроскоп имеет отсчетную шкалу, нарезанную на стеклянной пластинке. Изображения делений лимбов вертикального и горизонтального кругов совмещаются с плоскостью шкалы. Конструктивно при совмещенном изображении длина шкалы равна величине изображения одного деления лимба.

На рис. 5,б представлено поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30, имеющего шкалы для вертикального *В* и горизонтального *Г* кругов, разделенных на 60 частей. Цена деления лимба 1° , одно деление шкалы соответствует $5'$. Индексом для производства отсчета служит изображение градусного штриха лимба, совмещенного со шкалой. Доли деления шкалы берут на глаз с точностью до $0,5'$, т.е. до десятых долей делений шкалы. На рис. 5,б отсчеты по горизонтальному кругу равны $111^\circ 35' + 0,5 \times 5' = 111^\circ 37,5'$ и $18^\circ 00' + 0,4 \times 5' = 18^\circ 02,0'$.

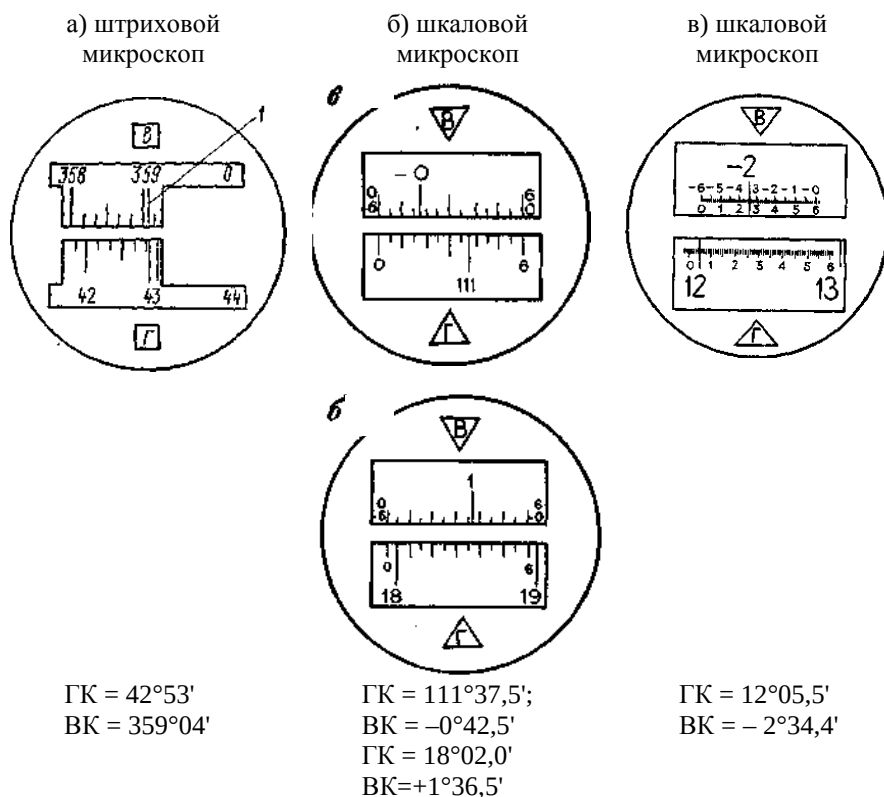


Рис. 5. Поле зрения микроскопа (отсчетного устройства) теодолитов:
а – Т30, 3Т30; б – 2Т30; в – 2Т5К

Шкала вертикального круга имеет два ряда цифр: по верхнему ряду со знаком «+», по нижнему ряду – со знаком «–». Оцифровку подписей по верхнему ряду берут, тогда, когда в пределах шкалы находится штрих лимба со знаком «+», а по нижнему ряду – когда штрих лимба имеет знак «–». Следует учесть, что подписи верхней шкалы вертикального круга возрастают слева направо, нижней – справа налево. На рис. 5,б отсчеты по вертикальному кругу равны $-0^\circ 42,5'$ и $+1^\circ 36,5'$.

На рис. 5,в представлен оптический шкаловой микроскоп теодолита 2Т5К. На шкале нанесено 60 делений, т.е. наименьшее деление составляет $1'$. Индексом при отсчитывании служит штрих деления лимба. Десятые доли минуты оцениваются на глаз. На рис. 5,в отсчет по горизонтальному кругу равен $12^\circ 05,5'$. Вертикальный круг имеет оцифровку как у теодолита 2Т30. в соответствии с этим шкала вертикального круга имеет две оцифровки: от 0 до 6 и от 0 до -6 . Отсчет по вертикальному кругу равен $-2^\circ 34,4'$.

Задание.

1. Запишите названия пронумерованных на рисунках 1, 3 и 4 частей теодолитов.
2. Зарисуйте схему основных осей теодолита и запишите их взаимное расположение.
3. Запишите ответы на следующие вопросы:
 - а) какой винт надо закрепить и какой ослабить, чтобы при вращении верхней части прибора отсчеты по горизонтальному кругу не менялись?
 - б) какими винтами и как надо действовать, чтобы не изменяя положения пузырька уровня, навести средний горизонтальный штрих зрительной трубы теодолита на данную точку местности?
4. Изучите типы отсчетных устройств теодолита, запишите их названия.
5. Возьмите отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам теодолитов, зарисуйте расположение шкал этих кругов, соответствующее произведенным отсчетам.

1.5. Поверки теодолита

Цель задания: закрепить знания, полученные на лекциях, и приобрести навыки выполнения поверок и юстировок теодолита.

Приборы и принадлежности: комплект теодолита.

Проверка взаимной перпендикулярности осей является необходимым и обязательным условием при работе с теодолитом – это и является целью поверки теодолита.

1 Поверка цилиндрического уровня (при алидаде горизонтального круга)

- 1 *Условие поверки* – ось $ZZ \perp u-u$.
- 2 *Выполнение поверки*: приводим теодолит в рабочее положение, разворачиваем теодолит на 180° . Если пузырек уровня остался в нуль-пункте (на середине), то условие выполнено, в противном случае делаем исправление.
- 3 *Исправление*: половину уклонения исправляем подъемным винтом уровня, а оставшуюся половину исправительным (юстировочным) винтом цилиндрического уровня.
- 4 *После исправления поверку повторить*.

2 Поверка сетки нитей

- 1 *Условие поверки* – вертикальная нить сетки нитей должна быть параллельна оси ZZ .
- 2 *Выполнение поверки*: Наводим центр сетки нитей на точку (рис. 6) и, вращая наводящий винт алидады горизонтального круга, наблюдаем за смещением точки по сетке. Если точка осталась на сетке, то условие выполнено.

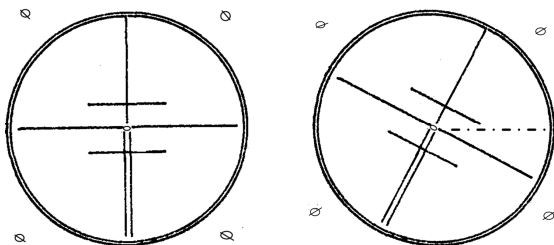


Рис. 6. Сетка нитей: правильное положение (слева); неправильное положение (справа)

3 *Исправление*: снять защитный колпачок сетки нитей, отверткой ослабить (чуть-чуть) четыре крепежных винта окуляра (показаны на рис. 6) и пальцами повернуть окуляр так, чтобы средний штрих сетки расположился горизонтально, т.е. совместился с наблюдаемой точкой. После этого окуляр закрепляют, а защитный колпачок устанавливают на место.

4 *После исправления поверку повторить*.

3 Поверка устойчивости теодолита

- 1 *Условие поверки*: теодолит должен быть устойчив.
- 2 *Выполнение поверки*: вращая теодолит по ходу часовой стрелки, сделать серию наблюдений на точку и сравнить отсчеты по горизонтальному кругу. Повторить такую же серию, вращая теодолит против хода часовой стрелки. Если отсчеты примерно одинаковые, то условие выполнено, т.е. теодолит устойчив. Если отсчеты изменяются в одну и ту же сторону на небольшую величину, то условие выполнено (происходит так называемое влечение лимба).
- 3 *Исправление*: а) проверить устойчивость штатива; б) проверить устойчивость подставки; в) если эти меры не дают желаемого результата, то отправить инструмент в мастерскую.
- 4 *После исправления поверку повторить*

4. Поверка коллимационной погрешности

- 1 *Условие поверки*: визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы $BB \perp TT$.
Если это условие соблюдено, то визирная ось трубы при вращении ее вокруг горизонтальной оси образует коллимационную плоскость. Уклонение визирной оси от ее перпендикулярного положения к своей оси вращения называется коллимационной погрешностью.
- 2 *Выполнение*: взять отсчеты по горизонтальному кругу (при круге лево и круге право) на одну и ту же точку, находящуюся на горизонте. Порядок записи взятия отсчетов и результат вычисления коллимации (2с) приведены ниже.

Таблица 1
Расчет коллимационной погрешности (2с)

№ точки	Круг	Отсчеты	2с=КЛ-КП
1	КЛ	43°56,03′	+3,8′
	КП	223°52,5′	
2	КЛ	87°19,4′	+4,4′
	КП	267°15,0′	
			2с _{ср.} =+4,1′

Если расхождение $2s$ в пределах допуска, то измерения выполнены правильно, т.е. доверяем своим измерениям. Если значение s равно или меньше двойной ошибки отсчетного устройства (для ТЗ0 $t=1'$, 2ТЗ0 $t=0,5'$, $t=0,1'$), т.е. $|s| \leq 2t$, то юстировку проводить не требуется.

3 *Исправление:* снять колпачок, закрывающий доступ к юстировочным винтам сетки нитей (рис. 7).

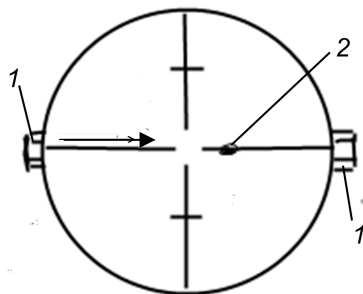


Рис. 7. Сетка нитей с юстировочными винтами
1 – юстировочные винты; 2 – наблюдаемая точка

Вычислить средний отсчет $(КЛ+КП)/2 = [(87^{\circ}19,4' + 180^{\circ}) + 267^{\circ}15,0']/2 = 267^{\circ}17,2'$. Наводящим винтом алидады горизонтального круга поставить этот средний отсчет (при КП). В этом случае перекрестие сетки нитей сойдет с наблюдаемой точки. Ослабив один из вертикальных винтов, действуя двумя боковыми (горизонтальными) исправительными винтами с помощью шпильки передвигают сетку нитей на точку.

4 *После исправления поверку повторить.*

5 Поверка неравенства колонки

1 *Условие проверки:* ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярной оси вращения инструмента $TT \perp ZZ$.

2 *Выполнение:* теодолит устанавливают на расстоянии 10...20 м от стены, выбирают или отмечают на стене точку M (или укрепляют марку) под углом $25...30^{\circ}$ к горизонту (рис. 8). Наводят на эту точку зрительную трубу и при КЛ и КП проектируют точку M вниз – на горизонт. Если проектируемые точки m_1 и m_2 совпадают, или расстояние между ними не превышает две ширины бисектора сетки нитей, то условие проверки выполнено.

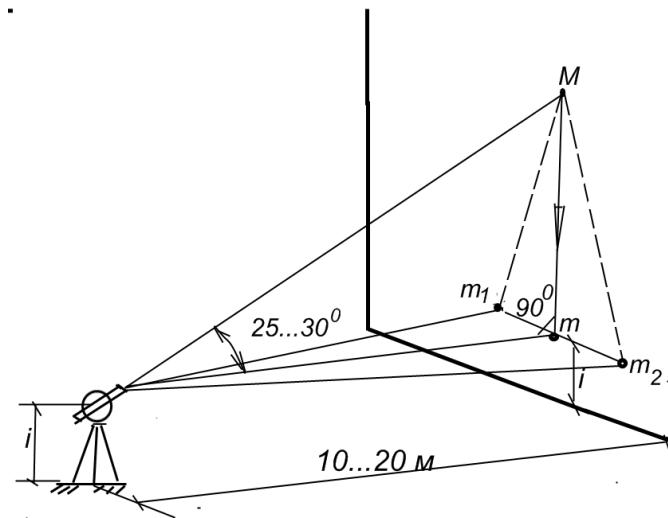


Рис. 8. Схема выполнения проверки неравенства колонки

3 *Исправление:* Если неравенство колонки большое, то теодолит отправляют в мастерскую.

4 *После мастерской поверку повторяют.*

6. Поверка места нуля вертикального круга

1 *Условие:* нуль вертикального круга (отсчет равный 0°) должен находиться на горизонтальной линии, соединяющей 0° , центр лимба вертикального круга и 180° (рис. 9).

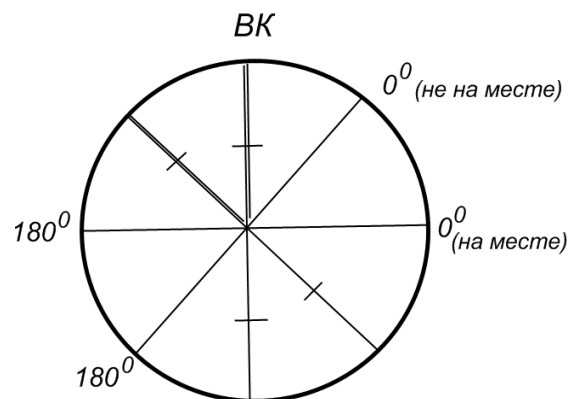


Рис. 9. Сетка нитей при определении места нуля (МО) вертикального круга

2 *Выполнение:* на любую точку взять два отсчета при КЛ и КП по вертикальному кругу и вычислить место нуля (МО). В общем виде формула имеет вид:

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2}, \quad (1)$$

где *КЛ* – отсчет при круге лево; *КП* – отсчет при круге право

Таблица 2

Расчет места нуля вертикального круга (МО) и угла наклона ν

№ точки	Круг	Отсчеты	МО	Угол наклона, ν
1	КЛ	27°35,2′	+1,4′	27°33,8′
	КП	152°27,6′		
2	КЛ	352°45,2′	+1,6′	-7°46,8′
	КП	187°48,4′		

Если вместо значения $МО = 0^0$ получена маленькая величина, т.е. близкая к 0^0 , то условие выполнено, а если величина большая, то нужно исправлять.

3 *Исправление:* 1) поставить правильный отсчет с помощью винта контактного цилиндрического уровня при вертикальном круге. Тогда уровень выйдет из контакта. 2) исправительными винтами уровня приводим пузырек в контакт.

4 *После исправления поверку повторить.*

Все проверки выполнять строго по порядку

Задание.

1. *Зарисуйте схему осей теодолита и напишите названия и определения этих осей.*

2. *Проведите проверки и юстировки теодолита и опишите порядок действий при их выполнении.*

Пояснения к заданию: описание проверок должно быть кратким, сопровождаться необходимыми схематическими рисунками и записями полученных результатов (значениями отклонений пузырька уровня от нуля-пункта, отсчетами по горизонтальному и вертикальному кругам, величиной коллимационной погрешности, величиной несовпадения проекций высоко расположенной точки и отклонениями точки от вертикального штриха).

1.6. Контрольные вопросы

1. Назовите типы теодолитов, известные Вам.
2. Назовите основные части теодолита 2Т30.
3. Назовите основные части теодолита 2Т5К.
4. Как осуществляют фокусировку наблюдаемого предмета?
5. Как производят отсчеты по штриховому и шкаловому микроскопам?
6. Сформулируйте геометрические условия, которым должно отвечать взаимное расположение осей теодолита.
7. В чем состоят проверки оптических теодолитов и как устраняют обнаруженные погрешности?
8. Что такое место нуля вертикального круга и как его исправить?
9. Как образовывается коллимационная плоскость? Какое положение она должна занимать при вращении трубы теодолита?

2. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ ТЕОДОЛИТОМ

Цель задания: освоить методику измерения горизонтальных и вертикальных углов, и обработки полученных результатов, приобрести начальные навыки измерения углов.

Приборы и принадлежности: комплект теодолита, визирные цели, журнал измерения горизонтальных углов, журнал измерения вертикальных углов.

2.1. Принцип измерения горизонтального и вертикального углов

Горизонтальный угол β – это ортогональная проекция пространственного угла BAC на горизонтальную плоскость M (рис. 10,а).

Вертикальный угол ν , или угол наклона ν , – это угол, заключенный между наклонной (AB) и горизонтальной линиями (рис. 10,б).

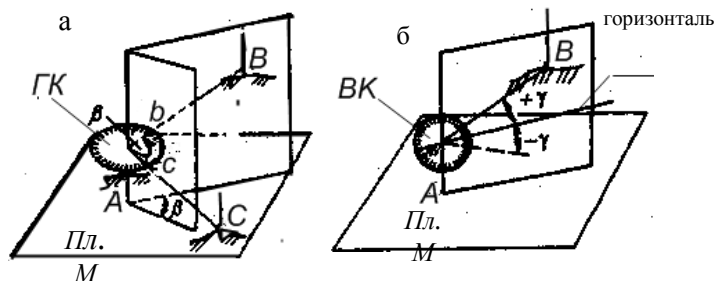


Рис. 10. Принцип измерения горизонтального (а) и вертикального (б) угла

Принцип измерения горизонтального угла заключается в следующем. В вершине измеряемого угла BAC (точка A на рис. 10,а) устанавливают теодолит. Его центрируют (т.е. центр горизонтального круга – ГК располагается точно над точкой A) и горизонтируют (выводят на середину пузырек цилиндрического уровня, при этом ГК занимает горизонтальное положение). Проекции направлений AB и AC , угол между которыми измеряют, пересекут шкалу ГК по отсчетам (делениям) b и c . Разность этих отсчетов дает величину измеряемого угла $\beta = c - b$.

Вертикальный угол измеряют по вертикальному кругу (см. рис. 10,б) аналогичным образом, но одним из направлений служит фиксированная горизонтальная линия. Из рисунка видно, что если наблюдаемая точка расположена выше горизонта, вертикальный угол (ν) положителен, если ниже – отрицателен ($-\nu$).

2.2. Установка теодолита

Установка теодолита в рабочее положение включает центрирование, горизонтирование (нивелирование), установку зрительной трубы и отсчетного микроскопа по глазу, ориентирование по выбранному направлению.

Под *центрированием* понимают установку вертикальной оси теодолита, проходящей через центр лимба на одной отвесной прямой с вершиной угла. Центрирование выполняют по нитяному отвесу, либо с помощью оптического центрира.

Центрирование теодолита над точкой начинается с установки над ней штатива, головке которого должно быть придано горизонтальное положение (выполняется на глаз). Установив нарезку подъемных винтов в среднее положение, поставим теодолит на головку штатива, закрепим его становым винтом, наденем на его крючок нитку с отвесом и установим ее длину, удобную для работы. Дав отвесу успокоиться, освободим слегка становой винт и будем перемещать теодолит по поверхности головки штатива, осуществляя предварительное центрирование теодолита. Если у теодолита подставка съемная, то предварительное центрирование следует произвести с одной лишь подставкой. Окончательное центрирование теодолита с точностью 2...3 мм выполняется после приведения теодолита в рабочее положение.

Горизонтирование (нивелирование) теодолита – установку его вертикальной оси в отвесное положение – проводят по уровню при алидаде горизонтального круга. Для этого цилиндрический уровень поворотом алидады располагают по направлению двух подъемных винтов и вращением их приводят пузырек на середину, после чего поворачивают алидаду примерно на 90° по направлению третьего винта. Действуя этим винтом, приводят пузырек опять на середину. Правильность установки проверяют поворотом алидады 2–3 раза, при этом пузырек уровня горизонтального круга должен при всех положениях алидады находиться на середине.

Установка зрительной трубы по глазу имеет целью получение в поле зрения трубы резкого и отчетливого изображения сетки нитей и наблюдаемого объекта. Первое производят вращением диоптрийного кольца окуляра, второе осуществляется вращением кремальеры.

Установка отсчетного микроскопа по глазу необходима для получения отчетливого изображения делений на лимбах горизонтального и вертикального кругов. Необходимая яркость изображения достигается вращением зеркала подсветки и диоптрийного кольца микроскопа.

Ориентирование заключается в наведении зрительной трубы на выбранную точку и получении при этом заранее заданного отсчета по горизонтальному кругу лимба. Ориентирование лимба проводится не всегда. После установки теодолита в рабочее положение приступают к измерению углов.

2.3. Измерение горизонтальных углов

Для измерения горизонтального угла, оформленного на местности точками и установленными на них вехами (см. рис. 10,а), предварительно выполняется следующее:

1. Теодолит устанавливается в вершине измеряемого угла и центрируется над точкой с помощью нитяного отвеса или оптического центрира;
2. Теодолит приводится в рабочее положение (выполняется его горизонтирование – пузырек цилиндрического уровня приводится в нуль-пункт подъемными винтами, и окончательное центрирование);
3. Зрительная труба устанавливается по глазу и по предмету (выполняется при каждом визировании).

Аналогичные действия выполняются и при наличии у теодолита оптического центрира.

При измерении горизонтальных углов наведение перекрестия сетки нитей необходимо выполнять как можно ниже к земле (рис. 11). Если при наведении на точку мешает трава, то ее необходимо примять к земле. Вертикальный штрих сетки нитей зрительной трубы теодолита наводят на веху, затем пересечение сетки нитей опускают вниз. Необходимо учитывать, что наведение перекрестия сетки нитей должно осуществляться строго на одну точку и при повторном наведении (на один угол колышка). Иначе результаты измерений не будут соответствовать требованиям их точности.

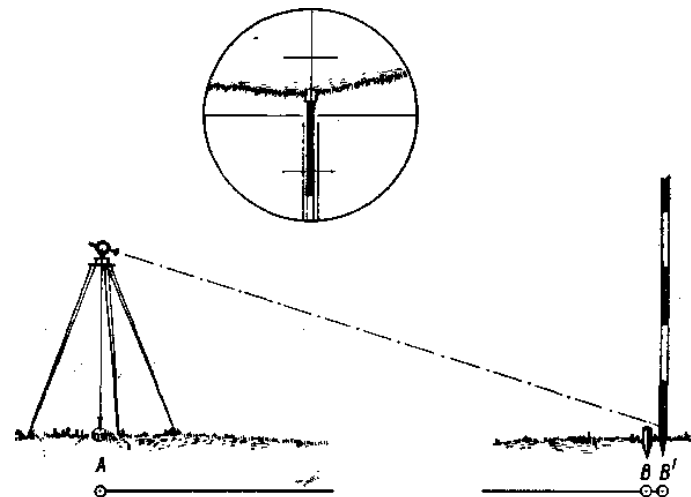


Рис. 11. Установка теодолита и вехи при измерениях

Измерение углов производят способами приемов, повторений и круговых приемов.

Способ приемов

1. Устанавливают теодолит в вершине измеряемого угла. Приводят его в рабочее положение. Первоначально определяют угол на глаз (см. рис. 10,а).
2. Делают несколько оборотов теодолитом по ходу часовой стрелки. Закрепляют лимб горизонтального круга при произвольном его ориентировании.
3. Вращением алидады наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы на нижнюю часть левой вехи (на точку B) как можно ниже к земле; вертикальный штрих наводят строго вдоль вешки (см. рис. 11). Закрепляют алидаду и зрительную трубу.
4. Берут и записывают отсчет по горизонтальному кругу (ГК) n_1 (табл. 3).
5. Открепив алидаду, зрительную трубу, наводят перекрестие сетки нитей на нижнюю часть правой вехи (точку C).

6. Закрепляют алидаду, зрительную трубу, берут и записывают второй отсчет n_2 .

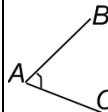
7. Вычисляют коллимационную погрешность $2c$ и угол из первого полуприема: $\beta = n_2 - n_1$.

8. Ослабив закрепительное устройство горизонтального круга, не открепляя алидаду, поворачивают его совместно с алидадой примерно на 180° (в пределах $180 \pm 4^\circ$) и закрепляют в этом положении.

9. Переводят зрительную трубу через зенит, поворачивая теодолит в другую сторону, открепляют алидаду и зрительную трубу и повторяют в той же последовательности действия, изложенные в пунктах 3–7.

Таблица 3

Теодолитный журнал

Станция	Прием	Круг	Точки	Отсчеты ГК	2C=Л- П	Угол	Средний угол	Схема угла
т.А	I	КЛ	В	39°16,2'	+1,2	77°52,2'	77°52,3'	
			С	117°08,4'	+1,0			
		КП	В	219°15,0'	77°52,4'			
			С	297°07,4'				
	II	КЛ	В	123°50,3'	+0,9	77°52,3'	77°52,2'	
			С	201°42,6'	+1,1			
		КП	В	303°49,4'	77°52,1'			
			С	21°41,5'				

Если при вычислении окажется, что отсчет $n_2 < n_1$ необходимо к отсчету n_2 прибавить 360° . Расхождение между измеренными величинами углов не должно превышать двух точностей ($2t$) прибора. Только в этом случае находят значение угла β как среднее между полуприемами. Для повышения точности измерения угол измеряют несколькими приемами. Способ приемов наиболее распространен в практике инженерной геодезии.

Задание.

1. Кратко опишите последовательность действий при установке теодолита в рабочее положение.

2. Измерьте горизонтальный угол способом приемов с записью результатов в журнал, обработайте результаты измерений и составьте схему измерений.

2.4. Измерение вертикальных углов

Вертикальные углы (углы наклона) определяются по вертикальному кругу теодолита и необходимы для определения превышений между точками земной поверхности. Измерение вертикальных углов, так же как и горизонтальных начинается с установки прибора в рабочее положение. Теодолиты ТЗ0, 2ТЗ0, 2Т5К не имеют уровня при вертикальном круге, поэтому перед взятием отсчета следят, чтобы пузырек уровня при алидаде горизонтального круга был в нуль-пункте.

Объектом наведения при измерении вертикальных углов служит верх вехи. При выполнении тахеометрической съемки (съемки реечных точек) – перекрестие сетки нитей зрительной трубы наводят на рейку, где отмечена величина высоты инструмента.

Для получения величины угла наклона необходимо знать место нуля вертикального круга – $МО$ (рис. 12). Местом нуля называют отсчет по лимбу вертикального круга, когда визирная ось зрительной трубы горизонтальна. При хорошо отъюстированном приборе место нуля должно быть близким к 0° . Но практически $МО$ отличается от нулевого отсчета на некоторую величину, которую надо учитывать при определении угла наклона ν .

Порядок измерения вертикальных углов следующий:

1. Навести перекрестие сетки нитей на точку.
2. Привести уровень при вертикальном круге в контакт (если таковой имеется на трубе теодолита).
3. Взять отсчет по вертикальному кругу при КЛ.
4. Перевернуть трубу через зенит и вновь навести перекрестие сетки нитей на точку, также как и при КЛ.
5. Привести уровень в контакт (см. п. 2).
6. Взять отсчет по вертикальному кругу при КП.
7. Вычислить место нуля $МО$ по формуле (1), оценить его постоянство, только в этом случае трижды вычислить угол наклона.
8. Если $МО$ резко отклонилось, то угол необходимо перемерить.

Таблица 4

Вычисление угла наклона γ

Круг	Отсчет по ВК	МО	Угол наклона γ
КЛ	+2°37',6	+2',6	+2°35',0
КП	-2°32',4		

Контролем качества измерения γ служит постоянство МО. Колебания его величины не должно превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита ($2t$).

Задание.

1. Определите место нуля вертикального круга и измерьте углы наклона на две точки. Результаты запишите в журнал измерений вертикальных углов и обработайте их.

2.5. Контрольные вопросы

1. Опишите порядок установки теодолита в рабочее положение.
2. В чем заключается принцип измерения вертикального и горизонтального угла?
3. Порядок измерения горизонтального угла.
4. Обязательно ли, чтобы при измерении горизонтального угла лимб горизонтального круга (ГК) был закреплен? Какими винтами закрепляют лимб ГК, какими алидаду ГК?
5. Порядок измерения вертикального угла.
6. Кроме изучаемых углов наклона к вертикальным углам относятся зенитные расстояния. Охарактеризуйте принцип измерения зенитных расстояний (см. лекцию «Измерение углов теодолитом»).
7. По каким формулам вычисляется вертикальный угол?
8. В чем смысл определения места нуля вертикального круга (МО) при измерении углов наклона? Нужно ли определять МО при измерении горизонтальных углов?

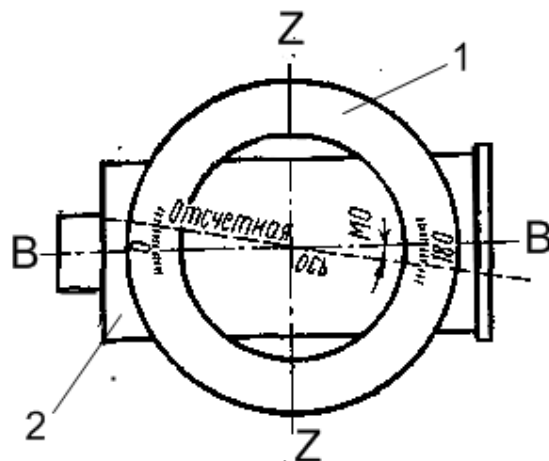


Рис. 12. Место нуля (МО) вертикального круга
1 – вертикальный круг; 2 – зрительная труба

Расчетные формулы по определению МО и вертикальных углов обычно приводятся в паспорте теодолита и зависят от типа оцифровки и основного положения вертикального круга – право (КП) или лево (КЛ). Основное положение вертикального круга определяется следующим образом: трубу теодолита, например, при круге лево (КЛ), поднимают вверх от ее горизонтального положения; если при этом отсчеты по вертикальному кругу будут положительными, следовательно, это основное положение вертикального круга.

Практика показала, что независимо от марки теодолита вычисленные значения вертикального угла возможно тремя способами:

1. к меньшему отсчету прибавить МО;
2. от большего отсчета отнять МО;
3. знак и градусы взять при КЛ, а минуты средние между КЛ и КП.

Пример вычисления приведен в табл. 4.

3. ИЗУЧЕНИЕ УСТРОЙСТВА НИВЕЛИРА И ЕГО ПОВЕРКИ

3.1. Нивелиры, их основные части и назначение

Цель задания: изучить названия основных частей прибора, освоить их взаимодействие научиться брать отсчеты по рейке.

Пособия и принадлежности: нивелиры, нивелирная рейка, рабочая тетрадь.

Геодетические измерения, в результате которых получают превышения и отметки высот точек, называют вертикальной съемкой – нивелированием.

Н и в е л и р – геодезический прибор, обеспечивающий при работе горизонтальную линию визирования. Он представляет собой сочетание зрительной трубы либо с цилиндрическим уровнем, либо с компенсатором. И уровень, и компенсатор служат для приведения зрительной трубы в горизонтальное положение.

По точности нивелиры разделяются на:

1. технические нивелиры Н10 (НТ и НТСК) Н10Л, Н10КЛ для технического нивелирования;
2. точные нивелиры НЗ (2НЗ и 2НЗК), НВ1, НЗК применяются в нивелировании сетей III и IV классов;
3. высокоточные нивелиры Н1, Н2, Н05 для нивелирования сетей I и II классов.

Цифры, следующие за буквой Н, указывают точность нивелира в мм (среднюю квадратическую погрешность на 1 км двойного хода).

Принципиальная схема нивелира и его оси приведена на рис. 13. Отдельно оси нивелира показаны на рис. 14.

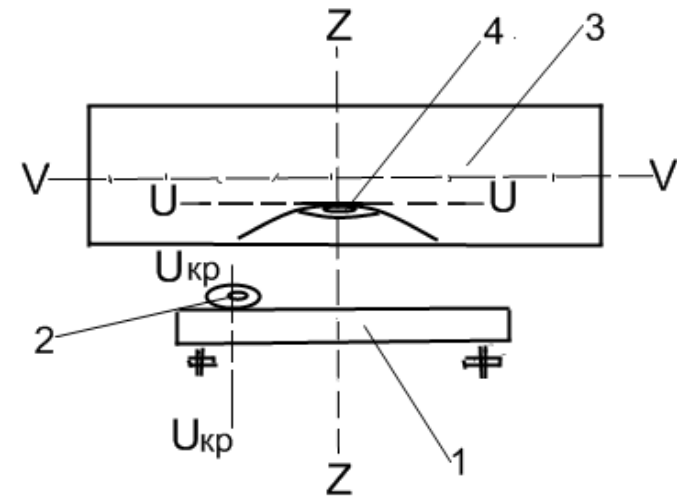


Рис. 13. Принципиальная схема нивелира и его основные оси
1 – подставка с тремя подъемными винтами; 2 – круглый уровень;
3 – зрительная труба; 4 – цилиндрический контактный уровень

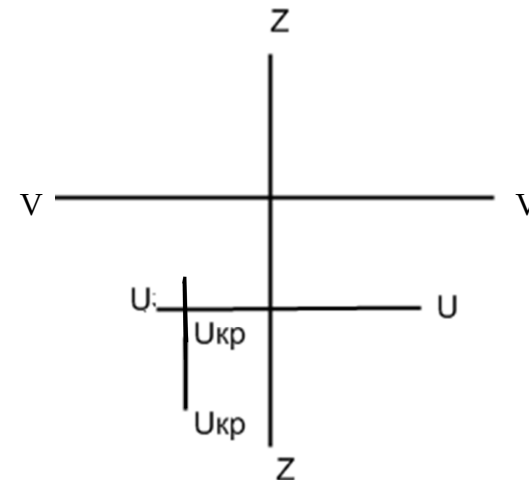


Рис. 14. Основные оси нивелира

ZZ – ось вращения инструмента;
VV – визирная ось зрительной трубы;
UU – ось цилиндрического контактного уровня;
UкрUкр – ось круглого уровня

Взаимное расположение осей нивелира строго определено:
 $u_{кр}u_{кр} // ZZ$; $uu // VV$.

3.2. Устройство нивелира НЗ

Нивелир НЗ и его поле зрения приведены на рис. 15 и 16. Точный нивелир НЗ используется для III и IV классов нивелирования.

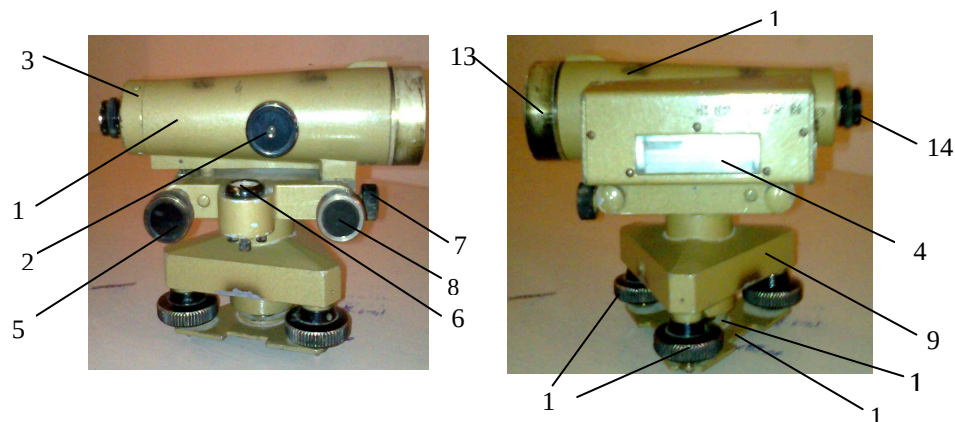


Рис. 15. Нивелир НЗ

1 – зрительная труба; 2 – фокусирующая кремальера; 3 – крышка; 4 – контактный цилиндрический уровень; 5 – элевационный винт; 6 – круглый уровень; 7 – закрепительный винт трубы; 8 – наводящее устройство зрительной трубы; 9 – подставка нивелира; 10 – подъемные винты; 11 – пластина; 12 – втулка; 13, 14 – объектив и окуляр зрительной трубы.

Зрительная труба 1 прибора, дающая перевернутое изображение, имеет внутреннюю фокусировку, осуществляемую винтом кремальеры 2. За крышкой 3 расположена сетка нитей. С левой стороны трубы укреплена коробка, в которой размещены контактный цилиндрический уровень 4 и система призм (внутри прибора), делящая изображение пузырька уровня пополам по продольной оси ампулы и передающая изображения противоположных концов пузырька в поле зрения трубы. При совмещенных изображениях концов пузырька 1 (рис. 16) ось уровня устанавливается горизонтально. Точное совмещение изображений концов пузырька цилиндрического уровня перед взятием отсчета по рейке производят с помощью элевационного винта 5 (см. рис. 15). Для предварительной установки оси прибора в рабочее положение служит круглый уровень 6. С помощью элевационного винта 5 производят точную уста-

новку визирной оси трубы в горизонтальное положение, совмещая изображения концов пузырька цилиндрического уровня

Закрепление положения зрительной трубы осуществляют закрепительным винтом 7; для точного наведения трубы на рейку служит наводящее устройство 8. Подставка нивелира 9 имеет три подъемных винта 10. В центральной части пластины 11 укреплена втулка 12 с резьбой, в которую ввинчивается становой винт, соединяющий нивелир со штативом.

На рис. 16 представлено поле зрения трубы нивелира в момент отсчета. Сетка нитей прибора состоит из трех горизонтальных и одной вертикальной нитей. Короткие штрихи 2 крайних горизонтальных нитей – дальномерные. Основная рабочая нить – средняя 3. В нашем примере отсчет по средней нити равен 1250.

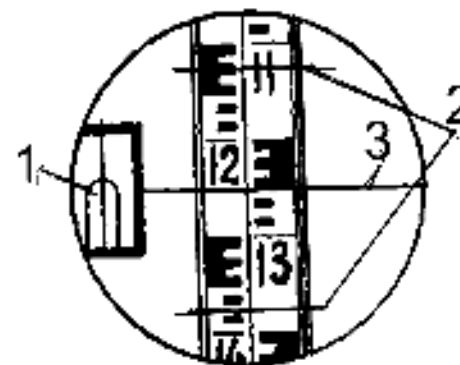


Рис. 16. Поле зрения трубы нивелира

1 – окно с изображением противоположных концов пузырька контактного цилиндрического уровня; 2 – дальномерные штрихи; 3 – основной горизонтальный штрих

3.3. Устройство нивелира НВ-1

Аналогично устройству нивелира НЗ выполнен точный нивелир **НВ-1**. Контактный цилиндрический уровень 4 (см. рис. 15) оснащен зеркалом для подсветки изображения противоположных концов пузырька уровня в поле зрения трубы нивелира. Изображение в поле зрения трубы перевернутое. В работе используется также как нивелир НЗ.

3.4. Устройство нивелира 2Н10Л

Технический нивелир 2Н10Л используется для технического нивелирования. Зрительная труба 1 (рис. 17) с объективом 2 и окуляром 3 с левой стороны имеет прилив, в котором расположены контактный цилиндрический уровень 4 и призматическое устройство, передающее изображение концов пузырька уровня в поле зрения трубы. В приливе имеется крышка 5, закрывающая четыре исправительных винта уровня.

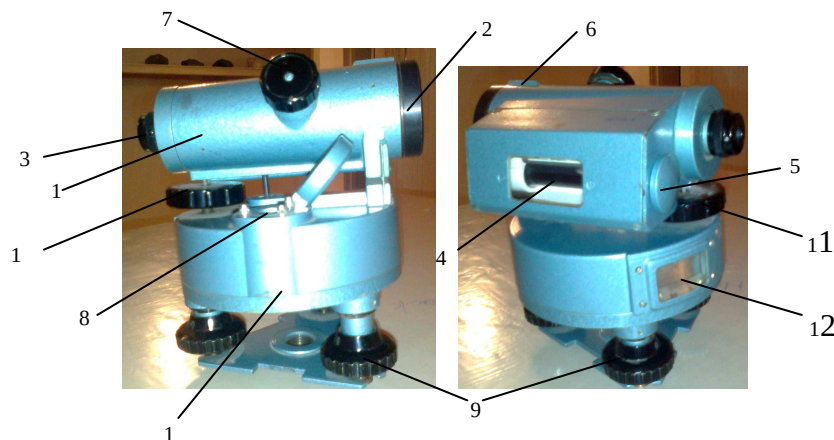


Рис. 17. Нивелир 2Н10Л

1 – зрительная труба; 2 – объектив; 3 – окуляр; 4 – контактный цилиндрический уровень; 5 – крышка, закрывающая четыре исправительных винта уровня; 6 – мушка для визирования зрительной трубы; 7 – фокусирующий винт – кремальера; 8 – круглый уровень; 9 – подъемные винты; 10 – подставка; 11 – элевационный винт; 12 – окно горизонтального круга

Для визирования корпус зрительной трубы имеет удлиненную мушку 6. Фокусирование по глазу зрительной трубы осуществляется винтом 7.

В рабочее положение нивелир приводится по круглому уровню 8, который находится справа от зрительной трубы и виден со стороны окуляра 3 через зеркало в крышке уровня. Круглый уровень приводится в середину при помощи трех подъемных винтов 9, скрепленных с подставкой 10.

Точная установка визирной оси в горизонтальное положение осуществляется элевационным винтом 11. У прибора нет закрепительного и наводящего устройств, наведение на рейку производят от руки. В нижней вращающейся части прибора расположен горизонтальный металлический круг. Горизонтальный круг рассматривают через окно 12 во вращающейся части нивелира. Отсчет по горизонтальному кругу снимают по индексу. Круг разделен на градусные деления, которые оцифрованы через 10^0 . Отсчеты можно брать с точностью $0,2^0$, разделяя градус на глаз. Наличие горизонтального круга удобно при использовании нивелира на строительной площадке при разбивке сооружения.

3.5. Нивелир DSC 432 Geolevel

Данный нивелир относится к классу точных нивелиров, имеет компенсатор и горизонтальный круг.

В нивелирах с компенсатором (Н-ЗК) цилиндрический уровень отсутствует, вместо него внутри трубы нивелира помещено устройство (компенсатор), с помощью которого визирная ось автоматически приводится в горизонтальное положение. В результате при нивелировании отпадает необходимость приведения пузырька уровня прибора в нуль-пункт и наблюдения за положением пузырька уровня при отсчете по рейке. Это повышает производительность работы, а также дает возможность производить нивелирование на зыбких грунтах. Вместе с тем компенсаторные нивелиры весьма чувствительны к воздействию вибрации. В качестве компенсаторов в нивелирах используют элементы, положение которых связано с направлением силы тяжести: маятник или свободная поверхность жидкости. Ось свободно подвешенного маятника всегда совпадает с направлением отвесной линии. Свободная поверхность жидкости всегда устанавливается перпендикулярно к отвесной линии. Используя эти свойства, можно воздействовать на изменение положения визирной оси непосредственно или при помощи дополнительных оптических или оптико-механических приспособлений.

Нивелир DSC 432 Geolevel китайского производства содержит оптико-механический компенсатор, чувствительным элементом которого служит прямоугольная призма, подвешенная на шарикоподшипниковой подвеске (элементы расположены внутри прибора).

Изображение в поле зрения зрительной трубы 1 (рис. 18) прямое. Поэтому при нивелировании используют рейки с прямым изображением (рис. 19,б). Зрительная труба нивелира имеет объектив 2, фокусирующее устройство, перемещающееся винтом кремальеры 3, сетку нитей и окуляр 4. Внутри трубы между фокусирующей линзой и сеткой нитей рас-

положен призмный компенсатор, состоящий из двух прямоугольных призм. Ошибка самоустановки визирной линии в горизонтальное положение $\pm 0,4''$.

Закрепительное устройство у прибора отсутствует. Вертикальная ось нивелира имеет такое трение, что при вращении головки наводящего устройства 5 зрительная труба медленно поворачивается по азимуту. Однако при наводке зрительной трубы на рейку от руки зрительная труба вращается легко и устанавливается в нужное положение надежно. Наводящее устройство имеет винт с бесконечной подачей.

Прибор устанавливается в горизонтальное положение тремя подъемными винтами 6 по круглому уровню 7, расположенному с левой стороны нивелира. Уровень имеет отражатель – зеркало 8 и исправительные винты 9.

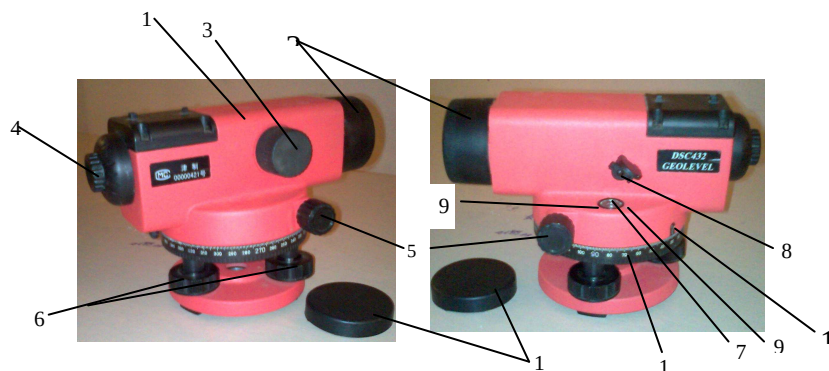


Рис. 18. Нивелир DSC 432 Geolevel

1 – зрительная труба; 2 – объектив; 3 – фокусирующее устройство; 4 – окуляр; 5 – наводящее устройство; 6 – подъемные винты; 7 – круглый уровень; 8 – отражатель-зеркало; 9 – исправительные винты круглого уровня; 10 – горизонтальный круг; 11 – отсчетный индекс; 12 – крышка для объектива.

Нивелир снабжен горизонтальным кругом 10. Отсчет по горизонтальному кругу снимают по индексу 11. Круг разделен на градусные деления, которые оцифрованы через 10^0 . При транспортировке необходимо закрывать объектив зрительной трубы крышкой 12.

3.6. Нивелирные рейки

Нивелирные рейки (РН) представляют собой деревянные бруски, изготовленные из древесины отборного сорта, длиной 1,5 м, 3 или 4 м и толщиной 2...3 см (рис. 19). Допускается изготовление реек из пластмасс, металла и других материалов, обеспечивающих выполнение требований, которым должна удовлетворять рейка.

На рейке наносят шашечные деления величиной в 1 см и арабскими цифрами подписывают значения дециметров. Начало каждого десятого деления обозначают черточками. Чтобы рейки не корбились, изготавливают их двутаврового сечения. Для прочности концы оковывают железом. Счет делений ведут от нижнего конца (пятки) рейки. В зависимости от того, какое изображение дает зрительная труба нивелира (прямое или обратное), применяют рейки с прямой или перевернутой оцифровкой шкал. Отсчеты по рейке снимают в **миллиметрах**.

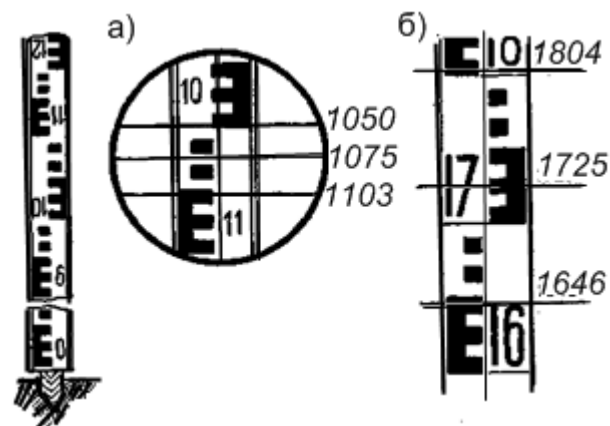


Рис. 19. Отсчеты по рейке с обратным (а) и прямым (б) изображением

Рейки могут быть односторонними и двухсторонними. На черной стороне рейки счет дециметровых делений ведут от 0, совпадающего с пяткой рейки, до 29 (рис. 20).

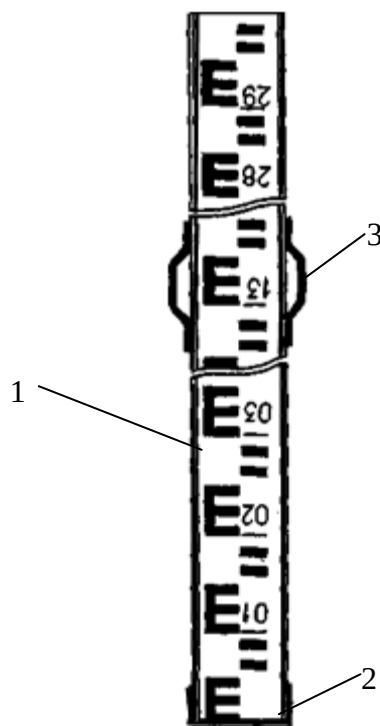


Рис. 20. Черная сторона нивелирной рейки

1 – нивелирная рейка; 2 – пятка рейки; 3 – ручка для установки рейки

На красной стороне начальный отсчет выражается произвольным числом, например 4687 мм, 4787, 4600, или 4700, а дециметровые деления оцифрованы соответственно 47 до 76. В результате разность отсчетов по двум сторонам рейки является постоянной величиной. Использование черной и красной сторон позволяет контролировать процесс нивелирования и повышать точность определения превышений.

Задание.

1. Дать описание частей нивелира, приведенных на рисунках 15, 17 и 18.

2. Произвести отсчеты по нивелирной рейке по среднему и дальнему штрихам.

Пояснение к заданию. В рабочей тетради перечисляют основные части прибора и основные оси нивелира. Нужно знать назначение этих частей. Необходимо знать, как перемещается визирная ось при вращении элевационного и наводящего винтов.

Выполняя пункт 2, нужно научиться приводить нивелир в рабочее положение. Устанавливают на штативе нивелир и на расстоянии от него рейку. С помощью подъемных винтов приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт. Вращая окуляр, добиваются четкого изображения штрихов сетки, наводят зрительную трубу на рейку и, вращая винт фокусировки, добиваются резкого изображения предмета. Далее, вращая элевационный винт (для нивелиров с цилиндрическим уровнем), добиваются совмещения изображения концов пузырька контактного цилиндрического уровня и берут отсчет по рейке с точностью до мм.

3.7. Поверки нивелира

Цель задания: изучить поверки нивелиров с цилиндрическим уровнем и компенсатором.

Пособия и принадлежности: нивелирные комплекты нивелиров (сам нивелир, штатив, нивелирная рейка), рабочая тетрадь.

В процессе проверок контролируют правильность взаимного расположения осей и частей нивелира. Если обнаруживают несоответствие, его устраняют посредством юстировки (исправления). Перед началом проверок нивелир устанавливают на штативе.

Перед выездом на полевые работы необходимо убедиться в полной исправности нивелира. Его осматривают и выполняют поверки.

1 Поверка круглого уровня

1 *Условие поверки:* Вертикальная ось нивелира должна быть отвесна. Это условие достигается при помощи подъемных винтов и наблюдением за положением круглого уровня.

Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения инструмента – $u_{кр}u_{кр}/ZZ$.

2 *Выполнение поверки:* поставить круглый уровень по направлению одного подъемного винта. Привести уровень в нуль-пункт всеми 3-мя подъемными винтами. Развернуть нивелир на 180° . Если пузырек остался в нуль-пункте, то условие выполнено.

3 *Исправление:* половину отклонения пузырька исправить 3-мя подъемными винтами, а оставшуюся часть исправительными винтами самого уровня (нюанс – при большом отклонении пузырька надо предварительно освободить крепежный винт уровня).

4 *После исправления поверку повторить.*

2 Проверка сетки нитей (выполняют как у теодолита)

1 *Условие проверки:* Сетка нитей должна быть расположена так, чтобы ее вертикальный штрих был параллелен оси вращения прибора ZZ, а горизонтальный основной штрих – перпендикулярен к этой оси.

2 *Выполнение проверки:* в 20...30 м от нивелира устанавливают рейку. Наводят зрительную трубу нивелира на рейку таким образом, чтобы изображение рейки расположилось у края поля зрения трубы, и берут отсчет по горизонтальному основному штриху сетки. Затем зрительную трубу поворачивают наводящим винтом так, чтобы изображение рейки переместилось в другой край поля зрения. Если отсчет по рейке не изменяется, условие выполнено.

3 *Исправление:* сетку нитей следует повернуть до нужного положения. В нивелире Н-3 для этого снимают окуляр и поворачивают сетку за счет эллиптичности отверстий для винтов, скрепляющих сетку с корпусом трубы. В нивелире Н-10Л поворачивают окуляр вместе с сеткой, предварительно ослабив винты.

4 После исправления проверку повторить.

3 Проверка главного условия

1 *Условие проверки:* Ось цилиндрического контактного уровня должна быть параллельна оси зрительной трубы uu'/VV' , т.е. ось зрительной трубы должна быть горизонтальна.

2 *Выполнение проверки:* производится двойным нивелированием. На расстоянии 50...70 м забивается 2 колышка. Над первым ставится нивелир таким образом, чтобы окуляр и точка A лежали на одной отвесной линии (рис. 20,а). Измеряется высота инструмента i рулеткой (возможно по рейке). На второй колышек – точка B ставится рейка. Производится отсчет по рейке, т.е. производится нивелирование «вперед». При не параллельности оси уровня и визирной оси отсчет по рейке C_1 будет ошибочен на величину x и превышение равно:

$$h = i_1 - (c_1 + x) \quad (2)$$

Затем меняют местами нивелир и рейку и вновь производят нивелирование «вперед». В этом случае превышение равно:

$$h = (c_2 + x) - i_2 \quad (3)$$

Приравняв правые части (2) и (3), получим величину x ошибки за не параллельность осей уровня и визирной:

$$i_1 - (c_1 + x) = (c_2 + x) - i_2 \implies x = (i_1 + i_2)/2 - (c_1 + c_2)/2 \quad (4)$$

Если величина x не более 4 мм, то условие выполнено.

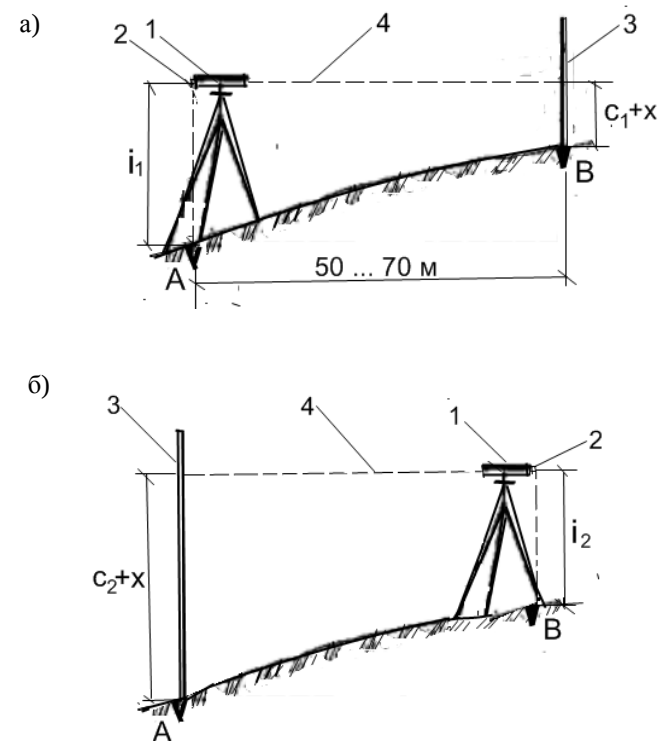


Рис. 20. Схема выполнения проверки

а) нивелир над точкой А; б) нивелир над точкой В

1 – нивелир; 2 – окуляр зрительной трубы; 3 – нивелирная рейка; 4 – горизонтальный визирный луч

3 *Исправление:* если величина x более 4 мм, исправляют положение цилиндрического уровня. Для этого при помощи элевационного винта наводят среднюю нить сетки на отсчет по рейке, равный $c_2 + x$. При этом изображения концов цилиндрического уровня разойдутся и концы пузырька совмещают вертикальными винтами уровня.

4 После исправления поверку повторить. Эту поверку выполняют в процессе работы через 10–15 дней.

Если нивелир с компенсатором – Н-10К, Н-3К, DSC 432, то условие 3 поверки звучит так: визирная ось зрительной трубы должна быть горизонтальна в пределах работы компенсатора. *Выполняется точно так же, как описано выше. Исправления производят, устанавливая исправительными винтами сетки нитей зрительную трубу на предвычисленный отсчет по рейке.*

Задание. 1.

Выполнить поверки и юстировки нивелиров и дать их краткое описание.

Пояснение к заданию. По указанию преподавателя вместо поверок нивелира в аудитории могут выполняться только их описания. Описание каждой поверки выполняют по следующему плану: 1) формулировка условия; 2) краткое описание поверки; 3) описание юстировки.

При описании поверки приводятся расчетные формулы и значения допусков.

3.8. Контрольные вопросы

1. Объясните устройство нивелира с цилиндрическим уровнем, назначение его частей и их взаимодействие в процессе измерений.
2. Расскажите об устройстве нивелиров с компенсатором.
3. Сформулируйте условия, которым должен отвечать нивелир с цилиндрическим уровнем.
4. Сформулируйте условия, которым должен отвечать нивелир с компенсатором.
5. Как устроены нивелирные рейки?
6. Изложите содержание поверок и юстировок нивелира с цилиндрическим уровнем.
7. Изложите содержание поверок и юстировок нивелира с компенсатором.

4. ПРОИЗВОДСТВО ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Цель задания: усвоить методику измерения превышения на станции и обработки результатов измерений.

Пособия и принадлежности: нивелир, штатив, нивелирные рейки, журнал технического нивелирования.

4.1. Основные понятия

Отметка (высота) точки – расстояние от поверхности земли до уровенной поверхности.

Превышение – разность отметок двух точек местности.

Высота инструмента – вертикальное расстояние от центра окуляра зрительной трубы (визирной оси инструмента) до т. А, над которой стоит нивелир.

Горизонт инструмента ГИ – отвесное расстояние от уровенной поверхности до горизонтальной визирной оси инструмента.

Уровенная поверхность – поверхность (плоскость) относительно которой выполняется измерение.

Станция – место установки прибора (нивелира).

Простое нивелирование – когда все нивелирные работы проводятся с одной станции, с нескольких станций – *сложное нивелирование*, образуется *нивелирный ход*.

Разность пядок – разность отсчетов по черной и красной стороне рейки, стоящей на точке.

Связующие точки – точки, на которые дважды берутся отсчеты с двух соседних станций нивелира.

Отсчет по рейке – расстояние по вертикали от поверхности земли до горизонтального визирного луча.

4.2. Геометрическое нивелирование «из середины» и «вперед»

Существует 2 вида геометрического нивелирования – «из середины» и «вперед», выполняемых с помощью нивелира и нивелирных реек.

При нивелировании «из середины» (рис. 21) в т. А и в т. В вертикально устанавливают рейки с делениями, позволяющими снимать по ним отсчеты, а между ними, по возможности на одинаковом расстоянии

от реек, в т. C – нивелир. Место установки нивелира называется *станцией*. Расстояние от нивелира до рейки называется плечом нивелирования (l). Разность плеч при техническом нивелировании допускается ± 5 м. Визирную ось трубы приводят в горизонтальное положение и, последовательно наводят зрительную трубу нивелира на рейки, берут по ним отсчеты a (по задней рейке) и b (по передней рейке), представляющие отрезки от точек A и B до визирного луча (см. рис. 21).

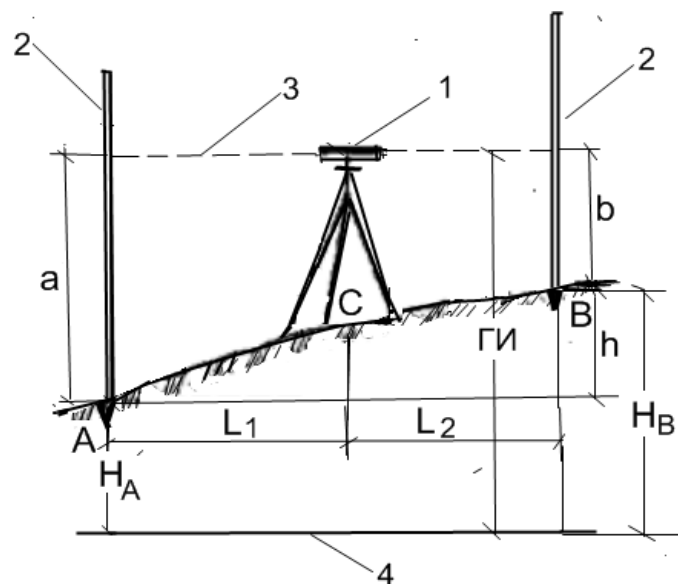


Рис. 21. Схема нивелирования «из середины»

1 – нивелир; 2 – нивелирная рейка; 3 – горизонтальный визирный луч; 4 – уровенная поверхность; L_1 и L_2 – плечо нивелира

Тогда превышение между точками A и B равно:

$$h = a - b, \quad (5)$$

при $a > b$ превышение h положительно, при $a < b$ – отрицательно.

Зная отметку т. A , вычисляют отметку т. B :

$$H_B = H_A + h \quad (6)$$

При нивелировании «вперед» (рис. 22) нивелир устанавливают в начальной т. A , а в передней т. B устанавливают рейку, измеряют высоту нивелира i , представляющую вертикальное расстояние от центра окуляра зрительной трубы прибора до т. A .

Затем делают отсчет b по рейке. Превышение в этом случае вычисляют:

$$h = i - b \quad (7)$$

Зная отметку т. A , вычисляют отметку т. B :

$$H_B = H_A + h \quad (8)$$

Отметку точки B можно вычислить через горизонт инструмента.

$$ГИ = H_A + i \quad \text{или} \quad ГИ = H_B + b, \quad (9)$$

тогда высота т. B равна горизонту инструмента $ГИ$ минус отсчет по рейке на этой точке b :

$$H_B = ГИ - b. \quad (10)$$

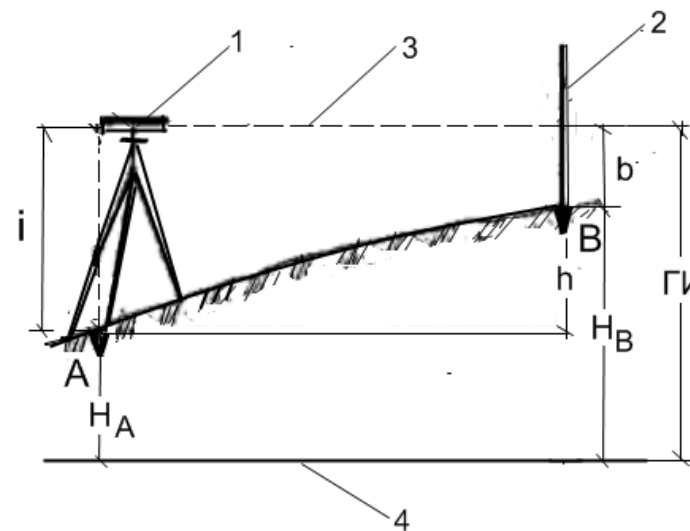


Рис. 22. Схема нивелирования «вперед»

1 – нивелир; 2 – нивелирная рейка; 3 – горизонтальный визирный луч; 4 – уровенная поверхность

Нивелирование выполняют в одном направлении. Отсчеты по рейкам берут только по *средней нити*. При обычных двусторонних рейках порядок работы на станции следующий (нивелирование способом «из середины»):

1. отсчеты по черной ($a_{ч.з}$) и красной ($a_{кр.з}$) сторонам задней рейки;
2. вычисление разности пятков: $a_{ч.з} - a_{кр.з}$;

Таблица 5

Нивелирный журнал

№ станции	№ точек	Отсчеты по рейкам, мм			Пре- выше- ние, ± h , мм	Среднее превыше- ние, $h_{ср}$, мм	Испр. превыше- ния, $h_{испр}$, мм	Гори- зонт ин- стру- мента, $ГИ$, м	Абсо- лютная отмет- ка, H , м
		Зад- ний	Перед- ний	Про- межу- точ- ный					
1	A	0930						783,360	782,430
	B	5714	2669		-1739	-1738		783,362	780,692
		(4784)	7450		-1736				
			(4781)						

Примечание: Среднее превышение округляют до целых миллиметров.

Задание.

1. Определить превышения между точками A и B и вычислить высоту точки B.

Пояснения к заданию. Измерения выполняют в вышеуказанной последовательности. Отсчеты записывают в журнал по образцу, приведенному в табл. 5. В приведенном в табл. 5 примере $a_i=0930$, $a_{кр}=5714$, $b_i=2669$, $b_{кр}=7450$. По формулам (5) и (6) имеем:

$$h_i = 0930 - 2669 = -1739 \text{ мм}; \quad h_{кр} = 5714 - 7450 = -1736 \text{ мм}.$$

$$h_{ср} = [-1739 + (-1736)] / 2 = -1738 \text{ мм}; \quad H_B = 782,430 + (-1,738) = 780,692 \text{ м}.$$

Когда не выполняется нивелирование промежуточных точек, о них будет сказано в лекции о нивелировании линейных объектов, горизонт инструмента при нивелировании «из середины» не вычисляется. Но в данном примере, для закрепления знаний, предлагается вычислить $ГИ$, используя (9).

$$ГИ = 782,43 + 0,930 = 783,360 \text{ м};$$

Относительно т. B величина $ГИ$ отличается на 2 мм. Для станции принимают среднее значение $ГИ$.

3. отсчеты по черной ($b_{ч.п}$) и красной ($b_{кр.п}$) сторонам передней рейки;

4. вычисление разности пяткок: $b_{ч.п} - b_{кр.п}$;

5. вычисление превышений, полученных по отсчетам черной и красной сторон реек: $h_{ч.} = a_{ч.з} - b_{ч.п}$; $h_{кр.} = a_{кр.з} - b_{кр.п}$.

Расхождение между превышениями, вычисленными по черной и красной сторонам допустимо не более ± 5 мм.

6. вычисление $h_{ср}$.

При прокладке нивелирного хода, при переходе на следующую станцию, передняя точка предыдущей станции становится задней точкой последующей станции.

Точки, на которые дважды берутся отсчеты с двух соседних станций нивелира называют *связующими точками* (рис. 23).

Записи отсчетов по рейкам на связующих точках и исходных реперах, а также вычисления превышений помещают в журнале нивелирования (табл. 5).

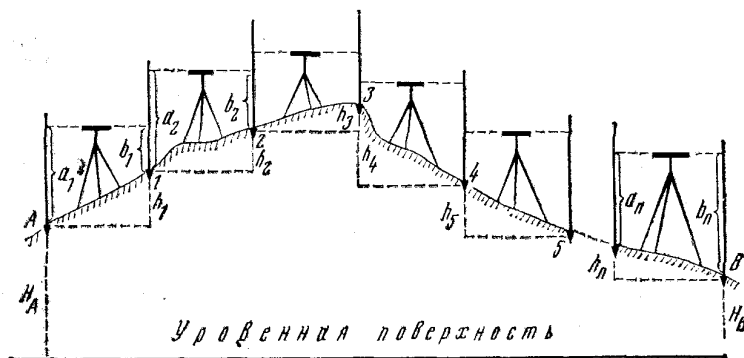


Рис. 23. Схема сложного нивелирования

4.3. Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип метода геометрического нивелирования?
2. Изложите последовательность действий при установке нивелира в рабочее положение.
3. Изложите последовательность измерений на станции при геометрическом нивелировании.
4. Назовите способы контроля измерений при работе на станции.
5. Напишите формулы для вычисления превышений и высот.
6. Дайте понятие горизонта инструмента HI . Чем отличается от высоты инструмента i ?
7. Когда применяется HI и i ?
8. Что такое разность пяткок? Как вычисляется?

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ НИТЯНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ

Цель задания: научиться определять расстояния по нитяному дальномеру и обрабатывать результаты измерений.

Пособия и принадлежности: комплект теодолита, нивелира, рейки, журнал измерений и микрокалькулятор.

5.1. Измерение наклонных линий и горизонтальных проложений

Для определения расстояний в зрительных трубах теодолитов и нивелиров имеются дальномерные штрихи kk' и ll' (рис. 24, б).

При измерении расстояния AB (см. рис. 24, а) над точкой A устанавливают теодолит, на точку B — рейку нивелирную и наводят зрительную трубу теодолита на эту рейку. Число делений рейки между дальномерными штрихами называют дальномерным отсчетом и обозначают через n . На рис. 24, б дальномерный отсчет равен

$$n = 1230 - 1100 = 130 \text{ мм.}$$

Расстояние по нитяному дальномеру вычисляют по формуле:

$$D = K \times n + c, \quad (11)$$

где K — коэффициент дальномера, в современных оптических дальномерах $K = 100$;

c — постоянное слагаемое дальномера.

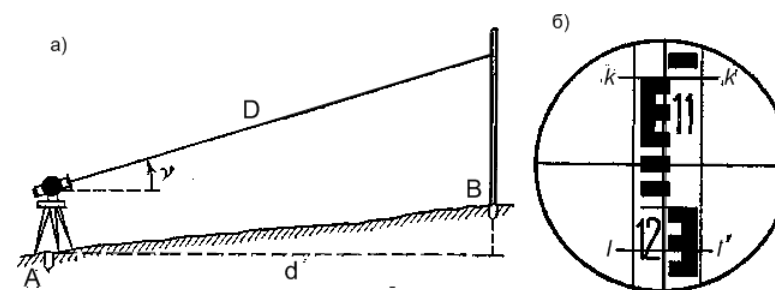


Рис. 24. Измерение расстояний нитяным дальномером:
а — схема измерений; б — поле зрения трубы

Слагаемое c пренебрегаемо мало по сравнению с точностью измерений. Поэтому во многих случаях пользуются формулой

$$D = K \times n \quad (12)$$

Расстояние $D = 100 \times 130 = 13000 \text{ мм} = 13,0 \text{ м}$

Если при визировании на точку B , расстояние до которой необходимо измерить, не видно верхний дальномерный штрих, то снимают отчеты по среднему – основному штриху и нижнему дальномерному штриху. Дальномерный отчет, в соответствии с рисунком 24, б, равен:

$$n = 1230 - 1165 = 65 \text{ мм}$$

В данном случае отчет характеризует половину расстояния. Поэтому при вычислении расстояния от т. A до т. B коэффициент дальномера удваивают и принимают равным $K = 200$, следовательно:

$$D = K \times n = 200 \times 65 = 6500 \text{ мм} = 6,5 \text{ м}$$

Аналогичные рассуждения при измерении расстояния по верхнему и среднему дальномерным штрихам:

$$n = 1165 - 1100 = 65 \text{ мм}; \quad D = 200 \times 65 = 6500 \text{ мм} = 6,5 \text{ м}$$

При измерении наклонных линий теодолитом, горизонтальное проложение вычисляют по формуле:

$$d = (K \times n + c) \times \cos^2 v = K \times n \times \cos^2 v = D \times \cos^2 v, \quad (13)$$

где v – угол наклона визирной оси зрительной трубы; величиной c можно пренебречь.

Вычисления горизонтальных проложений обычно выполняют на микрокалькуляторе.

При выполнении нивелировки 1, 2, 3, 4 классов, разбивке сооружений на местности (выносе точек по высоте) определяется расстояние между точками при помощи дальномерных штрихов нивелира. Так как геометрическое нивелирование выполняется горизонтальным визирным лучом, то при определении расстояний по дальномерным штрихам сразу определяется горизонтальное проложение d между измеряемыми точками.

Относительная погрешность измерения расстояний нитяным дальномером составляет величину порядка 1 : 300, 1 : 400 измеряемого расстояния. При такой точности определений в вычислениях целесообразно удерживать только десятые доли метра, т.е. расстояние будет равно 129,4 м.

Задание.

Определить нитяным дальномером теодолита длину наклонного расстояния и горизонтального проложения заданной преподавателем линии.

5.2. Контрольные вопросы

- 1 Что такое дальномерный отчет по рейке?
- 2 Что такое коэффициент и постоянное слагаемое дальномера?
- 3 По какой формуле можно вычислить наклонное расстояние, измеренное нитяным дальномером?
- 4 Напишите формулу для вычисления горизонтального проложения линии, измеренной нитяным дальномером.
- 5 Какое расстояние между точками измеряется при помощи дальномерных штрихов нивелира?
- 6 С какой точностью (относительной погрешностью) измеряют расстояния нитяным дальномером?
- 7 Какие способы измерения расстояний между точками Вам известны? Назовите наиболее точный из них.

6. ПРОИЗВОДСТВО ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

Цель задания: освоить определение превышения методом тригонометрического нивелирования.

Пособия и принадлежности: теодолит, комплект нивелирных реек, журнал тригонометрического нивелирования, тонкая лента или бичева яркого цвета.

6.1. Определение превышений наклонным лучом теодолита

При определении превышения между точками A и B над точкой A центрируют теодолит, а в точке B устанавливают рейку (рис. 25). Измеряют высоту прибора i , над точкой A с помощью рейки или рулетки, угол наклона v на определенный штрих рейки и горизонтальное проложение d между точками A и B .

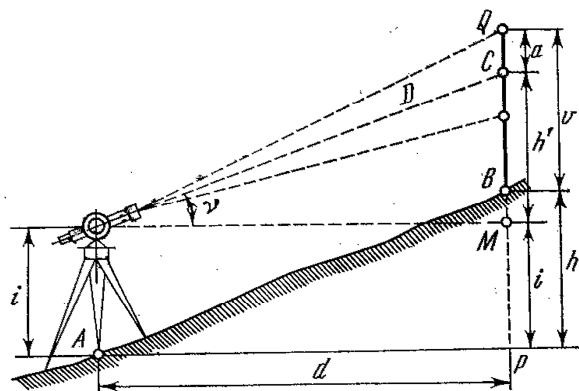


Рис. 25. Схема тригонометрического нивелирования

Горизонтальное проложение расстояния определяют с помощью мерной ленты, рулетки. Удобно выполнить измерение горизонтального проложения с помощью дальномерных штрихов теодолита по формуле (13) (см. лабораторную работу 5).

$$d = D \times \cos^2 v \quad (13)$$

где $D = K \times n$ – дальномерное расстояние

Искомое превышение определяют по формуле:

$$h = d \times \operatorname{tg} v + i - V, \quad (14)$$

где K – коэффициент дальномера (обычно $K=100$);

n – разность отсчетов по нижней и верхней штрихам сетки нитей;

v – угол наклона;

V – высота визирования (высота нивелирной рейки);

i – высота инструмента (прибора).

Тригонометрическое нивелирование выполняют в процессе тахеометрической съемки для определения высотного положения снимаемых точек. Формула (14) применяется при прокладке тахеометрических ходов, т.е. при выполнении планово-высотного съемочного обоснования. При съемке пикетов (съёмочных точек) выполняют визирование на высоту инструмента i . Так как съёмочных точек на одной станции много, для удобства на нивелирной рейке завязывают яркую бечевку на высоте, равной отсчету, соответствующему высоте инструмента. Это сокращает время на его отыскание на рейке. При этом формула (14) упрощается и принимает вид:

$$h = d \times \operatorname{tg} v + i - V = d \times \operatorname{tg} v + i - i = d \times \operatorname{tg} v \quad (15)$$

Применение номограммных тахеометров позволяет исключить вычисления горизонтального проложения (d) и превышения (h), поскольку эти величины считаются непосредственно в ходе съемки.

Задание.

Определить превышения между точками A (точка, где установлен теодолит) и точками B и C методом тригонометрического нивелирования.

Пояснения к заданию. Приводят теодолит в рабочее положение. Измеряют высоту прибора i с помощью нивелирной рейки. На рейках, расположенных в точках B и C отмечают высоту визирования V , привязывая ленточку или бечевку. Наводят на отсчет V , отмеченный на рейках, горизонтальную нить зрительной трубы и берут отсчеты по дальномерным штрихам.

Следует обратить внимание, что тригонометрическое нивелирование выполняют при основном положении вертикального круга теодолита. Основное положение вертикального круга определяется следующим образом: трубу теодолита, например, при круге лево (КЛ), поднимают вверх от ее горизонтального положения; если при этом отсчеты по вертикальному кругу будут положительными, следовательно, это основное положение вертикального круга.

По методике, приведенной в лабораторной работе 2, вычисляют место нуля $МО$, измеряют вертикальные углы. Результаты измерений и вычислений заносят в журнал (табл. 6). Превышения вычисляют по формуле (14).

Таблица 6

Журнал тригонометрического нивелирования

№ станции	Наблюдаемые точки	Отсчеты по дальномеру, n , м	Отсчеты по вертикальному кругу		$МО$	Угол наклона, v	Превышение h , м
			КЛ	КП			
А	В	0,074	-1°22′	+1°20′	-0°01′	+1°21′	+0,14
	С	0,060	-0°56′	+0°54′	-0°01′	+0°55′	+0,05

6.2. Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип тригонометрического нивелирования?
2. Расскажите о последовательности измерений на станции тригонометрического нивелирования.
3. С какой целью вычисляется $МО$ вертикального круга?
4. При условии, что известна высота точки A , вычислено превышение h между точками A и B , чему равна высота точки B ?
5. При каком круге теодолита следует выполнять тригонометрическое нивелирование? Как его определить?
6. Приведите формулу определения превышения методом тригонометрического нивелирования и объясните ее. Как изменяется данная формула при наведении пересечения сетки нитей на высоту инструмента?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ассур В.Л., Филатов А.М. Практикум по геодезии. – М.: Недра, 1985. – 358 с.
2. Кудрицкий Д.М. Геодезия. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 416 с.
3. Клюшин Е.Б., Киелев М.И., Михелев В.Д., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. – М.: Высшая школа, 2002. – 464 с.
4. Лукьянов В.Ф., Новак Н.Н., Борисов В.В. и др. Лабораторный практикум по инженерной геодезии. – М.: Недра, 1990. – 334 с.
5. Южанинов В.С. Картография с основами топографии. – М.: Высшая школа, 2001. – 301 с.

Г.П. Фролова

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам
по дисциплине «Инженерная геодезия»

Корректор В.В. Мокрынина
Компьютерная верстка Ю.А. Ларичевой

Подписано в печать 20.12.10. Формат 60х84^{1/16}
Офсетная печать. Объем 3,25 п. л.
Тираж 50 экз. Заказ 351.

Отпечатано в типографии КРСУ
720048, г. Бишкек, ул. Горького, 2