

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Проектирование, строительство  
и эксплуатация транспортных объектов»**

**Е. К. АТРОШКО, И. П. ДРАЛОВА,  
Г.М. КУНОВСКАЯ, Н.С. СЫРОВА**

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ И ФОТОГРАММЕТРИЯ**

**Учебно-методическое пособие**

**Гомель 2021**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра «Проектирование, строительство  
и эксплуатация транспортных объектов»

Е. К. АТРОШКО, И. П. ДРАЛОВА,  
Г.М. КУНОВСКАЯ, Н.С. СЫРОВА

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ И ФОТОГРАММЕТРИЯ

*Рекомендован учебно-методическим объединением в сфере высшего образования в области транспорта и транспортной деятельности в качестве учебно-методического пособия по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ для студентов транспортных специальностей*

Гомель 2021

УДК 528.48 (075.8)  
ББК 26.12  
А92

**Р е ц е н з е н т ы** – заведующий кафедрой «Геология и география» кандидат географических наук, доцент *А.И. Павловский* (УО «ГГУ им Ф. Скорины»), ведущий геодезист ОАО «Строительно-монтажный трест №27» *Васильцов П.А.*

**А92 Атрошко, Е. К.** Инженерная геодезии и фотограмметрия: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ для студентов вузов и учащихся колледжей первой ступени образования транспортных специальностей / Е. К. Атрошко, И.П. Дралова, Г.М. Куновская, Н.С. Сырова; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 118 с.

ISBN

Рассмотрены инженерные задачи, решаемые по топографическим картам и планам, построение горизонталей по высотам точек, устройство и работа с геодезическими приборами (теодолитом, нивелиром и приборами для линейных измерений), математическая обработка измерений при теодолитной, тахеометрической съемках и нивелирных работах, геодезическая подготовка разбивки здания, исполнительные съемки теодолитом и нивелиром в строительстве, современные электронные геодезические приборы и спутниковые методы измерений.

Предназначено для студентов специальностей 1-37 02 05 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство», 1-44 01 03 «Организация перевозок и управление на железном транспорте», 1-44 01 01 «Организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте», 1-44 01 04 «Организация перевозок и управление на речном транспорте» и 1-44 01 02 «Организация дорожного движения» для дневной и заочной формы получения образования по дисциплинам «Инженерная геодезия» и «Инженерная геодезия и фотограмметрия».

Может быть использовано для учащихся колледжей специальности 2- 37 02 34 «Железнодорожный путь и путевое хозяйство» (по направлениям) дневной и заочной форм получения образования.

**УДК 528.48 (075.8)**  
**ББК 26.12**

ISBN

© Атрошко Е.К., Дралова И.П.,  
Куновская Г.М., Сырова Н.С., 2021

УДК 528.48 (075.8)  
ББК 26.12  
А92

**Р е ц е н з е н т ы** – заведующий кафедрой «Геология и география» кандидат географических наук, доцент *А.И. Павловский* (УО «ГГУ им Ф. Скорины»), ведущий геодезист ОАО «Строительно-монтажный трест №27» *Васильцов П.А.*

**А92 Атрошко, Е. К.** Инженерная геодезия и фотограмметрия: учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ для студентов вузов и учащихся колледжей первой ступени образования транспортных специальностей / Е. К. Атрошко, И.П. Дралова, Г.М. Куновская, Н.С. Сырова; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2021. – 118 с.

ISBN

Рассмотрены инженерные задачи, решаемые по топографическим картам, построение горизонталей по высотам точек, устройство и работа с геодезическими приборами (теодолитом, нивелиром и приборами для линейных измерений), математическая обработка измерений при теодолитной, тахеометрической съемках и нивелирных работах, геодезическая подготовка разбивки здания, исполнительные съемки теодолитом и нивелиром в строительстве, современные электронные геодезические приборы и спутниковые методы измерений.

Предназначено для студентов специальностей 1-37 02 05 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство» и 1-44 01 03 «Организация перевозок и управление на железном транспорте» для дневной и заочной формы получения образования по дисциплинам «Инженерная геодезия» и «Инженерная геодезия и фотограмметрия».

Может быть использовано для учащихся колледжей специальности 2- 37 02 34 «Железнодорожный путь и путевое хозяйство» (по направлениям) дневной и заочной форм получения образования.

**УДК 528.48 (075.8)**  
**ББК 26.12**

ISBN

© Атрошко Е.К., Дралова И.П.,  
Куновская Г.М., Сырова Н.С., 2021  
© Оформление. УО «БелГУТ», 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
1 Решение инженерных задач по топографической карте.....	6
2 Изображение рельефа горизонталями.....	18
3 Теодолиты и работы с ними.....	21
4 Нивелиры и работы с ними.....	30
5 Теодолитная съемка.....	37
6 Тахеометрическая съемка.....	59
7 Техническое нивелирование трассы дороги.....	65
8 Нивелирование поверхности по квадратам. Геодезическая подготовка проекта планировки площадки.....	72
9 Разбивочный чертеж для перенесения проекта здания в натуру.....	80
10 Основы аэрофототопографии и фотограмметрии.....	82
11 Современные электронные геодезические приборы и спутниковые методы измерений.....	97
Список литературы.....	112

## **ВВЕДЕНИЕ**

В современных условиях в связи с ростом транспортного строительства и увеличения скоростного режима на железных и автомобильных дорогах существенно возрастает роль инженерно-геодезических работ по обеспечению технического процесса при строительстве и эксплуатации транспортных объектов. Поэтому хорошая геодезическая подготовка студентов транспортных специальностей позволит повысить качество работы будущих специалистов на производстве.

Пособие «Инженерная геодезия и фотограмметрия» предназначено для студентов следующих транспортных специальностей: 1-37 02 05 «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство», 1-44 01 03 «Организация перевозок и управление на железнодорожном транспорте», 1-44 01 01 «Организация перевозок и управление на автомобильном и городском транспорте», 1-44 01 04 «Организация перевозок и управление на речном транспорте», 1-44 01 02 «Организация дорожного движения», а также для учащихся железнодорожных колледжей, изучающих дисциплину «Геодезия».

Пособие составлено в виде отдельных тем, последовательность расположения которых соответствует учебным программам дисциплин «Инженерная геодезия» и «Геодезия и фотограмметрия».

Первые две темы предназначены для изучения топографических планов и карт и решения на них основных инженерных задач, особое внимание среди которых уделено изображению рельефа местности в виде горизонталей. Темы № 3 и 4 позволяют освоить работу с геодезическими приборами (теодолитами, нивелирами и электронными тахеометрами). Темы № 5–9 служат для приобретения навыков камеральной обработки результатов геодезических измерений при теодолитной и тахеометрической съемках местности, техническому нивелированию трассы дороги, нивелированию поверхности по квадратам и составлению картограммы земляных работ, а также составлению разбивочного чертежа для переноса проекта здания в натуру. В последнем разделе рассмотрены основные вопросы фотограмметрии и аэрокосмической съемки земной поверхности. Приведены сведения о дешифрировании фотоснимков, составления фотопланов и фотосхем, а также применение аэрокосмической съемки при организации безопасности дорожного движения.

Авторы выражают благодарность рецензентам за рекомендации в улучшении содержания пособия.

## 1 РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

**Определение прямоугольных координат точек.** Для составления планов и карт в инженерной геодезии чаще всего пользуются системой прямоугольных координат. Положение точки определяется относительно осей прямоугольных координат: оси абсцисс  $x$  (осевой меридиан) и оси ординат  $y$  (линия экватора). Для удобства пользования прямоугольными координатами на каждый лист топографической карты наносится сетка квадратов, образованных прямыми линиями, параллельными осям координат и проведенными, как правило, через 1 км. Координаты линий, ближайших к углам рамки карты, подписываются полностью, остальные – сокращенно, последними двумя цифрами. Они подписаны (в километрах) на выходах линий за рамку.

Прямоугольные координаты, пользуясь километровой сеткой, определяют линии, которые параллельны координатным осям  $x$  и  $y$ . Отрезки  $\Delta x$  и  $\Delta y$  измеряют.

Координаты точки  $C$  (рисунок 1.1) определяются по формулам

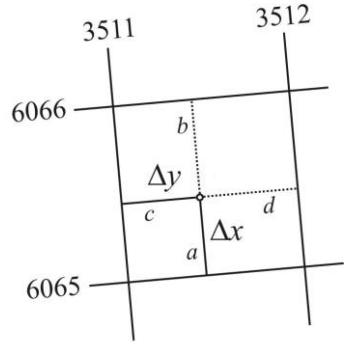


Рисунок 1.1 – Определение прямоугольных координат точки

$$x_c = x_{ю} + \Delta x, \quad y_c = y_з + \Delta y, \quad (1.1)$$

где  $x_{ю}$  – значение абсциссы километровой линии, ближайшей к точке с юга;

$y_з$  – значение ординаты километровой линии, ближайшей к точке с запада.

В данном случае  $\Delta x = 0,525$  км,  $\Delta y = 0,682$  км. Следовательно  $x_c = 6065 + 0,525 = 6065,525$  км;  $y_c = 3511 + 0,682 = 3511,682$  км.

Повысить точность определения координат точки  $C$  можно, измерив расстояния  $a$  и  $b$  до ближайших южной и северной линий сетки, а также расстояния  $c$  и  $d$  до ближайших западной и восточной линий сетки. Отрезки  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , выраженные в метрах, вычисляются по формулам

$$\Delta x = 1000 \frac{a}{a+b}, \quad \Delta y = 1000 \frac{c}{c+d}, \quad (1.2)$$

где 1000 – длина стороны квадрата километровой сетки в метрах.

**Определение географических, координат заданной на карте точки.** Для решения поставленной задачи нужно найти на карте заданную точку  $C$ . По цифрам, записанным в скобках, например (6415), которые являются координатами юго-западного угла квадрата координатной сетки, определить квадрат и по описанию – точку  $C$  (рисунок 1.2).

На листе карты кроме подписей внутренней рамки меридианов и параллелей нанесены деления, которые обозначают минуты дуг меридианов и параллелей. Границей минут служат залитая и незалитая части рамки. Так как размер листа карты по долготе в градусной мере больше, чем по широте, то величина 1' дуги меридиана в линейной мере меньше.

Через концы одноименных минут широты и долготы пунктиром провести параллели и меридианы (см. рисунок 1.2). Полученная сетка из параллелей и меридианов служит для определения географических координат точки.

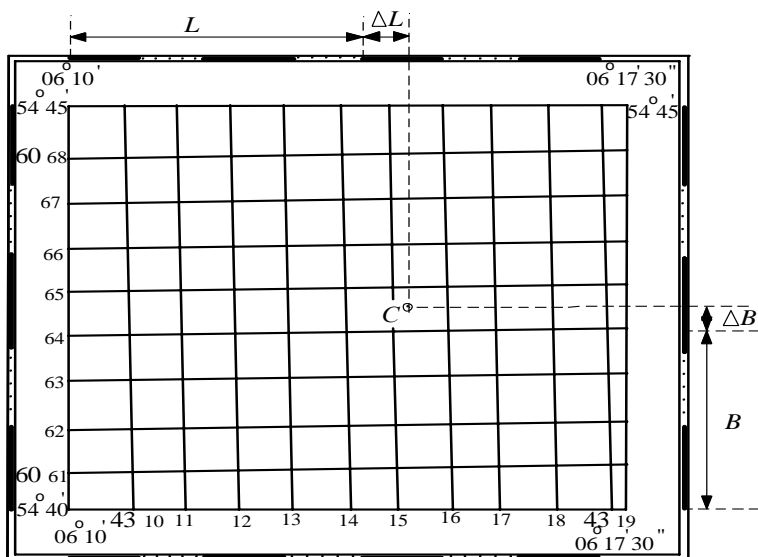


Рисунок 1.2 – Определение географических координат точки

Широту  $B_c$  и долготу  $L_c$  точки  $C$  получаем следующим образом:

$$B_c = B + \Delta B; \quad L_c = L + \Delta L,$$

где  $B$  – широта ближайшей к точке  $C$  параллели;

$L$  – долгота ближайшей к точке  $C$  меридиана;

$\Delta B, \Delta L$  – соответственно приращения широты и долготы, которые требуется определить с точностью до 0,1'.

Для определения величин  $\Delta B$  и  $\Delta L$  выполнить проецирование точки  $C$  линиями, параллельными параллели и меридиану, соответственно на минутные рамки широты и долготы. Точки на минутных участках образуют секунды, одно деление равно 10". Следовательно, широта и долгота точки  $C$  равна

$$B_c = 54^\circ 42' + 0^\circ 00' 23'' = 54^\circ 42' 23''; \quad L_c = 06^\circ 14' + 0^\circ 00' 30'' = 06^\circ 14' 30''.$$



**Определение азимутов, румбов, дирекционных углов и нахождение зависимости между ними.** При выполнении геодезических работ на местности, работ с картой или чертежом необходимо определить положение линии (ориентировать линию) относительно сторон света или какого-нибудь направления, принимаемого за исходное.

Ориентирование заключается в определении угла между исходным направлением и направлением данной линии. За исходное направление для ориентирования принимают истинный (географический), магнитный меридиан или ось абсцисс прямоугольной системы координат плана. В качестве углов, определяющих направление линии, служат истинный и магнитный азимуты, дирекционный угол и румб.

Угол между северным направлением меридиана и направлением данной линии  $MN$  называется *азимутом* (рисунок 1.3), измеряется от севера через восток, юг и запад, т. е. по направлению движения часовой стрелки, и может иметь значения  $0-360^\circ$ . Азимут, измеряемый относительно истинного меридиана, называется *истинным*.

В геодезии принято различать прямое и обратное направления линии. Если направление линии  $MN$  от точки  $M$  к точке  $N$  считать прямым, то  $NM$  – обратное направление той же линии. В соответствии с этим угол  $A$  – прямой азимут линии  $MN$  в точке  $M$ , а  $A_1$  – обратный азимут этой же линии в точке  $N$ . Меридианы разных точек не параллельны между собой, так как они сходятся в точках полюсов. Отсюда азимут линии в разных ее точках имеет разное значение. Угол между направлениями двух меридианов называется *сближением меридианов* и обозначается  $\gamma$ . Зависимость между прямым и обратным азимутами линии  $MN$  выражается формулой

$$A_1 = A + 180^\circ + \gamma. \quad (1.4)$$

Иногда для ориентирования линии местности пользуются не азимутами, а румбами. *Румбом* (рисунок 1.4) называется острый угол между ближайшим (северным  $C$  или южным  $Ю$ ) направлением меридиана и направлением данной линии. Румбы обозначают буквой  $r$  с индексами, указывающими четверть, в которой находится румб. Названия четвертей составлены из соответствующих обозначений сторон света. Так, первая четверть – северо-восточная ( $CB$ ), вторая – юго-восточная ( $ЮВ$ ), третья – юго-западная ( $ЮЗ$ ), четвертая – северо-

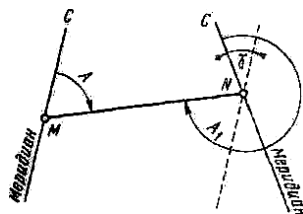


Рисунок 1.3 – Азимуты

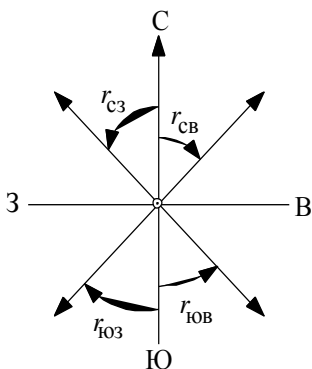


Рисунок 1.4 – Румбы

северо-западная ( $ЮЗ$ ), четвертая – северо-

западная (СЗ). Соответственно обозначают румбы в четвертях, например, в первой  $r_{СВ}$ , во второй  $r_{ЮВ}$ . Румбы измеряют в градусах ( $0...90^\circ$ ). Зависимости между азимутами и румбами приведены в таблице 1.1.

Т а б л и ц а 1.1 – Зависимости между азимутами и румбами

Номер четверти	Значение азимута	Название румбов	Соотношения азимута с румбом
I	$0-90^\circ$	СВ	$r = A$
II	$90-180^\circ$	ЮВ	$r = 180^\circ - A$
III	$180-270^\circ$	ЮЗ	$r = A - 180^\circ$
IV	$270-360^\circ$	СЗ	$r = 360^\circ - A$

В прямоугольной системе координат ориентирование линии производят относительно оси абсцисс. Угол, отсчитываемый в направлении хода часовой стрелки от положительного (северного) направления оси абсцисс до линии, направление которой определяется, называется *дирекционным*. Дирекционные углы обозначаются буквой  $a$  и подобно азимуту изменяются  $0...360^\circ$ .

Дирекционный угол какого-либо направления непосредственно местности не измеряют, его значение можно вычислить, если для данного направления определен истинный азимут. Зависимость между дирекционным углом  $a$  и истинным азимутом  $A$  приведена на рисунке 1.5

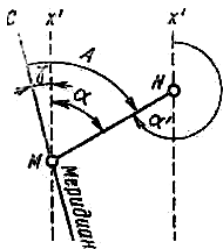


Рисунок 1.5 – Зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом линии

В данном случае  $\gamma$  – сближение меридианов – представляет собой угол между истинным меридианом и осью абсцисс в этой точке. Ось абсцисс параллельна осевому меридиану зоны, в которой расположена линия  $MN$ . Как видно из рисунка,  $a = A - \gamma$ . Так же как и для азимута, различают прямой и обратный дирекционные углы:  $\alpha$  – прямой,  $\alpha'$  – обратный дирекционные углы линии  $MN$ :  $\alpha' = \alpha + 180^\circ$ .

Направление магнитной оси свободно подвешенной магнитной стрелки называется *магнитным меридианом*. Угол между северным направлением магнитного меридиана и направлением данной линии называют *магнитным азимутом*. Магнитный азимут, так же как и истинный, считают по направлению движения часовой стрелки; он также изменяется в пределах  $0...360^\circ$ . Горизонтальный угол между этими направлениями называют *склонением магнитной стрелки*  $\delta$ . Перед значением восточного склонения обычно ставят знак плюс, западного – минус. Зависимость (рисунок 1.6, а) между истинным  $A$  и магнитным  $A_m$  азимутами выражается формулой

$$A = A_m + \delta. \quad (1.5)$$

При использовании этой формулы учитывают знак склонения. Если известно склонение  $\delta$  магнитной стрелки и сближение меридианов  $\gamma$ , то по измеренному магнитному азимуту  $A_M$  линии  $MN$  можно вычислить дирекционный угол (рисунок 1.6, б) этой линии:

$$\alpha = A_M + (\delta - \gamma), \quad (1.6)$$

где  $(\delta - \gamma)$  – поправка на склонение стрелки и сближение меридианов (учитывают при ориентировании топографической карты).

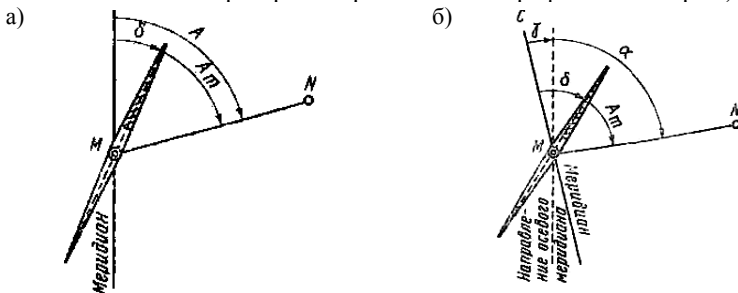


Рисунок 1.6 – Зависимость между углами:

$a$  – истинным и магнитным азимутами,  $б$  – магнитным азимутом и дирекционным углом

**Определение дирекционного угла  $\alpha$ , истинного  $A_n$  и магнитного  $A_M$  азимутов, длины  $d$  линии  $CD$ , заданной на карте.** При решении данной задачи на топографической карте по описанию отыскать точку  $D$ , провести линию  $CD$ , измерить при помощи топографического транспортира дирекционный угол  $\alpha$ , а затем, используя формулы связи углов ориентирования, вычислить азимуты. Топографический транспортир приложить к вертикальной линии сетки так, чтобы центр его совпал с точкой пересечения линии  $CD$  с координатной линией, а диаметрально противоположные штрихи совпали с ней. Затем по ходу часовой стрелки по направлению  $CD$  отсчитать дирекционный угол  $\alpha$ , который в приведенном примере равен  $51^\circ$ . Цена деления транспортира  $30'$ , отсчет можно выполнить с точностью до  $10'$ – $15'$ . Истинный и магнитный азимуты вычисляются по формулам:

$$A_n = \alpha + \gamma; \quad A_M = A_n - \delta, \quad (1.7)$$

где  $\gamma$  – зональное сближение меридианов;

$\delta$  – магнитное склонение.

Следует помнить, что  $\gamma$  и  $\delta$  могут быть величинами как положительными, так и отрицательными. Восточное сближение меридианов и восточное магнитное склонение – положительные; в этом случае северные направления линий сетки и магнитного меридиана отклонены к востоку от северного направления истинного меридиана. Западное сближение меридианов и западное магнитное склонение – отрицательные.

Схема расположения меридианов находится в левом нижнем углу листа карты. Из рисунка 1.7 видно, что сближение меридианов – западное ( $\gamma = -2^{\circ}20'$ ), склонение магнитной стрелки – восточное ( $\delta = +6^{\circ}10'$ ).

В левом нижнем углу карты имеется примечание: магнитное склонение в год изменяется на  $2'$ , следовательно, нужно ввести поправку на каждый год с момента издания карты (1995 г.) до текущего года. Например, год работы с картой 2012, тогда  $2012 - 1995 = 17$  лет,  $17 \cdot 2' = 34'$ ; величина  $\delta = +6^{\circ}10' + 0^{\circ}34' = 6^{\circ}44'$ . С учетом изложенного

$$A_n = 51^{\circ}00' - 2^{\circ}20' = 48^{\circ}40';$$

$$A_m = 48^{\circ}40' - 6^{\circ}44' = 41^{\circ}56'.$$

Длину заданной на топографической карте линии  $CD$  определить по нормальному поперечному масштабу. Предварительно по учебнику изучить правила работы с ним. Иглами измерителя зафиксировать на карте величину линии  $CD$ .

Расположить иглы измерителя на нижней линии масштабной линейки таким образом, чтобы левая игла находилась на крайнем левом разграфленном делении поперечного масштаба, а правая совпала с каким-либо вертикальным делением (рисунок 1.8, первое положение). При работе масштабная линейка находится в левой руке, а измеритель – в правой. Затем переместить параллельно обе иглы вверх: правую – по той же вертикальной линии (см. рисунок 1.8, второе положение), а левую – до совпадения с наклонной линией и считать длину линии  $CD$ .

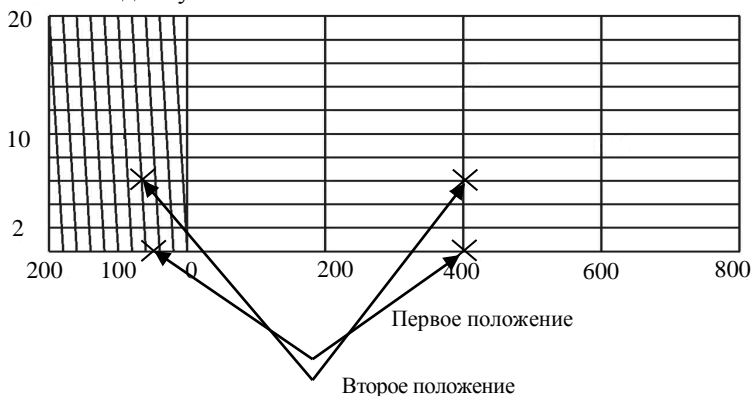


Рисунок 1.8 – Измерение расстояний по карте с помощью поперечного масштаба

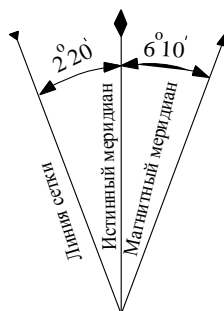


Рисунок 1.7 – Схема направлений географического и магнитного меридианов относительно линии сетки

Для масштаба 1 : 10 000 основание поперечного масштаба равно расстоянию 200 м, наименьшее деление в левой части – 20 м, а при увеличении отрезка на одно деление вверх – 2 м.

Длину линии  $CD$  по линейке определить от правой иглы в направлении к левой т. е.  $200 + 200 + 40 + 3 \cdot 2 = 446$  м. Полученное расстояние записать с точностью до 1 м. т. е.  $d = 446$  м.

### Определение высоты заданной точки $C$ . Определение высот точек.

Высота точки, лежащей на горизонтали, равна высоте горизонтали. Высоты отдельных горизонталей подписаны в их разрыве. Высоты других горизонталей легко определить, зная высоту сечения рельефа, а также высоты подписанных горизонталей и высоты тех характерных точек рельефа, у которых подписаны их отметки. При этом учитывают, что высоты горизонталей кратны высоте сечения рельефа. Высота точки  $C$ , расположенной между двумя горизонталями (рисунок 1.9), определяется по формуле

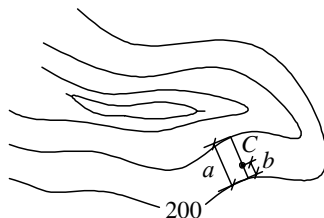


Рисунок 1.9 – Определение отметки точки

$$H_c = H_r + h \frac{b}{a}, \quad (1.8)$$

где  $H_r$  – высота меньшей горизонтали;

$h$  – высота сечения рельефа;

$b$  – длина заложения ската;

$a$  – расстояние от точки до меньшей горизонтали, измеряемые по карте линейкой.

Определение отметки точки  $C$ . Для ее нахождения необходимо провести на карте отрезок прямой линии, проходящей через точку  $C$  и соединяющей соседние горизонтали по кратчайшему расстоянию, и измерить на карте отрезки  $a$  и  $b$ . Отметка точки  $C$  при  $h = 2,5$  м,  $b = 4$  мм,  $a = 10$  мм составит

$$H_c = 200 + (2,5 \cdot 4) / 10 = 201 \text{ м.}$$

Определить отметку горизонтали по указанной на карте отметке точки:

$$H = 2,5; h = 5 \text{ м.}$$

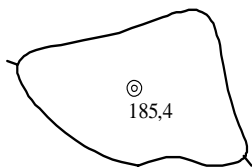


Рисунок 1.10 – Определение отметки горизонтали

Отметка горизонтали равна, ближайшему числу к указанной отметке точки и кратному высоте сечения рельефа (рисунок 1.10.). При  $h = 2,5$  м отметка горизонтали равна 182,5 м, при  $h = 5$  м – соответственно 180 м.

**Определение уклона и угла наклона линии, указанной на карте.** Уклоном называется тангенс угла наклона или отношение разности отметок

конечной и начальной точек указанной линии к ее горизонтальному проложению. Значение уклона определяется по формуле

$$i = \operatorname{tg} \nu = (H_k - H_n) / d, \quad (1.9)$$

где  $\nu$  – угол наклона;  
 $H_k, H_n$  – отметки конечной и начальной точек линии соответственно;

$d$  – горизонтальное проложение.

Угол наклона линии определяется по графику заложений (рисунок 1.11) Затем находят тангенс угла наклона. Для указанной на рисунке 1.11 линии  $AB \nu = 1^\circ 10'$ . Уклон выражается в промилях или в процентах.

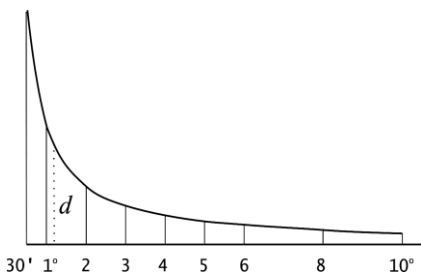


Рисунок 1.11 – График заложений

$$i_{AB} = \operatorname{tg} 1^\circ 10' = 0,020 = 20 \text{ ‰}.$$

**Проектирование линии с заданным уклоном между двумя точками, указанными на топографической карте.** Необходимость решения такой задачи возникает, например, при выборе трассы для будущей дороги и других линейных сооружений.

Условие можно записать так:

$$i < i_{\text{пр}}. \quad (1.10)$$

где  $i$  – проектный уклон;  
 $i_{\text{пр}}$  – предельный уклон.

Вычисляют соответствующее заданному предельному уклону  $i_{\text{пр}}$  заложение, выраженное в масштабе карты,

$$d = \frac{h}{M i_{\text{пр}}}, \quad (1.11)$$

где  $h$  – высота сечения рельефа, м;  
 $M$  – знаменатель масштаба.

Берется это расстояние в масштабе карты измерителем, одна его ножка ставится на точку  $A$ , а второй делаются засечки на горизонталях (рисунок 1.12). Если ножка измерителя не будет доставать горизонтали, то проводится линия по кратчайшему направлению. Затем это расстояние откладывается от полученной точки до следующих горизонталей.

Чтобы уклон линии не превосходил  $i_{\text{пр}}$ , ни одно заложение на ней не должно быть меньше, чем рассчитанное  $d$ . Если расстояние между горизонталями больше рассчитанного, направление линии можно выби-

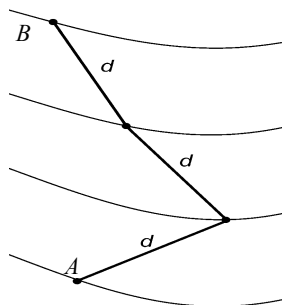


Рисунок 1.12 – Проложение линии с заданным уклоном

рать произвольно. В противном случае в раствор циркуля берут отрезок, равный  $d$ , и строят ломаную линию, уместая между горизонталями рассчитанное предельное заложение

**Определение на карте границ водосборной площади.** Водосборной называют площадь, с которой дождевые и талые воды поступают в русло. Для ее определения надо наметить на карте границу водосбора и определить площадь внутри этой границы. Определение водосборной площади необходимо, например, при проектировании дороги для расчета отверстия моста или трубы, что позволяет определить мощность потока, которая необходима для расчета создаваемых на водотоках искусственных сооружений.

Для определения границ водосборной площади на карте проводят водораздельные линии, а затем от проектируемого сооружения к водораздельным линиям проводят линии наибольшего ската, перпендикулярные горизонталям.

Например, водосборная площадь для точки  $P$ , где предстоит строительство трубы, (рисунок 1.13), ограничена штриховой линией, образованной водораздельной и двумя линиями наибольшего ската.

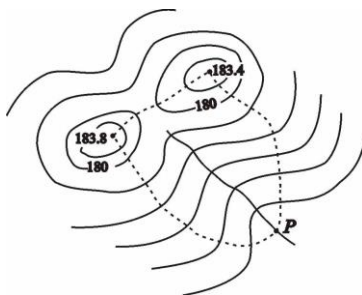
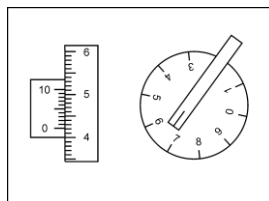
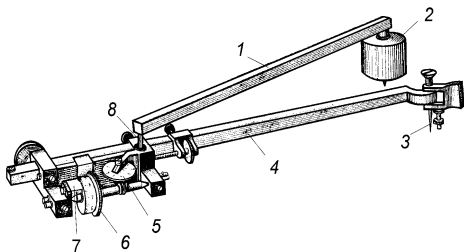


Рисунок 1.13 – Определение границы

**По картам (планам)** используют следующие способы определения площадей.

*Графический способ.* При измерении величины водосборной площади папку накладывают на площадь водосбора, вычисляют количество полных и неполных квадратов или других заранее известных геометрических фигур, их сумма, в зависимости от масштаба карты, даст величину искомой фигуры.

*Механический способ* определения площадей основан на применении планиметра – прибора, который позволяет сравнительно быстро и точно измерять площади участков любой конфигурации. Наиболее широкое распространение получили полярные планиметры (рисунок 1.14).



Отсчет по планиметру 6422

Рисунок 1.14 – Полярный планиметр:

1 – полюсный рычаг; 2 – груз; 3 – обводная игла; 4 – обводной рычаг;

5 – счетное устройство (циферблат); 6 – счетное колесо; 7 – верньер.

Он состоит из двух рычагов – полюсного 1 и обводного 4, соединяемых шарниром 8. Полюс планиметра (массивный цилиндр 2 с иглой, втыкаемой в бумагу) в процессе измерения площади остается неподвижным. На конце длинного плеча обводного рычага укреплен шпиль 3 (или лупа с маркой в виде креста в ее центре), которым обводят контур измеряемой площади. На коротком плече обводного рычага крепится каретка с мерным колесиком 6, опирающимся на поверхность бумаги, и счетным механизмом. Когда обводной шпиль 3 (или марка) перемещается по линии контура перпендикулярно рычагу, мерное колесико 6 катится по бумаге. При перемещении обводного шпиля по направлению рычага колесико скользит по бумаге не вращаясь. Рычаги планиметра располагают приблизительно перпендикулярно друг к другу, а при обводе контура углы, составляемые ими, должны находиться в пределах от 30 до 150°. Отсчет по счетному устройству выражается четырехзначным числом 6422 в делениях планиметра. Его первая цифра 6 – отсчет по циферблату, соответствующий младшему значению, снятому по направлению указателя; последующие две цифры 42 – отсчет по счетному колесу, соответствующий нулю верньера; последняя цифра отсчета 2 – номер штриха верньера.

Полученный результат определяет площадь участка в делениях планиметра. Для вычисления площади участка на местности (га, м<sup>2</sup>) необходимо определить цену деления планиметра  $c$ , т. е. определить площадь, соответствующую одному делению планиметра. Площадь участка будет вычислена по формуле

$$S = c\Delta u. \quad (1.12)$$

Цена деления планиметра определяется опытным путем. Для этого обводят контур фигуры, площадь которой известна, например, квадраты километровой сетки топографической карты, получают значение площади в делениях планиметра, а цену деления планиметра вычисляют по формуле

$$C = S_0 / \Delta u_0. \quad (1.13)$$

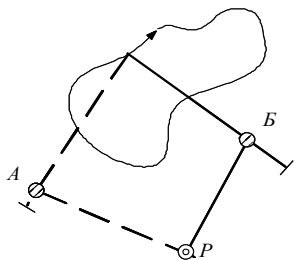


Рисунок 1.15 – Положение рычагов планиметра при измерении площади

Контроль результатов определения площади осуществляют повторным обводом контура участка, при этом изменяют положение рычагов, а положение полюса сохраняется, т. е. в одном случае рычаги располагают слева от участка (рисунок 1.15) – положение «полюс лево» (А), в другом – справа от участка – положение «полюс право» (В). Такая методика измерения площадей снижает



влияние конструктивных погрешностей планиметра. Расхождение результатов обводов контура из двух положений рычагов не должно превышать (единиц): при площади до 200 делений – 2; до 200–2000 делений – 3; свыше 2000 делений – 5.

Точность определения площади планиметром составляет 1:100 – 1:300 от измеряемой площади. Данный метод целесообразно использовать при определении площадей более 20 см<sup>2</sup>.

*Задание.* Механическим способом определить площадь лесного массива, расположенного в квадратах (6810, 6710, 6711, 6611) листа учебной карты У–34–37–В–в–4.

*Решение.* Измерение площади начинаем с определения цены деления планиметра, используя два квадрата километровой сетки (200 га). Результаты измерений  $u_1, u_2, u_1', u_2'$  записываем в таблицу 1.2.

Разности  $u_1 - u_2, u_1' - u_2'$  выражают площади двух квадратов в делениях планиметра. Расхождения  $\Delta u, \Delta u'$  ( $\Delta u = u_2 - u_1; \Delta u' = u_2' - u_1'$ ) не превышают 5 единиц делений планиметра, что соответствует предъявляемым к результатам измерений требованиям. Результаты вычислений записываем в графу 4.

Т а б л и ц а 1.2 – **Ведомость определения площадей механическим способом**  
Полярный планиметр № 1589,  $R = 150,0$ . Исполнитель: *Котов Н. М.*

Номер контура	Отсчеты		Разность отсчетов	Средняя разность	Цена деления с, га	Площадь участка S, га
	«полюс право»	«полюс лево»				
1	2	3	4	5	6	8
Определение цены деления						
1 (квadrat)	4712 (1)		2255 (5)			
	6967 (2)	6735 (3)	2250 (6)	2252,5 (7)		
		8985 (4)				
	6433 (8)				0,0888 (15)	
			2251 (12)			200,00
	8684 (9)	4341 (10)		2251,5 (14)		
			2252 (12)			
2 (лесной массив)		6593 (11)				
	7368					
			912			
	8280	5272		911,5	0,0888	80,94
		911				
	6186					

Для контроля вновь определяем площадь квадратов, изменив начальный отсчет на счетном устройстве планиметра. Результаты измерений записываем в графы 2, 3 и 4. Далее вычисляем средние разности  $\Delta u_{ср}$  в делениях планиметра, записываем в графу 5. Цена деления планиметра вычисляется по формуле

$$c = 200 / 2252 = 0,0888 \text{ га.}$$

Результаты вычислений записываем в графу 6. Площадь лесного массива  $S$  оп оделяется по формуле (1.12). Дважды обводим контур лесного массива и записываем результаты в графы 2 и 3.

**Построение профиля заданной на карте линии  $CD$  в масштабах  $M_g 1:10000$ ,  $M_v 1:1000$ .** Для большей наглядности при построении профиля горизонтальный масштаб обычно выбирают равным масштабу карты, а вертикальный – в 10 или более раз крупнее, т. е. для карты масштаба 1:10000, вертикальный – 1:1000. При решении задачи полоску бумаги приложить к линии  $CD$ , отметить на ней точки пересечения горизонталей с линией  $CD$ , а также точки водосбора и водораздела. Изучить рельеф, подписать высоты всех горизонталей, пересекающих линию  $CD$ . Вычислить и записать высоты точек, расположенных на линиях водосбора и водораздела. Построение точек профиля по их отметкам выполняется от линии условного горизонта. Отметка линии условного горизонта выбирается с таким расчетом, чтобы точка с минимальной отметкой располагалась выше данной линии не менее, чем на 1 см. Отметку линии условного горизонта желательно принять кратной 10 м.

В рассматриваемом примере отметка уреза воды в реке –157,3 м – является минимальной (рисунок 1.16). Поэтому удобно принять отметку линии условного горизонта равной 150 м. От линии условного горизонта строится перпендикуляр в каждой точке с известной отметкой и откладываются разности отметок точек и линии условного горизонта. Точки, полученные в результате построения, соединяют прямыми линиями. Полученная ломаная линия является продольным профилем местности по линии  $CD$ .

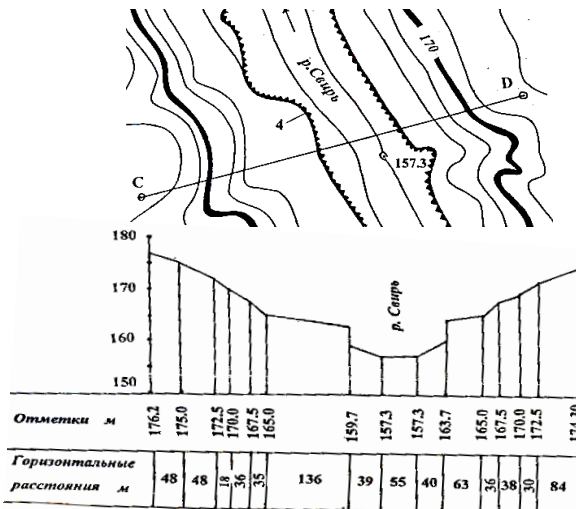


Рисунок 1.16 – Построение профиля рельефа местности по карте (плану)  
**2 ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА ГОРИЗОНТАЛЯМИ**

**Рельефом** называют совокупность неровностей земной поверхности. На картах и планах рельеф изображают с помощью горизонталей, высотных отметок и условных знаков.

*Горизонталь* – линии сечения земной поверхности равноотстоящими уровнями поверхностями (рисунок 2.1).

Разность  $h$  высот смежных горизонталей, равная расстоянию между секущими поверхностями, называется *высотой сечения рельефа*.

В Республике Беларусь приняты следующие высоты сечения рельефа при масштабах съемки:

- |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|
| 1:500 – $h = 0,25; 0,5$ м;     | 1:5000 – $h = 0,5; 1; 2; 5$ м; |
| 1:1000 – $h = 0,25; 0,5; 1$ м; | 1:10000 – $h = 1; 2,5; 5$ м.   |
| 1:2000 – $h = 0,5; 1; 2$ м;    |                                |

Значение высоты сечения подписывают у нижней рамки плана. Горизонтальное расстояние между соседними горизонталями называется *заложением* ( $d$ ). Минимальным в данном месте является заложение, перпендикулярное к горизонталям, – *заложение ската*. Чем меньше заложение ската, тем круче скат. Направление ската указывают *бергштрихами* – короткими штрихами у некоторых горизонталей, направленными в сторону спуска. На отдельных горизонталях в их разрывах пишут их высоту так, чтобы верх цифр указывал в сторону подъема. Горизонталь с круглыми значениями высот делают утолщенными, а для отражения деталей рельефа используют *полугоризонталь* – штриховые линии, соответствующие половине высоты сечения рельефа, а также *вспомогательные горизонталь* с короткими штрихами, проводимые на произвольной высоте.

Исходя из сущности горизонталей можно сделать следующие выводы об их *свойствах*:

- 1 Горизонталь – это замкнутая кривая линия, все точки на которой имеют одинаковую высоту, кратную высоте сечения рельефа.
- 2 Горизонталь на плане не могут раздваиваться и обрываться; если горизонталь не замыкается в пределах плана, она замыкается за его пределом.
- 3 Горизонталь не должны пересекаться между собой, так как они получаются пересечением земной поверхности плоскостями, лежащими на разных высотах.

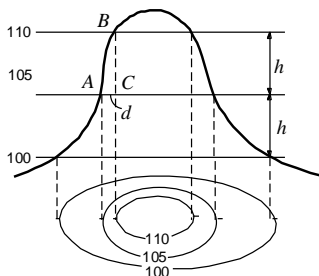


Рисунок 2.1 – Горизонталь:  
 $h$  – высота сечения рельефа;  $d$  – заложение

4 Чем чаще горизонталы на плане, тем уклон местности больше, или чем меньше заложение, тем скат круче.

5 Водораздельные и водосливные линии и направления максимального уклона горизонталы пересекают под прямым углом.

Изображение рельефа горизонталями дополняется вписыванием на план отметок высот около характерных точек рельефа и специальными условными знаками, изображающими обрывы, скалы, овраги и т. п.

Основными формами рельефа являются гора, котловина, хребет, лощина и седловина (рисунок 2.2).

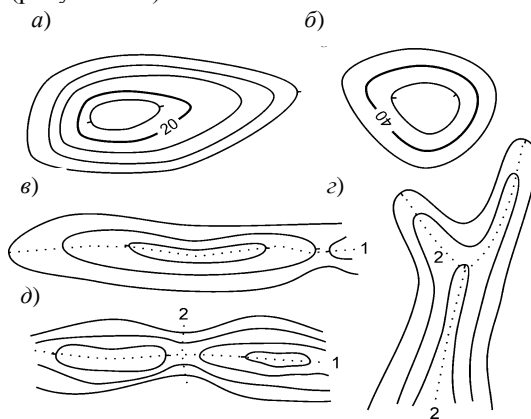


Рисунок 2.2. – Основные формы рельефа:  
а – гора; б – котловина; в – хребет; г – лощина; д – седловина;  
1 – водораздельная линия; 2 – водосливная линия.

*Гора* (возвышенность, холм, курган, сопка) изображается замкнутыми горизонталями с бергштрихами, обращенными наружу (см. рисунок 2.2, а). Характерными точками горы являются ее вершина и точки у подошвы.

*Котловина* (впадина) тоже изображается замкнутыми горизонталями, но с бергштрихами, обращенными внутрь (см. рисунок 2.2, б). Характерными точками котловины являются точки на ее дне и вдоль бровки.

*Хребет* – вытянутая возвышенность. Изображается огибающими гребень хребта и идущими по его скатам вытянутыми горизонталями (см. рисунок 2.2, в). Бергштрихи, как и у горы, обращены наружу. Характерной линией хребта является проходящая вдоль его гребня *водораздельная линия*.

*Лощина* (долина, ущелье, овраг, балка) – вытянутое в одном направлении углубление. Изображается вытянутыми горизонталями с бергштрихами, обращенными внутрь (см. рисунок 2.2, г). Характерной линией лощины является *водосливная линия* (талweg) – линия, по которой сбегает вода.

*Седловина* (перевал) – понижение между двумя возвышенностями (см. рисунок 2.2, д). По обе стороны к седловине примыкают ложины. Седловина – это место пересечения водораздельной и водосливной линий.

**Пример выполнения задания.** Вычислить высоты точек, указанных в задании по формуле

$$H = H_{\text{исх}} + 0,03N, \quad (2.1)$$

где  $H_{\text{исх}}$  – исходные высоты точек, выбираемые согласно заданной высоте сечения рельефа, м;

$N$  – индивидуальный номер студента, выраженный в метрах.

Полученные значения записываются с точностью 0,01 в таблицу задания и в знаменатель дробей на рисунке 2.3, числитель является номером точек (аналогичный рисунок имеется в задании). Тонкими линиями провести направления интерполяции так, как показано на рисунке 2.3.

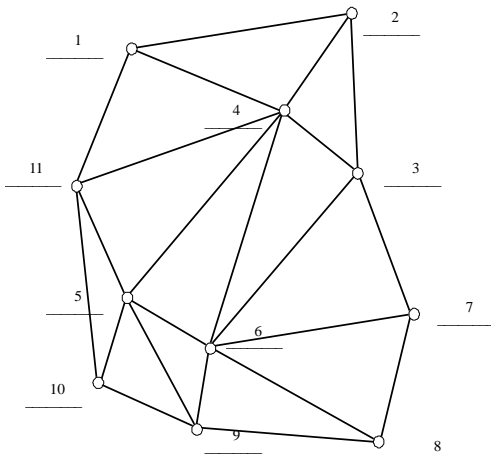
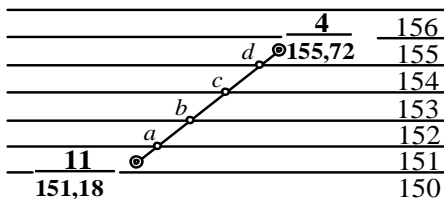


Рисунок 2.3 – Схема направлений интерполяции

Для того чтобы произвести интерполяцию графическим способом необходимо на кальке провести ряд параллельных линий через 5 мм, которые будут соответствовать секущим плоскостям. Подписать их высоты по следующему принципу: каждая высота должна быть кратно заданной высоте сечения рельефа; наибольшая и наименьшая высоты должны находиться в пределах палетки (рисунок 2.4). На данном рисунке линии оцифрованы через 1 м. Затем палетку накладывают на



21  
Рисунок 2.4 – Интерполирование по палетке

линии интерполирования таким образом, чтобы их высоты согласовывались с высотами точек плана. Точки пересечения *a, b, c, d* линий палетки с линией плана прокалывают иглой циркуля-измерителя и в этих местах подписывают высоты горизонталей, которые пройдут в этих местах.

Точки с одинаковыми высотами соединяют плавными линиями-горизонтальными толщиной 0,1 мм, учитывая свойства горизонталей.

Горизонтали кратные 1, 2,5, 10 и 25 м следует наносить толщиной 0,25 мм и подписать их высоты в разрыве, чтобы основание цифры было направлено в сторону склона. По линиям водораздела и водослива проставляются бергштрихи на утолщенных и замкнутых горизонталях, которые показывают понижение высот. Все горизонтали обводятся коричневым карандашом. По окончании работы линии интерполирования и подписи горизонталей удаляются.

### 3 ТЕОДОЛИТЫ И РАБОТЫ С НИМИ

Теодолиты предназначены для измерения на местности горизонтальных и вертикальных углов, магнитных азимутов с помощью бусселей, а также расстояний нитяным дальномером и превышений способом тригонометрического нивелирования.

На рисунках 3.1 и 3.2 представлены схемы устройства теодолитов 4ТЗ0П и 2Т5К, под которыми приведены названия частей этих приборов.

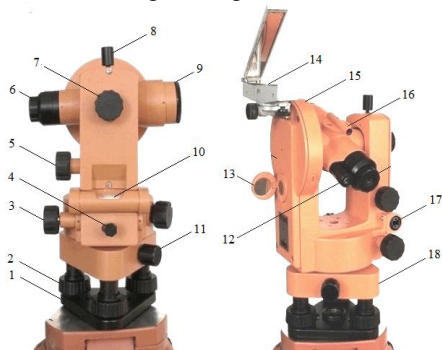


Рисунок 3.1 – Теодолит 4ТЗ0П

- 1 – основание; 2 – подъемный винт;
- 3 – наводящий винт алидады;
- 4 – закрепительный винт алидады;
- 5 – наводящий винт зрительной трубы;
- 6 – окуляр зрительной трубы;
- 7 – кремальера; 8 – закрепительный винт зрительной трубы;
- 9 – объектив зрительной трубы; 10 – цилиндрический уровень;
- 11 – закрепительный винт лимба; 12 – окуляр отсчетного микроскопа;
- 13 – зеркало для подсветки отсчетного устройства;
- 14 – ориентир-буссоль;
- 15 – вертикальный круг; 16 – визир;
- 17 – исправительные винты цилиндрического уровня; 18 – подставка

Для изучения устройства теодолитов необходимо перечисленные и обозначенные на рисунках 3.1 и 3.2 части, найти на самом приборе и разобраться в их назначении. В настоящее время промышленность выпускает теодолиты второго и третьего поколений этих моделей (4ТЗ0П, 3Т5КП), в которых улучшены и модернизированы некоторые устройства и технические

характеристики теодолитов 4Т30П и 2Т5К. В частности, в теодолите 2Т30 применено новое отсчетное устройство, позволяющее повысить точность снятия отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам. В теодолите 3Т5КП использована зрительная труба прямого изображения.

Для приведения теодолита в рабочее положение необходимо:

а) установить зрительную трубу по глазу, т. е. вращая диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы теодолита, добиться четкого изображения сетки нитей;

б) навести трубу на предмет; для этого предварительно наводят трубу на предмет с помощью оптического визира. После того как наблюдаемый предмет попал в поле зрения трубы, зажимают закрепительные винты алидады и зрительной трубы и устанавливают трубу по предмету вращением барабана кремальеры теодолита 4Т30П (у теодолитов 2Т5К, 3Т5КП фокусировочного кольца у окуляра трубы), добиваясь четкости изображения предмета. Затем, наводящими винтами алидады и зрительной трубы, совмещают центр изображения сетки нитей с визирной целью.

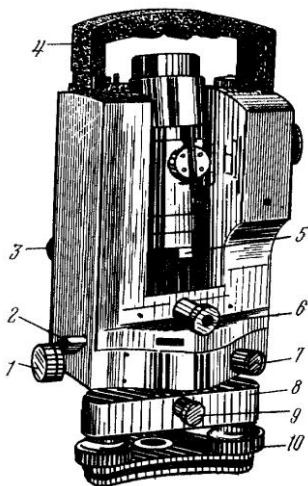


Рисунок 3.2 – Теодолит 2Т5К

1 – наводящий винт алидады горизонтального круга; 2 – закрепительный винт алидады горизонтального круга; 3 – установочный винт;

4 – ручка для переноса теодолита;

5 и 6 – окуляры зрительной трубы и оптического центра; 7 – ручка перестановки горизонтального круга; 8 – корпус подставки теодолита; 9 – закрепительный винт подставки теодолита; 10 – подъемный винт

дится по штриху микроскопа с точностью до 1'. Так, на рисунке 3.3, а отсчет по вертикальному кругу равен  $350^{\circ}48'$ , по горизонтальному –  $159^{\circ}46'$ .

В теодолитах Т30 и 2Т5К для снятия отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам используются отсчетные устройства в виде штрихового (у теодолита Т30) и шкалового микроскопов (у теодолита 2Т5К). Окуляр отсчетного устройства расположен рядом с окуляром зрительной трубы.

Перед снятием отсчетов необходимо, наблюдая в окуляр отсчетного устройства, вращая диоптрийное кольцо отсчетного микроскопа, установить четкое изображение штрихов горизонтального и вертикального кругов.

На рисунке 3.3, а показано поле зрения штрихового микроскопа, в верхней части которого, обозначенного буквой «В», видны штрихи вертикального круга, в нижней части, обозначенного буквой «Г», – штрихи горизонтального круга. Цена одного деления на обоих кругах составляет  $10'$ . Отсчет производится

На рисунке 3.3, б показано поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 4ТЗ0, который представляет собой шкаловой микроскоп. Цена деления горизонтального и вертикального кругов равна  $1^\circ$ , а цена деления шкалы –  $5'$ . Точность отсчета составляет при этом  $0,5'$ .

Деления вертикального круга нанесены с указанием знака «+» или «-», что облегчает определение знака угла наклона. Шкала вертикального круга имеет положительное и отрицательное направления отсчета. Например, на рисунке 3.3, б отсчет по горизонтальному кругу равен  $183^\circ 22,0'$ , по вертикальному кругу +  $1^\circ 11,5'$ . На рисунке 3.3, б отсчет по горизонтальному кругу равен  $295^\circ 37,5'$ , а по вертикальному –  $4^\circ 48'$ .

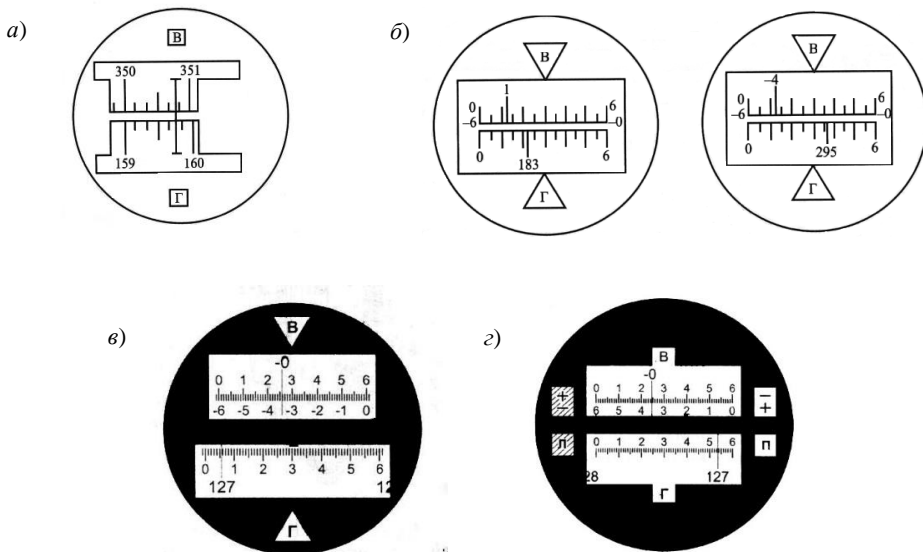


Рисунок 3.3 – Поле зрения отсчетного микроскопа:  
 а – (штрихового) теодолита Т30; б – (шкалового) теодолита Т30П;  
 в – теодолита 2Т5КП; г – теодолита 3Т5КП

На рисунке 3.3, в показано поле зрения отсчетного микроскопа 2Т5КП. Цена деления горизонтального и вертикального кругов составляет  $1^\circ$ . Цена деления шкалы равна  $1'$ , точность отсчета  $0,1'$ . Для рисунка 3.3, в отсчет по вертикальному кругу равен  $-0^\circ 34,0'$ , по горизонтальному –  $127^\circ 06,0'$ .

Отсчетное устройство теодолита 3Т5КП аналогично теодолиту 2Т5КП, за исключением того, что в поле зрения этого теодолита на вертикальном круге указан знак «+» или «-», что позволяет быстро определить знак угла наклона. Отсчет по вертикальному кругу производится по положительной или отрицательной шкале в зависимости от знака деления на вертикальном круге. Например, на рисунке 3.3, г приведено поле зрения теодолита 3Т5КП



при круге «лево». В этом случае отсчет по горизонтальному кругу составляет  $127^{\circ}54,0'$ , а по вертикальному –  $0^{\circ}25,0'$ .

Для правильной работы теодолита выполняются поверки, которые предполагают соблюдение основных геометрических условий в приборе. При этом ось вращения теодолита именуется вертикальной осью прибора, а ось вращения трубы – горизонтальной.

**Поверка 1. Ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита.**

Устанавливают цилиндрический уровень по направлению двух подъемных винтов теодолита и, вращая их в противоположные стороны, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Поворачивают алидаду теодолита на  $180^{\circ}$ . Если пузырек уровня отклоняется от середины не более чем на одно деление, то условие выполнено. В противном случае исправительными винтами уровня пузырек перемещают к нуль-пункту на половину дуги отклонения, а двумя подъемными винтами, по направлению которых стоит уровень, приводят пузырек на середину ампулы. Затем поверку повторяют.

**Поверка 2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси прибора.**

Приводят вертикальную ось прибора в отвесное положение. Наводят трубу теодолита при круге «право», а затем при круге «лево» на какую-либо удаленную точку, и после каждого наведения берут отсчеты « $\Pi_1$ » и « $\Lambda_1$ » по горизонтальному кругу. Затем, освободив закрепительный винт горизонтального круга, теодолит поворачивают на  $180^{\circ}$ . Зрительную трубу снова наводят на ту же точку при круге «право» и круге «лево» и берут отсчеты по горизонтальному кругу « $\Pi_2$ » и « $\Lambda_2$ ». Вычисляют величину коллимационной ошибки « $C$ » по формуле

$$C = ((\Pi_1 - \Lambda_1 \pm 180^{\circ}) + (\Pi_2 - \Lambda_2 \pm 180^{\circ})) / 4.$$

Величина  $C$  не должна превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита. В противном случае исправляют коллимационную ошибку. Для этого устанавливают по отсчетному микроскопу на горизонтальном круге отсчет  $B = \Pi_2 - C$ , затем отвинчивают колпачок окуляра зрительной трубы, ослабляют один из вертикально расположенных винтов сетки нитей, а двумя горизонтальными винтами перемещают оправу с сеткой нитей до совмещения изображения точки с вертикальным штрихом сетки. Поверку повторяют. После исправления сетки нитей закрепляют исправительные винты и навинчивают колпачок.

**Поверка 3. Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.**

Теодолит устанавливают в 20–30 м от стены здания, вертикальную ось приводят в отвесное положение и наводят трубу на какую-либо точку, расположенную под углом  $30$ – $50^{\circ}$  над горизонтом. Затем наклоняют трубу вниз

примерно до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию точки – пересечение основных штрихов сетки нитей. Далее переводят трубу через зенит и при другом положении круга проектируют ту же точку вниз. Если проекции точки не совпадают, то неисправность устраняют в мастерской.

**Поверка 4. Один из штрихов сетки нитей должен быть перпендикулярен горизонтальной оси прибора.**

Приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение. Наводят вертикальный штрих на какую-либо точку на стене и, вращая наводящим винтом трубы, смотрят, не сходит ли изображение точки с вертикального штриха сетки. Если изображение сходит, то снимают колпачок, отпускают четыре крепежных винта окуляра и поворачивают окуляр так, чтобы вертикальный штрих сетки нитей расположился вертикально. Закрепляют винты и поверку повторяют.

Установить теодолит в рабочее положение. Для этого необходимо выполнить центрирование и горизонтирование теодолита.

Центрирование теодолита над точкой производится с помощью нитяного (ТЗО) или оптического (2Т5К) отвеса.

Горизонтирование теодолита предполагает приведение вертикальной оси теодолита в отвесное положение. Для этого устанавливают цилиндрический уровень алидады горизонтального круга по направлению двух подъемных винтов и приводят пузырек уровня на середину ампулы, затем поворачивают алидаду на  $90^\circ$  (уровень располагают по направлению 3-го подъемного винта). Вращая 3-й подъемный винт, пузырек уровня приводят на середину ампулы. Такие действия повторяют до тех пор, пока при вращении алидады пузырек не будет уходить от середины более чем на одно деление уровня.

**Последовательность действий при измерении горизонтального угла между двумя направлениями способом приемов.** Для измерения горизонтального угла теодолит устанавливают на штативе и производят центрирование и горизонтирование прибора.

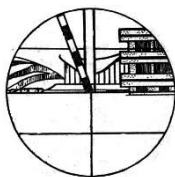


Рисунок 3.4 – Наведение на вешку

Зажимают закрепительный винт лимба и, вращая алидаду при круге право, наводят трубу теодолита на правую для наблюдателя точку. Образец наведения показан на рисунке 3.4 (изображение основания вехи вводят в биссектор сетки нитей). Производят отсчет по горизонтальному кругу теодолита.

Наводят трубу теодолита на левую для наблюдателя точку и также производят отсчет по горизонтальному кругу теодолита. Значение угла вычисляют как разность отсчетов на правую и левую точки. Если от-

счет на правую точку окажется меньше отсчета на левую, то к отсчету на правую точку прибавляют  $360^\circ$ . Указанные действия составляют первый полуприем. Во втором полуприеме выполняют аналогичные действия при круге «лево». Для этого переводят трубу теодолита через зенит, а алидаду поворачивают на  $180^\circ$ . Для устранения грубого просчета лимб перемещают по азимуту на  $1-2^\circ$ . Два полуприема составляют полный прием. Расхождение значений угла, полученных в первом и втором полуприемах, на должно превышать удвоенной точности отсчетного устройства (у теодолита ТЗ0 –  $2'$ ; 2Т5К –  $0,2'$ ). При соблюдении указанного допуска вычисляют среднее значение угла из двух полуприемов. В противном случае (недопустимое расхождение значений угла в полуприемах) измерения повторяют.

Отсчеты и значения углов записывают в журнал соответствующей формы. Образец записи показан в таблице 3.1.

Т а б л и ц а 3.1 – Измерение горизонтальных углов способом приемов

Точка стоянок	Круг	Точка наблюдений	Отсчеты		Угол		Средний из углов		Магнитный азимут
			градус	минуты	градус	минуты	градус	минуты	
IV	П	4	206	13	32	37	32	38	$41^\circ 43'$
		3	173	36					$32^\circ 39'$
	Л	4	27	48	32	39			$9^\circ 04'$
		3	355	09					

**Измерение магнитного азимута сторон угла и контроль полученной величины горизонтального угла.** Для измерения магнитного азимута теодолитом применяют магнитную буссоль, которая входит в комплект теодолита и подсоединяется к нему по резьбе в специальном посадочном пазе (см. рисунки 3.1 и 3.2). Современные теодолиты обычно снабжены ориентир-буссолью.

При использовании для измерения магнитного азимута ориентир-буссоли предварительно устанавливают диаметр горизонтального круга  $0-180^\circ$  параллельно направлению магнитного меридиана. Для этого зажимают закрепительный винт лимба и вращением алидады устанавливают на горизонтальном круге теодолита отсчет  $0^\circ 00'$ . Зажимают закрепительный винт алидады, отпускают закрепительный винт лимба и, вращая теодолит, совмещают магнитную стрелку с центральными штрихами буссоли, расположенными по направлению север–юг. Затем вновь зажимают закрепительный винт лимба и, вращая алидаду горизонтального круга теодолита, наводят зрительную трубу вначале на правую точку, а затем на левую и снимают отсчеты по горизонтальному кругу. Эти отсчеты и будут являться магнитными азимутами данных направлений. По разности магнитных азимутов вычисляют величину горизонтального угла и сравнивают ее со средним значением угла. Допускается расхождение между ними не более двойной точности отсчетного устройства теодолита.

**Измерение вертикального угла на рейку.** Вертикальным углом называется угол, лежащий в отвесной плоскости между линией визирования и ее горизонтальной проекцией. Измерение вертикального угла теодолитом выполняют в следующем порядке. После подготовки теодолита к работе (центрирование и горизонтирование прибора) наводят зрительную трубу на рейку при круге «право», затем при круге «лево» так, чтобы средний горизонтальный штрих сетки нитей касался верхнего конца рейки (см. рисунок 3.5). Отсчеты берут по вертикальному кругу (П и Л).

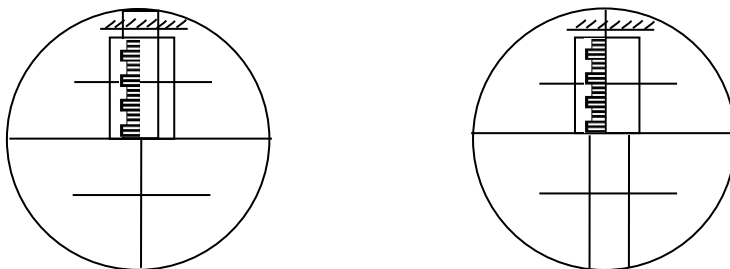


Рисунок 3.5 – Наведение на рейку при измерении вертикального угла

У теодолита ТЗ0 (2ТЗ0) уровень при алидаде вертикального круга отсутствует, поэтому здесь проверяют, чтобы пузырек уровня при алидаде горизонтального круга не отклонялся от середины более чем на одно деление.

У теодолитов 2Т5К и 3Т5КП вместо уровня при алидаде вертикального круга имеется самоустанавливающийся компенсатор, который позволяет после установки теодолита в рабочее положение и наведения зрительной трубы на точку сразу снимать отсчеты по вертикальному кругу без дополнительных действий.

Вычисляют значения места нуля (МО), которое представляет собой отсчет по вертикальному кругу теодолита, когда визирная ось трубы горизонтальна, а пузырек уровня при алидаде вертикального круга находится в нуль-пункте:

$$\text{для теодолитов ТЗ0: } \text{МО} = ((\text{Л} + \text{П}) - 180^\circ) / 2;$$

$$\text{для теодолитов 2ТЗ0, 4ТЗ0 и 2Т5К: } \text{МО} = (\text{Л} + \text{П}) / 2;$$

$$\text{для теодолитов 3Т5КП: } \text{МО} = (\text{Л} - \text{П}) / 2.$$

Вертикальный угол (угол наклона) на верх рейки вычисляют по формулам:

$$\text{для теодолита ТЗ0: } \nu = \text{Л} - \text{МО} \text{ или } \nu = \text{МО} - \text{П} - 180^\circ;$$

$$\text{для теодолитов 2ТЗ0, 4ТЗ0 и 2Т5К: } \nu = \text{Л} - \text{МО} \text{ или } \nu = \text{МО} - \text{П};$$

$$\text{для теодолитов 3Т5КП: } \nu = \text{Л} - \text{МО} \text{ или } \nu = \text{П} + \text{МО}.$$

Все отсчеты и результаты вычислений заносят в журнал соответствующей формы. Образец записи показан в таблице 3.2.

Из определения места нуля следует, что при горизонтальном положении визирной оси трубы теодолита отсчет по вертикальному кругу должен быть равен нулю. Однако это условие иногда не соблюдается, что создает неудобства при измерении и вычислении вертикальных углов.

Т а б л и ц а 3.2 – **Вычисление вертикального угла и место нуля**

Точка стояния	Точка наведения	Положение вертикального круга	Отсчеты		Место нуля	Вертикальный угол
			градусы	минуты		
Ш	Рейка 2	П	Теодолит Т30		+0°02,0'	+3°28,0'
			176	34		
			3	30		

Поэтому приведение места нуля к значению близкому к 0°, является одним из основных требований при работе с вертикальным кругом теодолита. При этом МО не должно превышать двойной точности отсчетного устройства теодолита. В зависимости от модели теодолита поверку МО выполняют по-разному. В теодолитах Т30 и 2Т30, 4Т30 после наблюдения точки местности и определения МО устанавливают при круге «лево» наводящим винтом зрительной трубы отсчет по вертикальному кругу равный (Л – МО). В результате центр сетки нитей сойдет с наблюдаемой точки. Действуя вертикальными исправительными винтами сетки нитей, совмещают ее средний горизонтальный штрих с той же точкой. Для контроля действия повторяют.

**Измерение расстояний при помощи нитяного дальномера теодолита.** Нитяной дальномер теодолита представляет собой два горизонтальных штриха, расположенных параллельно среднему штриху сетки нитей. При измерении расстояния с помощью нитяного дальномера на одном конце линии устанавливают теодолит, а на другом – дальномерную рейку. Наводят трубу теодолита на рейку и берут дальномерный отсчет между двумя штрихами нитяного дальномера. Для удобства снятия дальномерного отсчета верхний штрих нитяного дальномера наводят на верх одного из дециметровых (шашечных) делений нивелирной рейки, а по нижнему дальномерному штриху производят отсчет (рисунок 3.6).

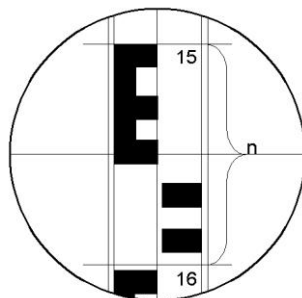


Рисунок 3.6 – Измерение расстояний нитяным дальномером теодолита

Расстояние между точками вычисляют по формуле

$$D = kn + c,$$

где  $k$  – коэффициент нитяного дальномера, который обычно равен 100;

$n$  – отсчет, снятый по рейке с точностью до десятых долей сантиметра;

$c$  – постоянная дальномера, обычно равна нулю.

Так, для отсчета  $n = 9,6$  см., а расстояние  $D = 100 \cdot 9,6 + 0 = 960$  см = 9,6 м.

**Измерение превышения теодолитом способом тригонометрического нивелирования.** Для определения превышения теодолитом используют способ тригонометрического нивелирования (рисунок 3.7).

В этом способе превышение определяется по формуле

$$h = h' + i - V,$$

где  $h'$  – превышение над горизонтальным лучом теодолита.

$i$  – высота теодолита (измеряется с помощью рулетки или рейки до центра окуляра зрительной трубы с точностью до 0,01 м);

$V$  – высота наведения (при наведении на верх рейки  $V = 1,5$  м);

Из рисунка видно, что

$$h' = d \operatorname{tg} \nu \quad (1),$$

где  $\nu$  – угол наклона (вертикальный угол);

$d$  – горизонтальное проложение линии.

Учитывая, что

$$d = D \cos^2 \nu \quad (2)$$

можно вычислить величину  $h'$  через наклонное расстояние  $D$ .

Для этого подставим в формулу (1) величину  $d$  из (2), получим

$$h' = d \operatorname{tg} \nu = D \cos^2 \nu (\sin \nu / \cos \nu) = D \cos \nu \sin \nu = 0,5 D \sin 2 \nu.$$

Для определения величины  $h'$  можно использовать микрокалькулятор или тахеометрические таблицы. Величину  $h'$  вычисляют с точностью до 0,01 м. Результаты измерений по определению превышений заносят на соответствующий рисунок в задании (см. рисунок 3.7).

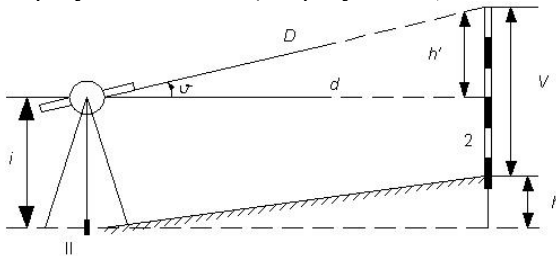


Рисунок 3.7 – Определение превышения способом тригонометрического нивелирования

### Последовательность действий при определении превышения.

1 Угол наклона  $\nu$  и расстояние  $D$  выписывают соответственно из пунктов 2.9 и 2.10 индивидуального задания студента;

2 Измеряют высоту прибора –  $i$ ;

- 3 Измеряют высоту визирования –  $V$ ;  
 4 Вычисляют превышение по формуле тригонометрического нивелирования

$$h = 0,5D\sin(2\nu) + i - V \text{ или } h = d \operatorname{tg} \nu + i - V.$$

#### 4 НИВЕЛИРЫ И РАБОТЫ С НИМИ

**Общие сведения и классификация.** Нивелир – это геодезический прибор, который служит для получения горизонтального визирного луча на местности и используется для определения превышений и высот (отметок) способом геометрического нивелирования. По своей точности нивелиры выпускают 3 типов:

- а) высокоточные (Н-0,5);  
 б) точные (Н-3);  
 в) технические (Н-10).

Цифры в шифре нивелира указывают среднюю квадратическую погрешность измерения превышения в миллиметрах на 1 км двойного нивелирного хода. Например, для нивелира Н-3 средняя квадратическая погрешность составляет 3 мм на 1 км хода. В зависимости от способа получения горизонтального луча визирования каждый из трех типов нивелиров изготавливается в двух вариантах:

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

В настоящее время выпускаются нивелиры улучшенной конструкции 2-го и 3-го поколений, например 2Н-5КЛ и 3Н-3ЛП. Первая цифра обозначает поколение. При наличии компенсатора в шифр прибора добавляется буква «К». Если нивелир изготовлен с лимбом для измерения горизонтальных углов, то еще добавляется буква «Л». Если нивелир прямого изображения, то в шифр добавляется буква «П».

Нивелир Н-3 относится к приборам с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе (рисунок 4.1).

- 1 – подъемные винты;  
 2 – круглый уровень;  
 3 – элевационный винт;  
 4 – окуляр зрительной трубы;  
 5 – визир;  
 6 – кремальера;  
 7 – объектив зрительной трубы;  
 8 – закрепительный винт;  
 9 – наводящий винт;  
 10 – цилиндрический уровень;  
 11 – юстировочные винты уровня

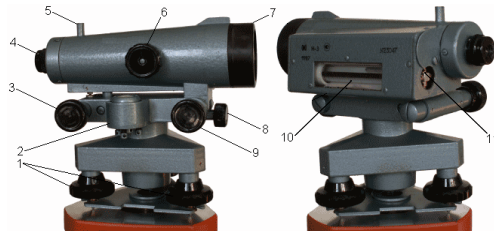
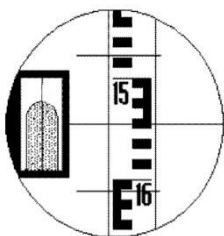


Рисунок 4.1 – Устройство нивелира

Для установки нивелира в рабочее положение его закрепляют на штативе и, действуя тремя подъемными винтами, приводят пузырек круглого уровня в центр ампулы. При этом ось вращения нивелира занимает отвесное положение. Наведение зрительной трубы на рейку осуществляют вначале вручную с помощью мушки, а затем зажимают закрепительный винт зрительной трубы и наводящим винтом делают точное визирование на рейку. Резкость изображения сетки нитей достигается вращением окулярного кольца, а резкость изображения рейки – вращением винта кремальеры. Перед каждым отсчетом по рейке визирную ось нивелира приводят в горизонтальное положение, добиваясь совмещения изображения концов пузырька цилиндрического уровня в поле зрения зрительной трубы путем вращения элевационного винта (рисунок 4.2).



Отсчет по рейке 1546 мм

Рисунок 4.2 – Поле зрения трубы

Отсчет по рейке состоит из четырех цифр и выражает величину в миллиметрах. Производить отсчет необходимо по среднему горизонтальному штриху сетки нитей. Отсчет по рейке берут от меньшего к большему числу. Первые две цифры отсчета, обозначающие метры и дециметры на рейке подписаны (на рисунке 4.2 эти цифры 15), третья цифра считается по числу сантиметровых шашек от начала дециметрового деления до среднего горизонтального штриха сетки нитей (на рисунке 4.2 – 4 шашечки). Следует отметить, что в каждом дециметре первые пять шашек с сантиметровыми делениями объединены в виде буквы Е (см. рисунок

4.2). Четвертая цифра, обозначающая миллиметры, по рейке оценивается на глаз (на рисунке 4.2 это 6 мм). Тогда полный отсчет по рейке составит 1546.

**Поверки нивелира Н-3.** Под поверками нивелира понимают действия, контролирующие соблюдение условий, которым должен удовлетворять прибор для геометрического нивелирования. Поверки выполняют перед началом полевых работ. При невыполнении условий поверок производят необходимые исправления (юстировки). Нивелир Н-3 должен удовлетворять следующим геометрическим условиям (поверкам):

**Поверка 1.** *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.*

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



**Проверка 2. Средний горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен оси вращения нивелира.**

Ось вращения нивелира устанавливают в отвесное положение. Наводят зрительную трубу на неподвижную рейку, установленную в 20–30 м от нивелира. Условие будет выполнено, если при плавном вращении трубы горизонтальный штрих не будет сходить с точки наведения (то есть отсчет по рейке будет оставаться неизменным). Если условие не выполняется, то отвинчивают и снимают окулярную часть зрительной трубы и поворачивают диафрагму с сеткой нитей, предварительно ослабив крепящие ее винты.

**Проверка 3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.**

Это главное условие нивелира проверяется двойным нивелированием конечных точек линии 50–75 м (рисунок 4.3).

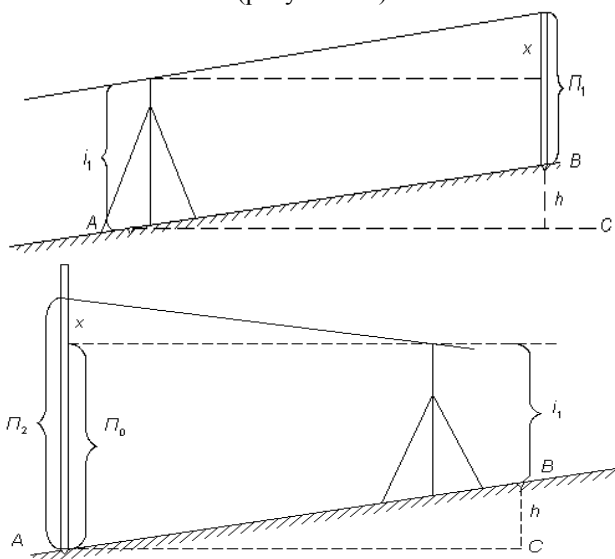


Рисунок 4.3 – К проверке главного условия нивелира Н-3

На конечных точках забивают колышки. Нивелир устанавливают на начальной точке линии, а рейку – на конечной. Приведя элевационным винтом нивелира пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, снимают отсчет по рейке  $\Pi_1$  и измеряют высоту нивелира  $i_1$  с точностью до 1 мм. Например,  $\Pi_1 = 1426$  мм,  $i_1 = 1371$  мм. Затем меняют нивелир и рейку местами и, приведя элевационным винтом пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт, снимают отсчет по рейке  $\Pi_2$ , измеряют высоту нивелира  $i_2$ . Например:  $\Pi_2 = 1260$  мм,  $i_2 = 1337$  мм. Если ось цилиндрического уровня непараллельна визирной оси трубы, то отсчеты по рейке будут ошибочны на величину

$$X = 0,5 ((\Pi_1 + \Pi_2) - (i_1 + i_2)).$$

Величина  $X$  должна быть не более  $\pm 4$  мм, если  $X$  превышает указанную величину, тогда, не снимая нивелира со второй станции, элевационным винтом устанавливают средний горизонтальный штрих сетки нитей на отсчет по рейке, равный  $\Pi_2 - X$ . При этом произойдет смещение изображений половинок концов пузырька уровня в поле зрения трубы. Сняв крышку коробки цилиндрического уровня, вертикальными исправительными винтами производят точное совмещение половинок концов пузырька уровня в поле зрения трубы. Затем поверку повторяют до соблюдения условия.

Пример. Для вышеуказанных отсчетов

$$X = 0,5 ((1426 + 1260) - (1371 + 1337)) = 0,5(-22) = -11 \text{ мм} > 4 \text{ мм}.$$

Поэтому необходимо выполнить юстировку уровня. Для этого устанавливают элевационным винтом по рейке отсчет  $\Pi_2 - X = 1260 - (-11) = 1271$  мм и исправительными винтами совмещают концы пузырька уровня.

**Нивелир Н-3К:** (ранее выпускался нивелир одностипной конструкции НС-4). Этот нивелир относится к приборам компенсаторного типа с самоустанавливающейся линией визирования (рисунок 4.5–4.6). Главной конструктивной особенностью таких нивелиров является то, что при небольших углах наклона зрительной трубы ( $\alpha < \pm 15^\circ$ ) луч визирования устанавливается компенсатором в горизонтальное положение автоматически. Время самоустановки визирного луча составляет 1–2 с. Оптико-механический компенсатор расположен между фокусирующей линзой и сеткой нитей трубы нивелира (см. рисунок 4.6). Компенсатор состоит из двух прямоугольных призм, одна из которых 5 наглухо прикреплена к корпусу трубы, вторая 6 подвешена на двух парах скрещивающихся стальных нитях 7. При наклоне трубы на небольшой угол ( $\pm 15^\circ$ ), подвижная призма наклоняется в противоположную сторону на такой угол, чтобы направить горизонтальный луч, идущий от рейки точно на центр сетки путей. Успокоение подвижной призмы компенсатора обеспечивается воздушным демпфером. Экономия времени на установку визирной оси нивелира Н-3К в горизонтальное положение с помощью компенсатора составляет до 50 % по сравнению с установкой по уровню в нивелире Н-3.

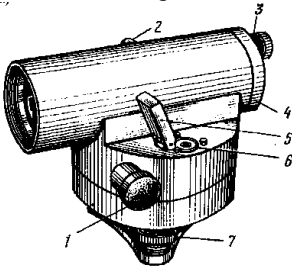


Рисунок 4.5 – Нивелир Н-3К:

1 – винт наводящего устройства бесконечной наводки; 2 – кремальера; 3 – окуляр с диоптрийным кольцом; 4 – предохранительный колпачок; 5 – откидное зеркальце; 6 – круглый уровень с тремя юстировочными винтами; 7 – подъемный винт

Нивелир приводят в рабочее состояние по круглому уровню тремя подъемными винтами. Когда пузырек круглого уровня находится в центре, ось вращения нивелира занимает отвесное положение. Нивелир Н-ЗК не имеет закрепительного винта, поэтому приближенное наведение зрительной трубы на рейку осуществляется рукой и надежно фиксируется в нужном направлении. Точное наведение трубы на рейку выполняют вращением наводящего винта бесконечной наводки. Перед снятием отсчета по рейке необходимо, проверить, чтобы пузырек круглого уровня находился в центре.

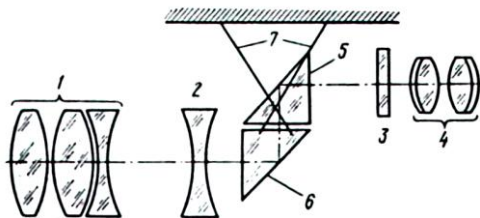


Рисунок 4.6– Оптическая схема зрительной трубы нивелира с компенсатором Н-ЗК:

1 – трехлинзовый объектив; 2 – фокусирующая линза; 3 – сетка нитей;  
4 – окуляр; 5, 6, 7 – компенсатор

**Проверки нивелира Н-ЗК. Проверки 1, 2 и 4** нивелира Н-ЗК выполняются и исправляются аналогично проверкам нивелира Н-3.

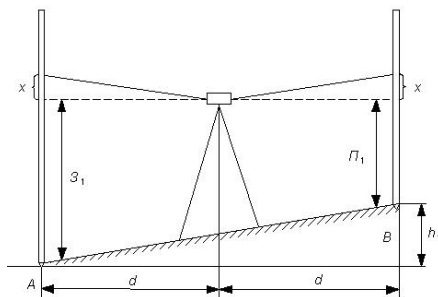
**Проверка 3. После приведения нивелира в рабочее положение визирная ось должна занимать горизонтальное положение.**

Это условие является главным для нивелиров с компенсатором. Для выполнения проверки на местности закрепляют кольшками концевые точки линии длиной 50–70 м. Нивелир устанавливают точно на середине данной линии (рисунок 4.7, а), приводят его в рабочее положение по круглому уровню, снимают отсчеты по рейкам, установленным на концах линии  $Z_1$  и  $P_1$ , и определяют превышение  $h_1 = Z_1 - P_1$ . Затем нивелир переносят в точку на расстоянии 3–5 м от переднего конца линии (наименьшее расстояние визирования) (см. рисунок 4.7, б) и вновь снимают отсчеты по рейкам, установленным на концах линии  $Z_2$  и  $P_2$ , и определяют превышение  $h_2 = Z_2 - P_2$ . Разность  $\Delta = h_2 - h_1$  между превышениями не должна быть больше  $\pm 4$  мм. Если эта разность больше указанного допуска, то находят исправленный отсчет на заднюю рейку  $Z_{исп} = h_1 + P_2$ . При этом отсчет  $P_2$  принимают за безошибочный (ввиду малого расстояния до передней рейки). Сняв крышку у окуляторной части трубы и действуя исправительными винтами сетки, наводят средний горизонтальный штрих сетки нитей на исправленный отсчет  $Z_{исп}$ . Проверку повторяют до соблюдения условия.

**Пример.** На станции 1:  $Z_1 = 1120$  мм;  $P_1 = 0908$  мм;  $h_1 = 1120 - 0908 = + 212$  мм. На станции 2:  $Z_2 = 1346$  мм.;  $P_2 = 1114$  мм.;  $h_2 = 1346 - 1114 =$

$= + 232$  мм.  $\Delta = h_2 - h_1 = 232 - 212 = + 20$  мм. Поскольку  $\Delta$  более 4 мм, то средний горизонтальный штрих сетки нитей надо установить исправительными винтами на отсчет  $Z_{исп} = h_1 + П_2 = 212 + 1114 = 1326$  мм.

а)



б)

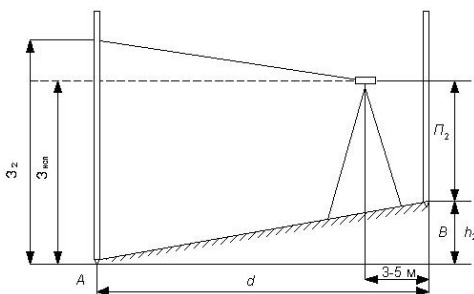


Рисунок 4.7 – Проверка визирной оси нивелира Н-3К

### Принцип измерения превышений нивелированием из середины.

Геометрическое нивелирование из середины выполняют с помощью нивелира и нивелирных реек. Для этого необходимо установить в точках А и В нивелирные рейки, а между ними нивелир (рисунок 4.8). Направив горизонтальную визирную ось нивелира на рейки, выполняют отсчеты по черным и красным сторонам реек.

Если точку А считать задней, а точку В передней, то отсчеты производят в следующем порядке:

- 1) задняя черная сторона ( $a_ч$ ), в примере  $a_ч = 0680$  мм ;
- 2) передняя черная сторона ( $b_ч$ ) записана в графу 4 таблицы 4.1 ( $b_ч = 0534$  мм);
- 3) передняя красная сторона ( $b_{кр}$ ) записана в графу 4 ( $b_{кр} = 5333$ );
- 4) задняя красная сторона ( $a_{кр}$ ) записана в графу 3 ( $a_{кр} = 5480$  мм);
- 5) если необходимо, то снимают отсчет на промежуточную (плюсовую) точку С только по черной стороне и записываются в журнал ( $c = 0438$ ).



Округляют среднее превышение до 1 мм к ближайшей четной цифре и записывают в графы 8 или 9 журнала в зависимости от знака превышения.

Отметку  $H_a$  записывают в графу 11 напротив точки А (в таблице 4.1  $H_a = 146,252$ ).

Зная  $H_a$  и  $h_{cp}$  можно определить высоту точки В

$$H_b = H_a + h_{cp} = 146,252 + 0,146 = 146,398 \text{ м.}$$

Записываем эту высоту в графу № 11 напротив точки В. Горизонт нивелира можно вычислить по формуле

$$ГН = H_a + a_c = 146,252 + 0,680 = 146,932 \text{ м.}$$

Записывают ГН в графу 10 журнала. Через горизонт нивелира можно вторым способом определить высоту точки В по формуле  $H_b = ГН - a_c$ . Например,  $H_b = 146,932 - 0,534 = 146,398 \text{ м.}$

Через горизонт нивелира вычисляют также высоты промежуточных точек (С) по формуле  $H_c = ГН - c = 146,932 - 0,438 = 146,494 \text{ м.}$

Записывают  $H_c$  в графу 11 напротив точки С.

## 5 ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

**Общие указания.** Совокупность геодезических измерений, в результате которых получают план местности, называется топографической съемкой.

Теодолитной съемкой называют один из видов наземных съемок (горизонтальных), целью которого является получение контурного плана местности, без изображения на нем рельефа. Выполняется с помощью теодолита и мерных приборов или дальномера. Теодолитную съемку производят для получения горизонтального (контурного) плана местности. Теодолитные ходы по точности делят на теодолитные ходы 1-го и 2-го разрядов, прокладываемые с относительной погрешностью соответственно 1/2000 и 1/1000. Работы по теодолитной съемке подразделяют на полевые и камеральные. К полевым относят измерения на местности, а к камеральным – обработку результатов и составление плана. В теодолитной, как и в других видах съемки, снимают характерные точки ситуации, например, точки излома или изгиба контуров, углы зданий и т. п., наносят их на план и по ним проводят линии контуров ситуации. Обязательным условием при проложении теодолитных ходов является их привязка к пунктам плановой опорной сети, позволяющая контролировать результаты измерений и обеспечивать их необходимую точность. Съемочной основой теодолитной съемки служат, как правило, теодолитные ходы (замкнутые и разомкнутые).

В качестве примера для съемки участка местности по его границам проложен замкнутый теодолитный ход (рисунок 5.1), в котором измерены внутренние, правые по ходу, горизонтальные углы и длины линий (сторон).

Средние значения углов  $\beta$  и горизонтальные проложения длин линий  $d$  приведены в таблице 5.1 и являются общими для всех вариантов.

К исходным данным относится дирекционный угол  $\alpha_{1-2}$  стороны 1–2 ординаты  $x_1, y_1$  станции № 1, значения которых вычисляются согласно присвоенному шифру для каждого студента. Вычисление прямоугольных координат точки 1 ( $x_1, y_1$ ). В этом случае номер шифра составляет сантиметры. Это значение необходимо перевести в метры делением на 100. В результате получается значение  $N = 5,5$  м. Тогда по условию задания  $x_1 = 1864,73 + N = 1870,23$  м;  $y_1 = 4326,41 + N = 4331,91$  м.

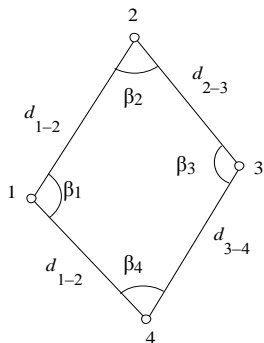


Рисунок 5.1 – Схема теодолитного хода

Т а б л и ц а 5.1 – Результаты полевых измерений

Номер точки хода	Измеренные углы $\beta$	Горизонтальные проложения, $d$ , м
1	106° 40,0'	304,25
2	45° 54,5'	196,49
3	142° 46,0'	222,7
4	64° 40,5'	182,23
1	–	

Результаты измерения длины линии  $D$  между станциями 1–2 составляют 304,91 м, угол наклона составляет 3°45'. Необходимо вычислить горизонтальное проложение  $d$  (рисунок 5.2), которое рассчитывается по формуле

$$d = D \cos v, \quad (5.1)$$

где  $D$  – измеренное расстояние, м;

$v$  – угол наклона.

Подставив значение в формулу получим  $d = 304,91 \cos 3^\circ 45' = 304,25$  м.

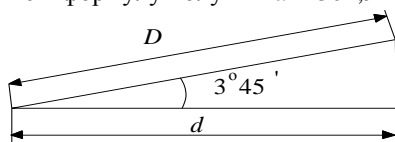


Рисунок 5.2 – Определение горизонтального проложения.

Математическая обработка результатов полевых измерений ведется в специальной ведомости вычисления координат точек теодолитного хода (таблица 5.2), для  $\alpha_{1-2} = 212^{\circ}07'$  и  $x_1 = +2370,37$  м и  $y_1 = -2370,37$  м.

Начинают обработку с заполнения граф 1, 2 и 5 ведомости, в которые вписывают соответственно номера точек теодолитного хода, измеренные углы и горизонтальные проложения из таблицы 5.1. Затем подсчитывают практическую сумму измеренных углов  $\Sigma\beta_{\text{пр}}$  и сравнивают ее с теоретическим значением  $\Sigma\beta_{\text{т}}$ , вычисляемым по формуле

$$\Sigma \beta_{\text{пр}} = 180^{\circ}(n - 2), \quad (5.2)$$

где  $n$  – число углов поворота в теодолитном ходе.

Разность между практической суммой углов и ее теоретическим значением называют угловой невязкой хода  $f_{\beta}$ , которую вычисляют с точностью до  $0,1'$ . Невязка может быть как положительной, так и отрицательной

$$f_{\beta} = \Sigma \beta_{\text{пр}} - \Sigma \beta_{\text{т}} = \Sigma \beta_{\text{пр}} - 180^{\circ}(n - 2). \quad (5.3)$$

Например, в замкнутом четырехугольнике ( $n = 4$ ) практическая сумма измеренных углов  $\Sigma\beta_{\text{пр}} = 359^{\circ}58'$ . Теоретическая сумма углов составит  $\Sigma\beta_{\text{т}} = 180^{\circ}(n - 2) = 180^{\circ}(4 - 2) = 360^{\circ}00'$ . Тогда невязка  $f_{\beta} = 359^{\circ}58' - 360^{\circ}00' = -2'$ . Полученную невязку сравнивают с допустимым значением, подсчитываемом по формуле

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1'\sqrt{n}, \quad (5.4)$$

где  $n$  – число углов в ходе.

Если  $f_{\beta} \leq f_{\beta \text{ доп}}$ , то производят уравнивание углов, вводя в них поправки  $V_{\beta}$  со знаком, обратным знаку невязки, поровну на все углы.

$$V_{\beta} = -f_{\beta} / n. \quad (5.5)$$

При этом следует стремиться, чтобы исправленные углы имели целые значения минут. Сумма введенных поправок должна равняться невязке с обратным знаком. Поправки нужно вписать в графу 2 ведомости вычисления координат над соответствующими измеренными углами.

Исправленные углы  $\beta_{\text{исп}}$  вычисляют как сумму измеренных углов и поправок к ним с учетом знаков последних и записывают в графу 3:

$$\beta_{\text{исп}} = \beta_i + V_{\beta}. \quad (5.6)$$

Сумма исправленных углов должна равняться теоретическому значению (для  $n = 4$ ,  $\Sigma\beta_{\text{т}} = 360^{\circ}00'$ ).





Вычисленный по шифру студента дирекционный угол стороны 1-2 записывают в графу 4 ведомости вычисления координат между точками 1 и 2 (см. таблицу 5.2). Вычисление дирекционных углов остальных сторон хода вычисляют последовательно по формуле

$$\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} + 180^\circ - \beta_{\text{исп}} \quad (5.7)$$

где  $\alpha_{\text{посл}}$ ,  $\alpha_{\text{пред}}$  – дирекционные углы последующей и предыдущей сторон теодолитного хода;

$\beta_{\text{исп}}$  – исправленный правый угол при вершине, образованной этими сторонами.

Например. Исходный дирекционный угол стороны 1-2  $\alpha_{1-2} = 212^\circ 07'$ , тогда дирекционный угол следующей стороны составит

$$\begin{aligned} \alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{2 \text{ исп}} \\ \alpha_{2-3} &= 212^\circ 07' + 180^\circ - 25^\circ 27' = 366^\circ 40' - 360^\circ = 6^\circ 40' \\ \alpha_{3-4} &= \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_{3 \text{ исп}} \\ \alpha_{3-4} &= 6^\circ 40' + 180^\circ - 164^\circ 09' = 22^\circ 31'. \end{aligned}$$

Так производится расчет всех последующих дирекционных углов. Для контроля повторно вычисляют исходный дирекционный угол стороны 1-2 по формуле

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{4-1} + 180^\circ - \beta_{\text{исп}} \quad (5.8)$$

Полученный результат должен быть равен значению  $\alpha_{1-2}$ , в противном случае вычисление дирекционных углов сторон необходимо повторить. При соблюдении контрольного равенства дирекционные углы заносят в соответствующую графу 4 ведомости вычисления координат (см. таблицу 5.2).

Дирекционные углы переводят в румбы ( $r$ ) с целью дальнейшего использования их при вычислении приращений координат по таблицам. При этом используют известные соотношения между дирекционными углами и румбами в разных четвертях, представленные в таблице 5.3.

Например, дирекционный угол линии  $\alpha_{1-2} = 212^\circ 07'$  (III четверть); тогда значение румба этой линии будет  $r_{1-2} = 212^\circ 07' - 180^\circ$  или  $r_{1-2} = \text{ЮЗ:}32^\circ 07'$  (см. таблицу 1.2, гр. 5).

Приращения координат вычисляют по формулам

$$\Delta X = d \cos \alpha; \quad \Delta Y = d \sin \alpha \quad (5.9)$$

или

$$\Delta X = d \cos r; \quad \Delta Y = d \sin r \quad (5.10)$$

где  $\Delta X$  и  $\Delta Y$  – приращения координат  $i$ -й стороны;

$d$  – горизонтальное проложение этой стороны;

$\alpha$  и  $r$  – дирекционный угол и румб этой же стороны.

**Т а б л и ц а 5.3 – Связь дирекционных углов, румбов и знаки приращений координат по четвертям**

Четверти	Величины дирекционных углов	Название румбов	Соотношения между дирекционными углами и румбами	Знаки приращений координат по четвертям	
				$\Delta x$	$\Delta y$
I	0–90°	СВ	$r = \alpha$	+	+
II	90–180°	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$	–	+
III	180–270°	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$	–	–
IV	270–360°	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$	+	–

При вычислениях по формулам (5.9), (5.10) обычно используют микрокалькулятор с тригонометрическими функциями.

Результаты вычислений приращений координат округляют до 0,01 м. Знаки приращений координат зависят от четверти, в которой расположен дирекционный угол, или от названия румба. Их выписывают, используя две последние колонки таблицы 5.3. Например, при вычислении приращений координат для стороны 1-2, дирекционный угол которой равен 212°07' (III четверть), получается;

$$\Delta X = d_{1-2} \cos \alpha_{1-2} = 172,50 \cos 212^\circ 07' = -146,10 \text{ м};$$

$$\Delta Y = d_{1-2} \sin \alpha_{1-2} = 172,50 \sin 212^\circ 07' = -91,71 \text{ м}$$

Эти приращений координат занесены соответственно в графы 6 и 7 (см. таблицу 5.2). Невязки в приращениях координат  $f_x$  и  $f_y$  для замкнутого теодолитного хода определяют по формулам

$$f_x = \Sigma \Delta X; f_y = \Sigma \Delta Y. \quad (5.11)$$

Для этого в графе 6 и 7 ведомости подсчитывают сумму приращений координат по оси  $X$  и  $Y$  со знаком плюс и со знаком минус, а затем уже общую алгебраическую сумму. Например:  $\Sigma \Delta X (+) = 224,55$ ;  $\Sigma \Delta X (-) = -224,74$ . Тогда невязка  $f_x = \Sigma \Delta X + \Sigma \Delta X (-) = +224,55 + (-224,74) = -0,19$  м. Затем определяют линейную ( $f_d$ ) и относительную ( $f_{\text{отн}}$ ) невязки в периметре теодолитного хода:

$$f_d = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad (5.12)$$

$$f_{\text{отн}} = f_d / \Sigma d, \quad (5.13)$$

где  $\Sigma d$  – периметр теодолитного хода.

Относительная невязка должна быть  $= 1 / 2000$ . Например, для вышеуказанного случая

$$f_d = \sqrt{(-0,19)^2 + (-0,06)^2} = 0,20 \text{ м};$$

$$f_{\text{отн}} = 0,20 / 491,60 = 1 / 2460 < 1 / 2000.$$

Если относительная невязка получится больше допустимой величины, то вычисления приращений координат необходимо повторить. Если указанный допуск ( $f_{\text{отн}} = 1/2000$ ) соблюдается, то производят уравнивание вычисленных приращений координат, вводя в них поправки, пропорциональные длинам сторон со знаком, обратным знаку невязки, т.е.

$$V_{xi} = \frac{-f_x d_i}{\sum d_i}; \quad (5.14)$$

$$V_{yi} = \frac{-f_y d_i}{\sum d_i}; \quad (5.15)$$

где  $V_{xi}$ ,  $V_{yi}$  – поправки в приращения координат  $i$ -й стороны;  
 $d_i$  – горизонтальное положение  $i$ -й стороны.

Вычисленные поправки округляют до 0,01 м и записывают со своим знаком над соответствующим приращением координат в графы 6 и 7 (см. таблицу 1.2). Например,  $V_{xi} = [ -(-0,19) \cdot 172,50 ] : 491,60 = + 0,07$  м;

При вычислении поправок необходимо контролировать, чтобы их сумма по оси  $X$  и по оси  $Y$  точно равнялась невязке с обратным знаком, т.е.

$$\sum V_{xi} = -f_x; \quad \sum V_{yi} = -f_y. \quad (5.16)$$

Например, по оси  $X$   $\sum V_{\Delta x} = 0,07 + 0,04 + 0,05 + \dots + 0,03 = + 0,19$ ;  $-f_x = -(-0,19) = + 0,19$ .

После определения поправок вычисляют исправленные приращения координат  $\Delta X_{\text{исп.}i}$  и  $\Delta Y_{\text{исп.}i}$   $i$ -й стороны как алгебраическую сумму вычисленных приращений и поправок к ним с учетом знаков обоих:

$$\Delta X_{\text{исп.}i} = \Delta X_i + V_{xi}; \quad \Delta Y_{\text{исп.}i} = \Delta Y_i + V_{yi} \quad (5.17)$$

Например, для стороны 1–2 исправленные приращения будут

$$\Delta X_{\text{исп}} = -146,10 + 0,07 = -146,03 \text{ м}; \quad \Delta Y_{\text{исп}} = -91,71 + 0,02 = -91,69 \text{ м};$$

Исправленные приращения координат заносят в графы 8 и 9 ведомости. Сумма исправленных приращений координат по оси  $X$  и по оси  $Y$  должна быть равна нулю, что является контролем правильности их вычисления:

$$\sum \Delta X_{\text{исп}} = 0; \quad \sum \Delta Y_{\text{исп}} = 0 \quad (5.18)$$

Вычисленные по шифру исходные координаты точки 1 ( $X_i$  и  $Y_i$ ) записывают в графы 10 и 11 в строку против точки 1 (см. таблицу 5.2.), Координаты других точек вычисляют последовательно по формулам

$$X_{\text{посл}} = X_{\text{пред}} + \Delta X_{\text{исп}}; \quad Y_{\text{посл}} = Y_{\text{пред}} + \Delta Y_{\text{исп}}. \quad (5.19)$$

где  $X_{\text{посл}}$ ,  $Y_{\text{посл}}$  – координаты последующей точки;

$X_{\text{пред}}$ ,  $Y_{\text{пред}}$  – координаты предыдущей точки.

Например, (см. таблицу 5.2 графы 10 и 11), координаты точки 2 равны:

$$X_2 = X_1 + \Delta X_{1-2 \text{ исп}} = 2370,37 + (-146,03) = +2224,34 \text{ м};$$

$$Y_2 = Y_1 + \Delta Y_{1-2 \text{ исп}} = -2370,37 + (-91,69) = -2462,06 \text{ м}.$$

$$X_3 = X_2 + \Delta X_{2-3 \text{ исп}}; Y_3 = Y_2 + \Delta Y_{2-3 \text{ исп}} \text{ и т. д.}$$

Окончательным контролем правильности произведенных вычислений является повторное получение координат исходной точки 1 по формулам (5.19), используя координаты точки 4 и приращения координат  $\Delta X_{4-1 \text{ исп}}$ ,  $\Delta Y_{4-1 \text{ исп}}$ .

$$X_1 = X_4 + \Delta X_{4-1 \text{ исп}} = +2448,98 + (-78,61) = +2370,37 \text{ м};$$

$$Y_1 = Y_4 + \Delta Y_{4-1 \text{ исп}} = -2398,69 + 28,32 = -2370,37 \text{ м}.$$

Вычисленные координаты  $i$ -й точки заносят в графы 10 и 11, в строку, соответствующую номеру  $i$ -й точки (см. таблицу 5.2).

План теодолитной съемки составляют на листе чертежной бумаги размером 30x30 см в масштабе 1 : 2000 в такой последовательности:

- построение поперечного масштаба (при отсутствии масштабной линейки);
- построение координатной сетки (см. рисунок 5.6);
- нанесение вершин теодолитного хода по их координатам (см. рисунок 5.6);
- нанесение на план ситуации местности согласно абрису (см. рисунки 5.2-5.5) и оформление плана участка в условных знаках (рисунки 5.7).



Рисунок 5.2 – Абрис линии 1–2

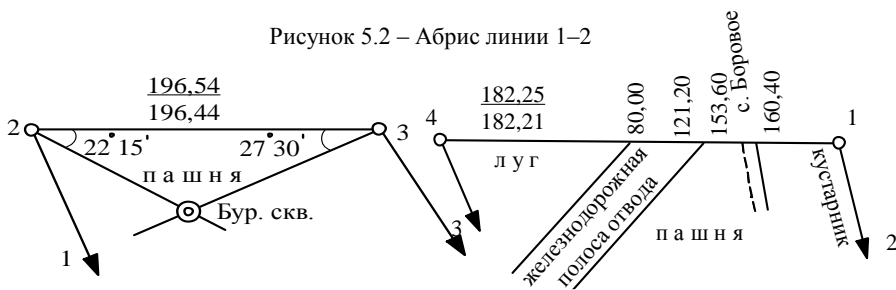


Рисунок 5.3 – Абрис линии 2–3

Рисунок 5.4 – Абрис линии 4–4

Съемка озера с точки 3

№	Угол	Расстояние
4	0 ° 00'	—
а	15 ° 45'	28,8
б	25 ° 05'	40,0
в	41 ° 00'	13,0
г	64 ° 03'	40,0
д	95 ° 05'	28,0

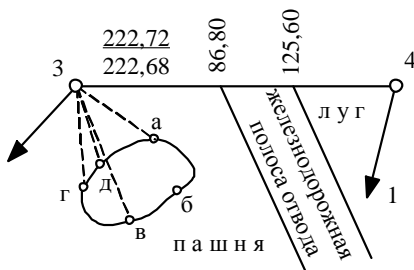


Рисунок 5.5 – Абрис линии 3–4

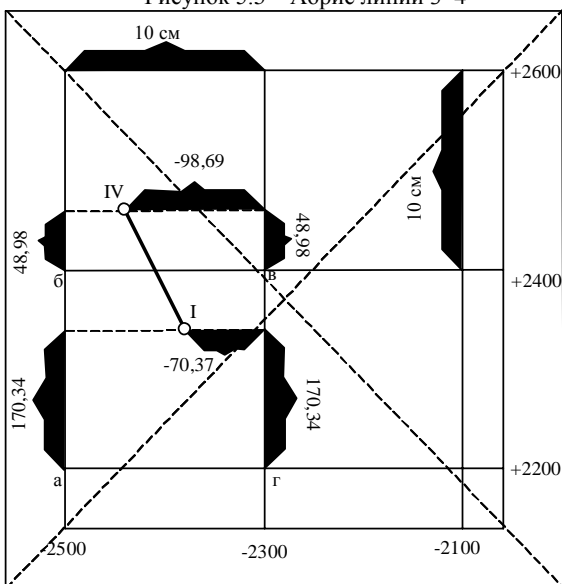


Рисунок 5.6 – Построение координатной сетки и нанесение точек теодолитного хода с помощью измерителя и масштабной линейки

Методика составления плана теодолитной съемки заключается в следующем.

а) **Построение поперечного масштаба.** Поперечный масштаб строят, если нет в наличии масштабной линейки. Он позволяет повысить точность определения и откладывания расстояний на плане. Для его построения на бумаге на прямой линии длиной 10 см откладывают 5 раз отрезок длиной 2 см (основание масштаба) и из полученных точек восстанавливают перпендикуляры. Через 2,5 мм на перпендикулярах проводят 10 линий, параллельных основанию масштаба. Крайнее левое основание масштаба сверху и снизу делят на 10 равных частей (по 2 мм) и концы полученных отрезков со-

единяют наклонными прямыми (см, рисунок 5.7), получая, таким образом, нормальный поперечный масштаб. Каждому отрезку на диаграмме поперечного масштаба в заданном численном масштабе 1 : 2000 соответствует определенный отрезок на местности, исходя из которого подписывают диаграмму. Так, каждому основанию масштаба, равному 2 см, соответствует линия на местности, равная 40 м. Отрезок в 2 мм на крайнем левом основании составляет 4 м. Подъем по наклонной линии не одну прямую вверх равен 0,2 мм, что соответствует расстоянию на местности – 0,4 м.

При пользовании поперечным масштабом устанавливают правую иглу циркуля-измерителя на одном из перпендикуляров, а левую - на одну из наклонных линий крайнего левого основания масштаба. При этом обе иглы циркуля должны находиться на одной горизонтальной прямой. Так, на рисунке 5.7 отмечено расстояние а - б, равное 93,20 м.

**б) Построение координатной сетки.** Координатную сетку строят в виде квадратов со стороной 10 см при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейке (поперечного масштаба). Для этого на листе чертежной бумаги проводят карандашом (толщиной линий 0,1 мм) две диагонали (см. рисунок 5.6). От точки их пересечения на проведенных линиях откладывают равные расстояния в направлениях каждого из четырех углов листа, получая, таким образом, четыре вершины квадрата.

Для равномерного расположения подписей на плане рекомендуется откладывать расстояния, равные 150 мм. На сторонах полученного квадрата измерителем по масштабной линейке (поперечному масштабу) откладывают расстояние в 10 см и строят сетку дециметровых квадратов. Правильность построения координатной сетки проверяют по равенству диагоналей в каждом квадрате в пределах  $\pm 0,2$  мм. Образующиеся неполные, квадраты стирают, а оставшуюся координатную сетку оцифровывают через 200 метров. Оцифровку производят с таким расчетом, чтобы построенный план примерно располагался в середине листа бумаги. Для этого следует обратить внимание на максимальные и минимальные координаты точек теодолитного хода по осям X и Y. Направления осей зависят от знака координат. При положительных абсциссах оцифровка сетки по оси X возрастает снизу-вверх.

**в) Нанесение на план точек теодолитного хода.** Точки теодолитного хода наносят на план по координатам их вершин. Для этого предварительно определяют, в каком квадрате находится точка хода, сообразуясь с ее координатами и координатами вершин сетки. Например, на рисунке 5.6 точка 1 находился в квадрате *a, б, в, г*. Для ее построения вдоль линий *a, б* и *г* в откладывают циркулем-измерителем по масштабной линейке (поперечному масштабу) разность абсцисс точки 1 и соответствующей линии сетки, т.е.

$$\Delta X = X_1 - X_{\text{сет}} = - 2370,37 - 2200 = 170,37 \text{ м} .$$

$$\Delta Y = Y_1 - Y_{\text{сет}} = - 2370,37 - (- 2300) = - 70,37 \text{ м} .$$

Полученную точку накалывают и обводят кружком диаметром 1,5 мм. Анало-

гично производят построение следующей точки теодолитного хода. Правильность построения точек контролируют путем измерения расстояния между двумя соседними вершинами. Расхождение с данными ведомости координат не должно превышать 0,2 мм. Точки хода соединяют линиями, у средней части которых делают надпись дробью: в числителе - название и величина румба, в знаменателе - горизонтальное приложение (см. рисунок 5.7).

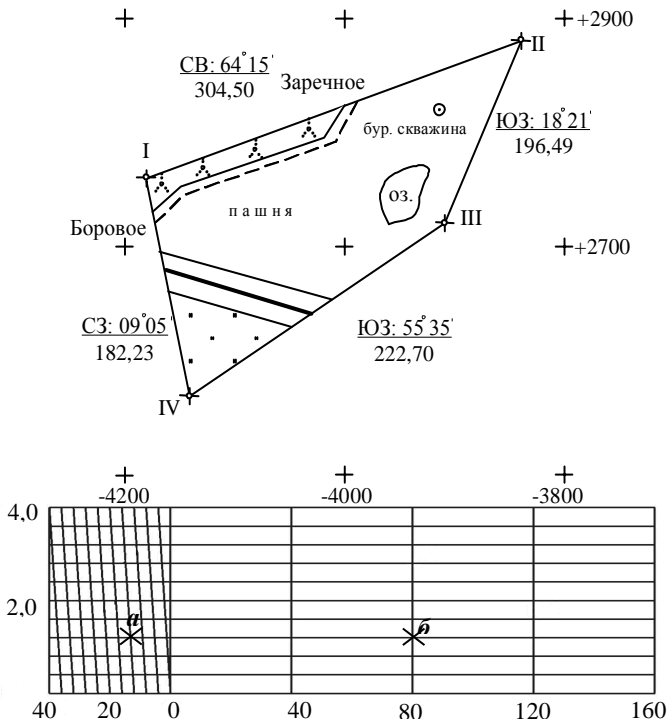


Рисунок 5.7 – План участка теодолитной съемки с поперечным масштабом

Съемку ситуации выполняют путем измерений, связывающих положение характерных контурных точек объектов с пунктами съемочной основы. Наиболее распространены следующие способы съемки.

*Способ прямоугольных координат* обычно применяют при съемке объектов с четкими контурами. Длины измеряются один раз с точностью до 1 см.

Так, при съемке дороги из каждой характерной точки ее поворота на сторону теодолитного хода опускают перпендикуляр и измеряют расстояние по стороне хода до основания перпендикуляра (координата  $x$ ) и длину перпендикуляра (координата  $y$ ).



*Способ створов.* Частный случай способа прямоугольных координат. В этом случае координата  $Y = 0$  (см. рисунки 5.2, 5.4, 5.5).

*Способ угловой засечки* применяют при съемке удаленных или недоступных объектов, где невозможно производить непосредственное измерение расстояний (см. рисунок 5.3). Для определения положения снимаемой точки измеряют два угла, примыкающих к базису. Базисом может быть сторона или часть теодолитного хода или любые два пункта планового обоснования, между которыми существует видимость.

Так, для определения положения центра буровой скважины на пунктах съемочной сети 2 и 3 теодолитом измеряют горизонтальные углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Наилучший угол  $\gamma$  для засечки –  $90^\circ$ . Практически угол  $\gamma$  должен быть в пределах от  $30^\circ$  до  $150^\circ$ .

*Способ линейной засечки* Положение точки определяют, измеряя расстояния до точек, положение которых известно. Способ удобен, когда расстояния не превышают длины применяемого мерного прибора.

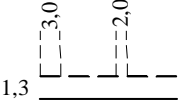
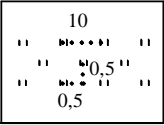

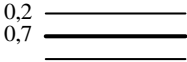
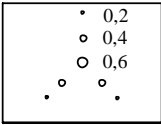
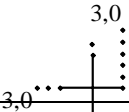
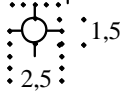
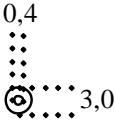
При съемке *полярным способом* углы измеряются теодолитом или электронным тахеометром при одном положении круга с погрешностью не более  $1'$ , а расстояния – стальной рулеткой.

Для определения положения точки  $a$  озеро измеряют горизонтальный угол  $\beta$  и расстояние  $d$  (по рейке) (см. рисунок 5.4).

Результаты выполненных в ходе съемки измерений записывают в полевой журнал. Одновременно составляют *абрис* – схематический чертеж, на котором в произвольном масштабе показывают расположение пунктов съемочной сети и снимаемых объектов, характеристики снимаемых объектов и результаты измерений. Ситуацию (контур местности) наносят на план от вершин и сторон теодолитного хода по результатам измерений, представленных в абрисах на рисунках 4.2-4.5. При этом углы строят с помощью транспортира, а расстояния откладывают измерителем по масштабной линейке (поперечному масштабу). Ситуацию плана показывают в условных знаках, принятых для заданного масштаба  $1 : 2000$  в соответствии с [9] и выпиской из него. План оформляют в туши или в карандаше. Вспомогательные построения на плане не показывают. Координатную сетку в виде пересечения координатных линий, а также береговую линию озера показывают зеленым цветом, а площадь озера закрашивают бледно-синим цветом.

При построении следует руководствоваться образцом условных знаков представленных в таблице 5.1. Пример оформления плана показан на рисунке 5.7.

Т а б л и ц а 5.1– Образец некоторых условных знаков для масштаба плана 1:2000

Название условных знаков	Вид изображение на планах
Грунтовые проселочные дороги	
Луговая травянистая растительность (высотой менее 1 м)	
Пашня	
Железные дороги с полосой отвода	
Сплошные заросли кустарника	
Пересечение координатных линий (показывается зеленым цветом)	
Точки типовых съемочных сетей	
Скважины буровые	
<p>Береговые линии рек и озер изображаются зеленым, площади водоемов – в бледно–синем цветах.</p>	

## 6 ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Тахеометрическая съемка – комбинированная съемка, в процессе которой одновременно определяют плановое и высотное положение точек, что позволяет сразу получать топографический план местности. Тахеометрия в буквальном переводе означает быстрое измерение. Положение точек определяют относительно пунктов съемочного обоснования: плановое – полярным способом, высотное – тригонометрическим нивелированием. Длины полярных расстояний и густота пикетных (речных) точек (максимальное расстояние между ними) регламентированы в инструкции по топографо-геодезическим работам. При производстве тахеометрической съемки используют геодезический прибор тахеометр, предназначенный для измерения горизонтальных и вертикальных углов, длин линий и превышений. Теодолит, имеющий вертикальный круг, устройство для измерения расстояний и буссоль для ориентирования лимба, относятся к теодолитам-тахеометрам. Теодолитами-тахеометрами является большинство теодолитов технической точности, например, Т30.

Наиболее удобными для выполнения тахеометрической съемки являются тахеометры с номограммным определением превышений и горизонтальных проложений линий. В настоящее время широко используются электронные тахеометры.

Производство тахеометрической съемки. Тахеометрическая съемка выполняется с пунктов съемочного обоснования, их называют станциями. Чаще всего в качестве съемочного обоснования используют теодолитно-высотные ходы. Характерные точки ситуации и рельефа называют речными точками или пикетами. Речные точки на местности не закрепляют. Для определения планового положения точек съемочной сети измеряют горизонтальные углы и длины сторон. Высоты точек определяют тригонометрическим нивелированием. Углы наклона измеряют при двух положениях вертикального круга в прямом и обратном направлениях. Расхождение в превышениях не допускается более 4 см на каждые 100 метров расстояния.

Работу на станции при тахеометрической съемке выполняют следующим образом. Устанавливают теодолит в рабочее положение над точкой хода (центрируют и горизонтируют прибор), измеряют высоту прибора  $i$ , отмечают ее на рейке и записывают в журнал. При круге право «КП» наводят зрительную трубу на соседнюю (заднюю или переднюю) точку хода, в которой установлена рейка, и берут отсчет по вертикальному кругу. Далее переводят трубу через зенит и ориентируют лимб по стороне хода, т. е. по горизонтальному кругу устанавливают отсчет  $0^\circ$ , закрепляют алидаду и, вращая лимб, направляют зрительную трубу на рейку. Затем берут отсчет

по вертикальному кругу при круге лево «КЛ» и вычисляют место нуля (МО) вертикального круга. Отсчеты и значение МО записывают в журнал. После указанных действий приступают к съемке характерных точек ситуации и рельефа на станции. На реечные точки устанавливают рейку. При круге лево «КЛ» и ориентированном лимбе, вращая алидаду, последовательно наводят зрительную трубу на реечные точки, делают отсчеты по дальномерным нитям, горизонтальному и вертикальному кругам и записывают их в журнале. Средний штрих сетки нитей зрительной трубы наводят на высоту прибора, отмеченную на рейке. Если высота прибора на рейке не видна из-за помех, то наводят средний штрих на определенное место на рейке. Высоту визирования записывают в журнал. После окончания съемки на станции зрительную трубу снова наводят на точку хода, по которой ориентировали теодолит, и берут отсчет по горизонтальному кругу. Расхождение между  $0^\circ$  и взятым отсчетом допускается не более  $\pm 5'$ .

Реечные точки должны равномерно покрывать территорию съемки. Расстояния от станции до реечных точек и расстояния между реечными точками не должны превышать допусков, указанных в инструкции по тахеометрической съемке. На каждой станции одновременно с заполнением журнала составляется абрис – схематический чертеж, на котором зарисованы положения реечных точек с указанием их номеров, проведены контуры местности. Контуры ситуации и снимаемые объекты обозначают условными знаками или надписями. Обработка результатов тахеометрической съемки включает в себя следующие работы:

- вычисление координат и отметок пунктов тахеометрических ходов;
- вычисление отметок реечных точек;
- построение плана тахеометрической съемки.

**Пример выполнения работы. 1 Вычисление исходных данных.** Индивидуальные исходные данные студент определяет по своему учебному шифру. Дирекционный угол стороны хода I – II получают путем добавления к  $40^\circ 18'$  шифра студента, выраженного в минутах и предварительно переведенного в число градусов и минут. Так, если шифр равен 2030, то, приняв его за количество минут, переводят в градусы и минуты путем деления на  $60'$ , т. е.  $2030' : 60' = 33^\circ 50'$ . Полученное значение прибавляют к  $40^\circ 18'$ :  $40^\circ 18' + 33^\circ 50' = 74^\circ 08'$ . Это и будет дирекционный угол стороны I – II.

Высоту станции I также определяют с помощью шифра. Для этого  $0,01$  шифра складывают с числом  $112,24$  и полученный результат принимают за высоту точки I. Например, при прежнем шифре 2030:  $H_1 = 112,24 + 0,01 \cdot 2030 = 132,54$  м.

Полученные таким образом значения нужно записать на первую страницу задания.

**2 Обработка журнала тахеометрической съемки.** Сначала для каждой станции вычисляют место нуля и углы наклона на соседние станции и реечные точки. Для теодолита Т5, которым выполнена съемка,

$$MO = (Л + П + 180^\circ) / 2; \nu = П - MO; \nu = MO - Л - 180^\circ,$$

где Л и П – отсчеты по вертикальному кругу при круге лево и право.

Углы наклона на соседние станции вычисляют по соответствующем значению места нуля, а для реечных точек из двух значений MO принимают среднее, которое записывают в журнал с округлением до целых минут. Необходимо следить за знаками углов наклона.

По дальномерным расстояниям и углам наклона с помощью микрокалькулятора или тахеометрических таблиц определяют превышения по формулам тригонометрического нивелирования:

$$h = h' + i - \nu + f,$$

где  $h'$  – превышение над горизонтальным лучом;

$i$  – высота прибора;

$\nu$  – высота наведения;

$f$  – поправка за кривизну земли и рефракцию.

Величину  $h' = 0,5D\sin 2\nu$  выбирают из тахеометрических таблиц или рассчитывают на микрокалькуляторе, значения  $i$  и  $\nu$  приведены в журнале, а  $f$  нужно принять равным нулю, так как при расстояниях меньших 270 м значение  $f$  меньше 1 см, и им можно пренебречь.

На с. 4 задания приведены в качестве образца результаты вычислений на станции I. Так, при измерениях на станцию II  $MO = +1'$ ;  $\nu = -0^\circ 56'$ ;  $h' = -2,43$ ;  $h = h' + i - \nu = -2,43 + 1,37 - 3,00 = -4,03$ .

Место нуля при наблюдениях на станцию III тоже равно  $+1'$ . Среднее значение MO, равное  $+1'$ , округляют до  $1'$  и используют для вычисления углов наклона на реечные точки. На первую точку получим  $\nu = MO - Л - 180^\circ = 360^\circ 01' - 178^\circ 21' - 180^\circ = +1^\circ 40'$ , на вторую  $+1' - 181^\circ 43' - 180^\circ = -1^\circ 43'$  и т.д.

Так же, как и ранее, по дальномерным расстояниям и углам наклона с помощью таблиц или калькулятора определяют  $h'$  и, если  $i = \nu$ , то записывают их в графу  $h$ , если  $i \neq \nu$ , то  $h = h' + i - \nu$ .

Горизонтальные проложения, определяемые по формуле  $d = D\cos^2\nu$ , вычисляют в тех случаях, когда углы наклона превышают  $3^\circ$  (реечные точки 6 – 8). Вычисления на станциях II и III делают аналогично.

**3 Уравнивание превышений и вычисление высот.** В ведомости уравнивания превышений (с. 10 индивидуального задания) сначала рекомендуется выполнить уравнивание горизонтальных углов тахеометрического хода, вычислить дирекционные углы и длины сторон. Измеренные горизонтальные

углы получают на каждой станции как разности отсчетов по горизонтальному кругу на смежные точки хода при соответственном круге П и Л.

На станции I при круге П угол равен  $158^{\circ}33' - 100^{\circ}13' = 58^{\circ}20'$ , при круге Л угол составит  $58^{\circ}20' - 0^{\circ}00' = 58^{\circ}20'$ . Среднее значение горизонтального угла  $58^{\circ}20'$  записывают в графу 2 ведомости. Аналогично вычисляют и записывают углы на станциях II и III. Повторно угол на станции I не записывают. Затем вычисляют угловую невязку:

$$f_{\beta} = \Sigma\beta - 180^{\circ} (n - 2),$$

где  $n$  – количество углов.

После этого определяют допустимую угловую невязку  $f_{\beta\text{доп}} = 1'\sqrt{n}$ , вводят в измеренные углы одинаковые поправки со знаком, обратным знаку невязки, т.е. поступают так, как при уравнивании углов в теодолитных ходах. Дирекционный угол линии I – II является исходным. Остальные дирекционные углы вычисляют по формуле

$$\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} + 180^{\circ} - \beta_{\text{прав}} \text{ (для правых углов – вариант 2)}$$

$$\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} + \beta_{\text{лев}} - 180^{\circ} \text{ (для левых углов – вариант 1)}$$

и контролируют получением в конце вычислений исходного значения  $\alpha_{\text{I-II}}$ .

Образец ведомости:

Ведомость уравнивания превышений и вычислений высот точек

Номер станции	Измеренные углы	Дирекционные углы	Средние горизонтальные расстояния	Превышения			Поправки	Исправленные превышения	Отметка станции
				прямые	обратные	средние			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	58°20'	74°08'	149,0	-4,03	+3,96	-4,00	-01	-4,01	132,54
II	75°01'								179°07'
III	46°39'	312°28'	196,0	+6,25	-6,19	+6,22	-0,02	+6,20	126,34
I		74°08'							132,54
$\Sigma\beta = 180^{\circ}00'$ $f_{\beta} = 0$ $f_{\beta\text{доп}} = 1'\sqrt{n} = 1,4'$		$\Sigma d = 516,0$							

В тахеометрическом ходе для каждой стороны расстояние и превышение определяют в прямом и обратном направлениях, причем расхождение значений прямого и обратного превышений не должно быть больше 4 см на

100 м расстояния.

Со станции I на станцию II превышение  $h_{\text{прям}} = -4,03$ , а со станции II на станцию I  $h_{\text{обр}} = +3,98$ . Расхождение равно 0,05 м при допустимом  $\pm 0,06$  м.

В ведомость уравнивания превышений записывают значения прямых и обратных превышений и при допустимом расхождении вычисляют среднее значение, которое указывают со знаком прямого превышения ( $h_{\text{ср}} = -4,00$ ).

Сумма средних превышений в замкнутом ходе должна равняться нулю:

$$f_h = \sum h_{\text{ср}},$$

где  $f_h$  – невязка в превышениях.

Для разомкнутого хода  $f_h = \sum h_{\text{ср}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}})$ , где  $H_{\text{нач}}$  и  $H_{\text{кон}}$  – соответственно высоты начальной и конечной точек хода.

Допустимую невязку вычисляют по формуле

$$f_{h_{\text{доп}}} = \frac{0,04 \sum d}{\sqrt{n}},$$

где  $\sum d$  – сумма длин сторон хода, выраженная в сотнях метров;

$n$  – число сторон.

Если невязка допустима, то ее распределяют с обратным знаком пропорционально длинам сторон, т.е.

$$v_i = (-f_h / \sum d) d_i,$$

где  $v_i$  – значение поправки в превышение;

$d_i$  – длина стороны.

Например,  $v_i = (0,04 \cdot 149) / 516 = -0,01$  м.

Сумма поправок должна равняться невязке с обратным знаком. Сложив поправки с превышениями, получают исправленные превышения, которые в сумме должны равняться нулю, так как ход замкнутый. Для разомкнутого хода сумма исправленных превышений должна равняться разности высот конечной и начальной точек хода.

Высоты станций определяются по формуле

$$H_{i+1} = H_i + h,$$

где  $H_{i+1}$  и  $H_i$  – соответственно высоты последующей и предыдущей станций.

Высота станции I задана. Прибавляя к ней превышение со своим знаком, получают высоту станции II:  $H_{II} = 132,54 + (-4,01) = 128,53$  м и т. д. В конце вычислений должна быть снова получена высота станции I, а для разомкнутого хода – высота конечной точки. Определенные таким образом высоты из ведомости записывают на соответствующих местах в журнале для каждой станции.

**4 Вычисление высот речных точек.** Высоты речных точек определяют по формуле

$$H_{p,t} = H_{ст} + h,$$

где  $H_{ст}$  – высота станции.

$$\text{Так, например: } H_1 = H_1 + h_1 = 132,54 + 2,09 = 134,63;$$

$$H_2 = H_1 + h_2 = 132,54 + (-2,49) = 130,05.$$

**5 Составление топографического плана.** План участка тахеометрической съемки нужно составить в масштабе 1:2000 с высотой сечения рельефа 1 м. Для этого достаточно использовать лист чертежной бумаги формата А3.

Сначала на бумагу наносят точки съёмочного обоснования, т. е. станции тахеометрического хода, затем – речные точки. Далее, используя абрисы, строят контуры, предметы местности и после интерполирования горизонталей изображают рельеф.

Станции строят по дирекционным углам (румбам) и длинам сторон. Для этого на листе бумаги выбирают положение станции I с таким расчетом, чтобы другие станции и речные точки, определяемые с них, разместились бы на листе бумаги. Через накол, принятый за положение станции I, проводят линию параллельно краю листа бумаги и принимают ее за направление осевого меридиана. С помощью транспортира строят дирекционный угол линии I – II и на полученном направлении откладывают горизонтальную проекцию расстояния до второй станции. Через полученную точку II проводят линию, параллельную осевому меридиану, от нее откладывают дирекционный угол линии II – III, прочерчивают направление, на котором в масштабе плана откладывают горизонтальную проекцию расстояния до станции III. Построением дирекционного угла линии III – I контролируют правильность положения станций. С этой целью рекомендуется измерить на плане расстояние между точками III и I, которое с точностью 0,3 мм в масштабе плана должно совпадать со значением горизонтальной проекции расстояния.

Речные точки наносят полярным способом с помощью транспортира или тахеографа. Для построения каждой речной точки от нулевого направления (обычно это направление на переднюю станцию) откладывают отсчет по горизонтальному кругу и по полученному направлению, которое, как правило, не проводят – горизонтальную проекцию расстояния. Около точек подписывают в виде дроби номер точки и ее высоту. Целесообразно сопоставить расположение речных точек на плане с их размещением в абрисе. Это устранит возможные грубые ошибки.

В соответствии с абрисами наносят контуры угодий и предметы местности, применяя при этом соответствующие условные знаки. Затем речные точки соединяют на плане прямыми линиями так, как это сделано стрелками в абрисе. Это линии, по которым следует выполнить интерполирование горизонталей. Интерполирование удобнее всего выполнять графическим методом с помощью кальки. На ней проводят параллельные линии, одинаково отстоящие друг от друга (например, через 5 мм), и указывают на них высоты,



кратные высоте сечения рельефа, начиная с самой низкой горизонтали. Подготовленную таким образом палетку используют для расчета положения точек пересечения горизонталей с линиями, по которым выполняется интерполирование (рисунок 8.1).

Вслед за интерполированием изображают рельеф горизонталями. Горизонтالي сначала проводят в виде ломаных линий, проходящих через точки с одинаковыми высотами, а затем делают их укладку, придавая им плавность и соответствующие формам рельефа изгибы (рисунок 8.2). Горизонтали, кратные увеличенной в пять раз высоте сечения рельефа (в данном случае кратные 5 м), следует утолстить. Нужно не забыть в разных местах плана, в разрывах горизонталей, проставить подписи горизонталей, причем цифры должны быть расположены так, чтобы верх их был направлен вверх по склону. Число подписей надлежит делать от 3 до 5 на 1 дм<sup>2</sup>.

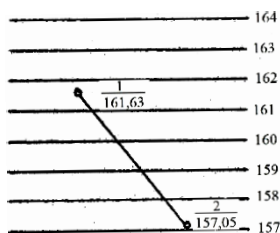


Рисунок 8.1 – Палетка

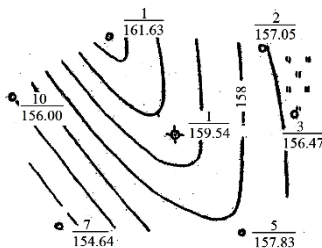


Рисунок 8.2 – Часть плана

Линии, по которым велось интерполирование, удаляют. План оформляют, соблюдая условные знаки. Горизонтали, подписи их высот и бергштрихи вычерчивают цветом жженой сиены. Утолщенные горизонтали проводят толщиной 0,25 мм, а обычные – 0,1 мм. На плане оформляют направление осевого меридиана, подписывают заголовок, высоту сечения рельефа и приводят подпись исполнителя работы с указанием учебной группы.

Перед оформлением следует внимательно изучить образец плана, вывешенный в кабинете геодезии.

При сдаче работы необходимо представить журнал тахеометрической съемки с результатами вычислений и план участка местности.

## 7 ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ ДОРОГИ

На местности для составления продольных и поперечных профилей трассы железной дороги проложены теодолитный и нивелирный ходы, выполнена разбивка и нивелирование поперечников. Техническое нивелиро-

вание в полевых условиях выполнено с применением способа нивелирования из середины. По рейкам, установленным на связующих точках, отсчеты брались по черной и красной сторонам в порядке, обусловленном методикой технического нивелирования, а на промежуточных точках – по черной стороне реек.

**Пример выполнения задания. Расчет исходных данных.** Каждому студенту необходимо найти: дирекционный угол начального прямолинейного участка трассы, углы поворота трассы, высоты начального и конечного реперов, к которым привязаны нивелирный ход, проложенный вдоль оси будущей трассы дороги.

Все исходные данные рассчитать с учетом значения своего шифра, заданного преподавателем.

Дирекционный угол начального участка трассы вычисляют по формуле:

$$\alpha_{\text{нач}} = A + \text{№}'$$

где №' – шифр студента, взятый в минутах.

Углы поворота №1 и №2 вычислить по формулам:

$$\beta_1 = B + 0,1\text{№}',$$

$$\beta_2 = C + 0,1\text{№}'$$

В этих формулах А, В, С – числа, приведенные в задании, выраженные в градусной мере. Радиусы круговых кривых, вписываемых в углах поворота №1 и 2, Пример расчета исходных данных для выполнения расчетно-графической работы при № = 3005:- дирекционный угол начального участка трассы

$$\alpha_1 = 234^{\circ}12' + 3005' = 234^{\circ}12' + 50^{\circ}05' = 284^{\circ}17';$$

- угол поворота №1  $\beta_1 = 8^{\circ}34' + 0,1\text{№}' = 8^{\circ}34' + 300' = 8^{\circ}34' + 5^{\circ} = 13^{\circ}34'$ ;

- угол поворота №2  $\beta_2 = 14^{\circ}16' + 5^{\circ} = 19^{\circ}16'$ ;

- высота репера №40  $H_{\text{рп40}} = 121,354 \text{ м} + 0,01\text{№} \text{ м} = 121,354 \text{ м} + 30,05 \text{ м} = 151,404 \text{ м}$ ;

- высота репера №41  $H_{\text{рп41}} = 123,774 \text{ м} + 0,01\text{№} \text{ м} = 123,774 \text{ м} + 30,05 \text{ м} = 153,824 \text{ м}$ .

**Обработка журнала технического нивелирования.** Вычислить превышения  $h$  между связующими точками, используя отсчеты по черной и красной сторонам реек. Расхождение в двух значениях превышений  $h_1$  и  $h_2$  на каждой станции не должно превышать  $\pm 5$  мм. Найти на каждой станции средние превышения  $h_{\text{ср}} = (h_1 + h_2)/2$ , записать их в зависимости от знака в графу 8 или 9 журнала с округлением до целых миллиметров, используя правило Гаусса (если 0,5 мм стоит после четной цифры, то цифра 5 отбрасывается, если после нечетной, то предыдущая цифра округляется до четного значения). Выполнить постраничный и пожурнальный контроль. Для этого на каждой странице найти сумму всех отсчетов по черной и красной сторонам реек для задних и передних реек и сумму средних превышений.

Условие контроля:

$$(\Sigma Z - \Sigma П) / 2 = \Sigma h_{\text{ср}},$$

где  $\Sigma Z$ ,  $\Sigma П$  – сумма отсчетов по задней и передней рейкам;

$\Sigma h_{\text{ср}}$  – сумма средних превышений.

Подсчитать теоретическую сумму превышений между начальным и конечным реперами и определить фактическую невязку в превышениях хода как разность между суммой средних превышений и разностью высот конечного и начального реперов.

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}}).$$

Невязка не должна превышать  $\pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}$ , где  $L$  – длина нивелирного хода, выраженная в километрах. Невязку, взятую с обратным знаком, распределить поровну на все превышения, округляя их до 1 мм. Для этого вычислить поправку в превышения :

$$v_h = -f_h / n,$$

где  $n$  – число станций в ходе.

Сумма поправок в превышения должна быть равна невязке взятой с обратным знаком. Это и будет являться контролем вычисления поправок  $v_h$ . Вычисляют уравненные превышения:  $h_{\text{уравн}} = h_{\text{ср}} + v_h$ . По уравненным превышениям и высотам исходных реперов вычислить высоты всех связующих точек.  $H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h_{\text{уравн}}$ . (Высота точки последующей равна высоте точки предыдущей плюс соответствующее уравненное превышение). Контроль правильности вычисления высот связующих точек будет заключаться в нахождении высоты репера №41, которая должна получиться равной рассчитанной ранее.

Вычислить высоты промежуточных точек и точек поперечников методом горизонта нивелира:

$$ГН = H_3 + З = H_{\text{П}} + П \text{ и } H_{\text{ПР}} = ГН - П_{\text{ПР}}.$$

где  $H_3$  и  $H_{\text{П}}$  – высоты задней и передней точек;

$H_{\text{ПР}}$  – отсчет по черной стороне рейки на промежуточной точке.

Например, определить высоту промежуточной точки ПК3 + 34 (рисунок 1). Высота задней точки (ПК3) равна  $H_{\text{ПК3}} = 178,10$  м, отсчеты по рейке на заднюю точку  $З = 941$ , на промежуточную точку  $П_{\text{ПР}} = 590$ .

$$ГН = H_{\text{ПК3}} + З = 178,10 + 0,941 = 179,041 \text{ м}.$$

$$H_{\text{ПК3+34}} = ГН - П_{\text{ПР}} = 179,041 - 0,590 = 178,451 \text{ м}.$$

По заданным углам поворота и радиусам круговых кривых из таблиц для разбивки железнодорожных кривых выбрать с точностью до 1 см элементы кривых. По пикетажным значениям вершин углов поворота трассы вычислить пикетажные значения главных точек кривых с контролем.

**Пример.** Определить пикетажное значение главных точек кривой, если вершина угла поворота (ВУП) находится в точке ПК4 + 20,00, а элементы кривой равны:  $\alpha = 19^{\circ}50'$ ;  $R = 600$  м;  $T = 104,90$  м;  $K = 207,70$  м;  $B = 9,10$  м;  $D = 2,10$  м.

<u>Вычисление пикетажа</u>	
ВУП.....	ПК4 + 20,00
- Т.....	1 + 04,90
-----	
НКК.....	ПК3 + 15,10
+ К.....	ПК2 + 07,70
-----	
ККК.....	ПК5 + 22,80
-----	
НКК.....	ПК3 + 15,10
+ К/2.....	1 + 03,85
-----	
СКК.....	ПК4 + 18,95

<u>Контроль</u>	
ВУП.....	ПК4 + 20,00
+ Т.....	1 + 04,90
-----	
Σ.....	ПК5 + 24,90
- Д.....	2,10
-----	
ККК.....	ПК5 + 22,80
-----	
ВУП.....	ПК4 + 20,00
- Д/2.....	1,05
-----	
СКК.....	ПК4 + 18,95

**Построение продольного и поперечного профилей.** По данным нивелирования и пикетажному журналу составить продольный профиль трассы в масштабах: горизонтальный – 1:10000, вертикальный – 1:200. Профиль составить на листе миллиметровой бумаги шириной 35 – 40, длиной 50 – 60 см. Образец профиля дан на рисунке 7.1. Разграфку сетки профиля произвести, откладывая от нижнего края листа миллиметровой бумаги, вверх следующие расстояния в мм: 40; 10; 15; 10; 15; 5; 20; 5 и провести разделительные горизонтальные линии. Назначение указанных промежутков подписать слева от начала профильной линии в интервале равном 40 мм. Подписи выполнить прямым шрифтом без утолщений: высота строчных букв – 2 мм, заглавных букв и цифр – 5 мм. Расставить и подписать пикеты через 100 метров в заданном масштабе слева направо, начиная с ПК0, отметив кружком нулевой, десятый и двадцатый пикеты. Заполнить графы профиля «Грунты» и «Ситуация» согласно пикетажному журналу. В графе сетки профиля «Расстояния» показать положение плюсовых точек. Расстояния между соседними ординатами подписать в той же графе. Выполнить контроль: сумма расстояний в пределах каждого пикета должна составлять 100 м.

Выписать из журнала нивелирования на профиль высоты пикетов и плюсовых точек в графу «Фактические отметки» с округлением до 0,01 м. Подписи высот расположить снизу вверх против соответствующей ординаты.

Определить начальную условную высоту. Начальная условная высота должна на 5 – 6 см в вертикальном масштабе профиля быть ниже наименьшей фактической отметки по оси будущей трассы дороги. Ее следует принять равной круглому числу метров, например, 80; 90; 100. При построении профиля земли продлить ординаты выше линии условного горизонта. В принятом вертикальном масштабе нанести точки по фактическим отметкам и соединить прямыми линиями.

В графе «План линии» отложить рассчитанные пикетажные значения

начала и конца кривых и построить их условные изображения в виде кривых высотой 5 мм выпуклостью вниз, если трасса поворачивает влево, или выпуклостью вверх, если трасса поворачивает вправо. Записать элементы кривых ( $\beta$  – угол поворота трассы,  $R$  – радиус кривой,  $T$  – тангенс,  $K$  – длина кривой,  $D$  – домер,  $B$  – биссектриса), расстояния от начала и конца кривой до ближайших пикетов, длины прямолинейных участков, которые необходимо рассчитать, учитывая пикетажное положение точек начала и конца кривых. Найти дирекционные углы  $\alpha$  прямолинейных участков трассы по вычисленному начальному дирекционному углу и углам поворота трассы, используя формулу  $\alpha_{\text{посл.}} = \alpha_{\text{пред.}} \pm \varphi$ . Знак (+) – для правых углов поворота, а знак (-) – для левых учитывая, что при повороте трассы вправо последующий дирекционный угол возрастает, влево – уменьшается.

**Проектирование на продольном профиле.** Проектирование по продольному профилю выполняется с целью нанесения на нем проектной бровки полотна железной дороги с учетом следующих условий: уклон участков трассы не должен превышать 20%, следует обеспечить минимум земляных работ (с примерным их балансом на насыпях и выемках) и нулевой уклон в районе мостового перехода. Проектную линию нанести на профиль путем постепенных проб. По вертикальному масштабу профиля определить графически проектные отметки точек излома проектной линии и горизонтальные расстояния между ними. Вычислить уклоны:  $i = (H_2 - H_1)/d$ , где  $(H_2 - H_1)$  – разность высот точек перегиба;  $d$  – горизонтальные расстояния между этими точками. Уклон  $i$  имеет знак плюс, когда проектная линия идет вверх, и минус – когда она понижается. Например, на участке между третьим и седьмым пикетами т.е. проектная отметка каждой последующей точки равна проектной отметке предыдущей точки плюс произведение величины уклона линии на протяженность участка (его горизонтальное расстояние). Записать их с округлением до 1 см в соответствующую графу сетки профиля.

$$i_{\text{пр}} = (\text{пр.}H_{\text{пк7}} - \text{пр.}H_{\text{пк3}}) / d = (72,00 - 76,20) / 400 = - 0,0105.$$

Вычислить проектные отметки для всех пикетов и плюсовых точек

$$H_{n+1} = H_n + id,$$

Например, найти проектную отметку ПК5, если  $i_{\text{пр}} = - 0,0105$ , а проектная отметка на ПК4 равна 75,15.  $H_{\text{пк5}} = H_{\text{пк4}} + i_{\text{пр}} \cdot 100 \text{ м} = 75,15 + (- 0,0105)100 = 74,10 \text{ м}$ . Вычислить рабочие отметки всех пикетных и плюсовых точек как разность проектных и фактических отметок:

$$h_{\text{раб}} = H_{\text{проект.}} - H_{\text{факт}}$$

Рабочие отметки записать непосредственно на профиле: в выемках – под проектной линией, на насыпях – над проектной линией. Выполнить проверку сходимости вычисленных рабочих отметок в каждой точке со значением величины выемки или насыпи на профиле, приняв допуск равным  $\pm 0,5$  мм в масштабе профиля.

Масштабы: горизонтальный 1:10000  
вертикальный 1:200

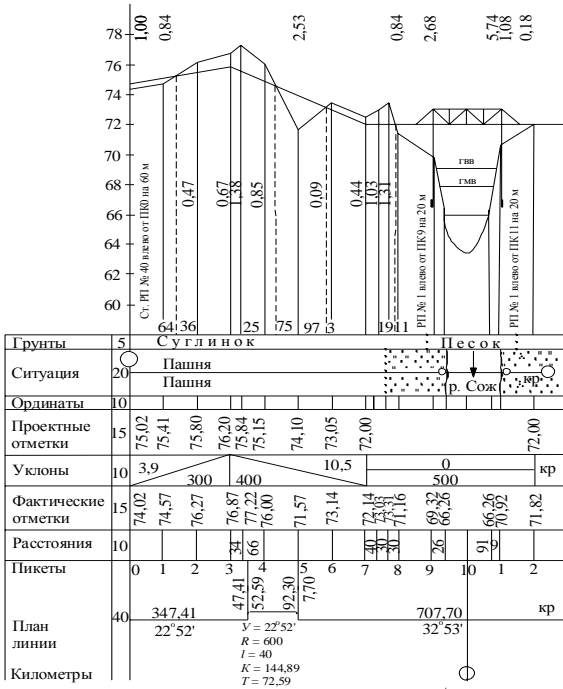


Рисунок 7.1 – Продольный профиль трассы

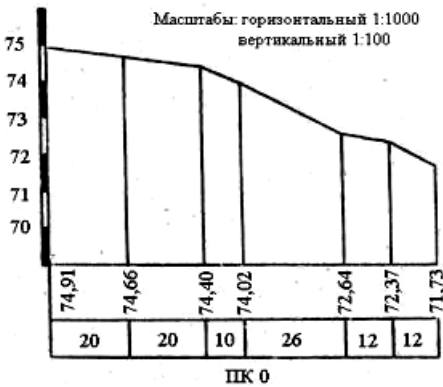


Рисунок 7.2 – Поперечный профиль

Такой контроль позволит обнаружить грубые просчеты в вычислениях рабочих отметок, а также в построении фактической и проектной линий трассы на профиле. Вычислить расстояние от точек нулевых работ до ближайших пикетных точек по формуле:

$$X = |h_1| d / (|h_1| + |h_2|),$$

где  $X$  – горизонтальное расстояние от точки нулевых работ до точки с рабочей отметкой  $h_1$ ;

$h_2$  – рабочая отметка на последующей пикетной точке;

$d$  – горизонтальное расстояние

между ними.

Если, например, на ПК1 рабочая отметка  $h_1 = 1,27$ , на ПК2  $h_2 = -0,49$

$$X = 1,27 : (1,27 + 0,49) \cdot 100 = 72 \text{ м.}$$

Вычертить продольный профиль. Все существующие в природе – черным цветом, проектную линию и проектные данные – красным, точки нулевых работ и расстояния до них – синим. Вычертить на ПК0 и ПК20 поперечные профили в масштабах: горизонтальный 1:1000; вертикальный 1:100 (рисунок 7.2). Высоты точек на поперечниках определить методом горизонта нивелира той станции, с которой выполнялось нивелирование.

Между 9 и 11 пикетами трассы построить профиль живого сечения реки

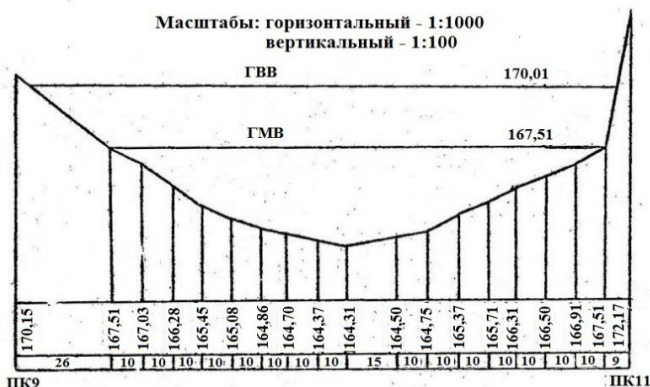


Рисунок 7.3 - Профиль живого сечения р. Сож

в масштабе 1:1000 для горизонтальных расстояний и 1:100 – для вертикальных. На профиле показать горизонты меженных (ГМВ) высоких (ГВВ) вод. Горизонт меженных вод принять равным (с округлением до 1 см) фактической высотной отметке ПК9 + 26 м (плюсовой точки уреза воды на левом берегу реки). Проконтролировать правильность нахождения горизонта меженных вод по высотной отметке уреза воды правого берега на ПК10 + 91 м (рисунок 7.3). Высоты точек дна реки по створу живого сечения определить, отнимая от горизонта меженных вод промеры глубин: горизонт высоких вод найти, прибавив к горизонту меженных вод 2,5 м. Составить чертеж детальной разбивки половины кривой



Рисунок 7.4 – Детальная разбивка кривой

по створу живого сечения определить, отнимая от горизонта меженных вод промеры глубин: горизонт высоких вод найти, прибавив к горизонту меженных вод 2,5 м. Составить чертеж детальной разбивки половины кривой

методом прямоугольных координат на ВУП №1 с интервалом разбивки  $K = 10$  м в масштабе 1:1000 (рисунок 7.4).

## **8 НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА ПРОЕКТА ПЛАНИРОВКИ ПЛОЩАДКИ**

В результате нивелирования поверхности по квадратам получают топографический план местности в крупном масштабе, используемый в дальнейшем для составления проекта вертикальной планировки при строительстве промышленных и гражданских зданий, аэродромов, пристанционных площадок и других сооружений.

**Пример задания.** На местности с помощью теодолита и мерной ленты построена сетка квадратов, вершины которых соответствующим образом пронумерованы, например, А1, АП, .... Б1, БП, и т. д. (рисунок 1). Затем выполнено нивелирование поверхности. Для этого, устанавливая нивелир последовательно в центре каждого квадрата, снимали отсчеты по черной стороне рейки на всех его вершинах. Результаты измерений приведены в журнале нивелирования поверхности, находящемся в задании.

### **Порядок выполнения задания.**

**Обработка журнала нивелирования поверхности.** Вычисляют разности отсчетов по рейке в соседних квадратах (разности горизонта нивелира на станциях) и записывают их у середины сторон квадратов. Эти разности в пределах  $\pm 6$  мм должны быть равны между собой. Например, на рисунке 1 у точки В1 разность равна  $2226 - 1306 = +920$ , а у точки БП – соответственно  $1074 - 0152 = +922$  и т. д.

Вычисляют и записывают в журнал средние разности. Затем подсчитывают их сумму по внешнему кольцу квадратов (1 – 14). Это будет невязка горизонтов нивелира. Если невязка не превышает допустимой величины, вычисляемой по формуле  $f_{\text{доп}} = 6\text{мм} \sqrt{n}$ , где  $n$  – число средних разностей, то ее распределяют с обратным знаком поровну на средние разности с округлением до 1 мм. Например, на рисунке 1  $f = +921 - 816 - 548 + 983 + 1211 + 390 - 110 - 902 - 1309 + 228 + 100 - 101 + 886 - 923 = +10$  мм; допустимая невязка  $f_{\text{доп}} = 6\sqrt{14}$  мм = 22 мм. Как видно, невязка допустима. Она распределена с обратным знаком, поправки записаны над средними разностями. Прибавляя к высоте точки А1 (взятой из исходных данных) отсчет по рейке на этой точке, получают горизонт нивелира в первом квадрате и записывают его под номером станции. В примере (рисунок 1) высота точки А1 равна 40,705 м. Тогда горизонт нивелира в первом квадрате равен  $40,705 + 1,152 = 41,857$ . Он записан в середине квадрата под номером станции. Прибавляя к горизонту нивелира в первом квадрате исправленную разность между вто-



рой и первой станциями, получают горизонт нивелира во втором квадрате, и т. д. Замыкая внешнее кольцо квадратов по горизонту нивелира на четырнадцатой станции, находят значение горизонта нивелира в первом квадрате

$$f_{1-14} = \Sigma \Delta \Gamma_{1-14} = +10 \text{ мм}; f'_{6-13} = \Sigma \Delta \Gamma_{6-13} - (\Gamma_{13} - \Gamma_6) = +1 \text{ мм}$$

$$f_{\text{доп}} = 6 \text{ мм} \sqrt{14} = \pm 22 \text{ мм}; f'_{\text{доп}} = 6 \text{ мм} \sqrt{3} = 10 \text{ мм}$$

Например (рисунок 8.1), горизонт нивелира во втором квадрате равен  $41,857 + 0,920 = 42,777$ . Тогда горизонт нивелира в третьем квадрате составит  $42,777 + (-0,817) = 41,960$ , и т. д.

	A	40.551 Б	40.203 В	39.930 Г	40.700 Д							
I 40.705	1153	1306	2226	2574	1758	2030	1481	711				
		$\frac{1}{41,857}$	+920	-1	$\frac{2}{42,777}$	-816	-1	$\frac{3}{41,960}$	-549	-1	$\frac{4}{41,411}$	
			+922	+921		-816			-547			
II 40.555	1304	-923	152	1074	1678	862	1260	713	+983	+983	661	40.750
	2226	-922	-924	41.703		41.098	40.698	1696	+983	-1	1644	
		$\frac{14}{42,781}$							$\frac{5}{42,393}$			
III 40.785	1998	+886	1708	41.073		41.754	41.651	742	+1212	+1210	492	41.901
	1110	+884	+888	824	1816	1132	1200	1302	1954	+1211	-1	1702
		$\frac{13}{41,895}$	-991	-992	$\frac{15}{42,886}$	-67	-68	$\frac{16}{42,953}$	-1	-652	$\frac{6}{43,603}$	
			-990	-990		-67	-66		-649	-646		
IV 40.207	1686	-101	1090	2080	1184	1250	454	1100	+388	+392	1368	42.235
	1790	-104	-98	1188	40.805		41.702	42.503	1488	+390	1760	
		$\frac{12}{41,997}$							$\frac{7}{43,993}$			
V 39.795	2202	+100	1442	40.555		41.356	42.857	1136	-108	-111	872	43.121
	2102	+100	+100	1342	1116	314	1624	125	1028	-110	761	
		$\frac{11}{41,897}$	+228	-1	+226	$\frac{10}{41,670}$	-1309	-1310	$\frac{9}{42,980}$	-1	-903	$\frac{8}{43,883}$
					+230		-1308		-902			
VI 39.501	2396	1640	1410	668	1976	1274	2176	1380				42.503

Рисунок 8.1 – Журнал нивелирования поверхности

Прибавляя к горизонту нивелира в четырнадцатом квадрате исправленную разность между первой и четырнадцатой станцией  $42,781 + (-0,924) = 41,857$ , вновь получим горизонт нивелира в первом квадрате, что является контролем правильности выполненных вычислений.

Вычисляют невязку для внутреннего хода, проходящего от 6-го через 16-й и 15-й к 13-му квадрату. Для этого от суммы средних разностей по внутреннему ходу вычитают разность горизонтов нивелира в 13-м и 6-м квадратах. Для  $f_{\text{внутр}} = (-649 - 67 - 991) = -(41,895 - 43,603) = +1$  мм.

Допустимая невязка для внутреннего хода  $f_{\text{вн. доп}} = 6\sqrt{3}$  мм = 10 мм.

После распределения невязки по внутреннему ходу по уже известному правилу вычисляют горизонты нивелира в 15-м и 16-м квадратах. При этом вычисления начинают с 6-го квадрата, а заканчивают контрольным получением горизонта нивелира в 13-м квадрате. Так, для рисунка 1 горизонт нивелира в 6-м квадрате равен  $43,603 + (-0,650) = 42,953$ , а в 15-м  $42,953 + (-0,067) = 42,886$ . Контроль:  $42,886 + (-0,991) = 41,895$ , т. е. вновь получим горизонт нивелира в 13-м квадрате. Вычисляют высоты всех вершин квадратов. Для этого от горизонта нивелира в соответствующем квадрате вычитают отсчеты по рейкам, взятым на данной станции. Например, высота вершины В1 (рисунок 1)  $42,777 - 2,574 = 40,203$  м. Высоту этой же вершины для контроля можно получить через горизонт нивелира третьего квадрата, а именно:  $41,960 - 1,758 = 40,202$  м. При этом может быть расхождение между высотами до 3 мм.

**Построение плана участка в горизонталях.** По румбу начальной линии А1 – Д1 (выбирается из исходных данных) и углам полигона вычисляют румбы линий окружной границы участка. Например, румб начальной линии  $r_{\text{А1-Д1}} = \text{ЮВ}:82^{\circ}30'$ . Тогда дирекционный угол этой линии  $\alpha_{\text{А1-Д1}} = 97^{\circ}30'$  (найден на основании формулы связи дирекционного угла и румба во второй четверти). Используя известную формулу дирекционного угла последующего направления  $\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} + 180^{\circ} - 90^{\circ} = \alpha_{\text{пред}} + 90^{\circ}$ , вычисляют дирекционные углы оставшихся линий полигона и затем по известным формулам связи дирекционных углов и румбов по четвертям вновь переходят к румбам сторон. Так, для вышеприведенного примера  $\alpha_{\text{Д1-ДVI}} = 97^{\circ}30' + 90^{\circ} = 187^{\circ}30'$ ; тогда румб этой линии (третья четверть)  $r_{\text{Д1-ДVI}} = 187^{\circ}30' - 180^{\circ}00' = \text{ЮЗ}:7^{\circ}30'$ .

На листе чертежной бумаги (формат А4) в масштабе 1:2000 по вычисленным румбам и длинам линий строят участок и сетку квадратов, наносят ситуацию и выписывают вычисленные в журнале нивелирования поверхности высоты вершин квадратов с округлением их до 1 см (рисунок 8.2).

По высотам точек при помощи миллиметровой бумаги или прозрачной основы выполняют интерполирование и проводят горизонтали через 0,5 м. Расчеты горизонталей производят по всем сторонам квадратов и по одной

из диагоналей в каждом квадрате, соответствующей наибольшему неизменному уклону.

**Составление картограммы земляных работ.** По данным плана нивелирования поверхности составляют проект вертикальной планировки под горизонтальную площадку, итоговым документом которого является картограмма земляных работ. Для составления картограммы земляных работ на миллиметровой бумаге в масштабе 1:1000 строят сетку квадратов. У каждой вершины квадрата, справа под линией, выписывают высоты земли (рисунок 8.3). Затем определяют проектную отметку горизонтальной площадки. Для этого вычисляют средние высоты в каждом квадрате и по ним находят высоту проектной плоскости как среднее арифметическое из средних высот. Например, на рисунке 3 проектная отметка горизонтальной площадки равна 41,25. Она записана над отметками земли. Для контроля вычислений проектную отметку горизонтальной площадки необходимо вычислить по второй формуле:

$$H_{\text{проект.}} = (\Sigma H_1 + 2 \Sigma H_2 + 3 \Sigma H_3 + 4 \Sigma H_4) / 4n$$

где  $H_1$  – отметки вершин принадлежащих только одному квадрату (на рисунке 3 это будут отметки расположенные в углах площадки);

$H_2$  – отметки вершин общие для двух смежных квадратов (на рисунке 3 это будут отметки по внешнему периметру площадки, исключая угловые вершины);

$H_3$  – отметки вершин общие для трех смежных квадратов (на рисунке 3 таких отметок нет);

$H_4$  – отметки вершин общие для четырех смежных квадратов (на рисунке 3 это отметки вершин внутри основного периметра площадки.

$n$  – число квадратов.

$$\Sigma H_1 = 40,70 + 40,70 + 42,50 + 39,50 = 163,40 \text{ м};$$

$$\Sigma H_2 = 40,55 + 40,20 + 39,93 + 40,75 + 41,90 + 42,24 + 43,12 + 41,71 + 41,00 + 40,26 + 39,60 + 40,21 + 40,78 + 40,56 = 572,81 \text{ м};$$

$$2\Sigma H_2 = 2 \times 572,81 = 1145,62 \text{ м}$$

$$3\Sigma H_3 = 0;$$

$$\Sigma H_4 = 41,70 + 41,10 + 40,70 + 41,07 + 41,75 + 41,65 + 40,81 + 41,70 + 42,50 + 40,56 + 41,36 + 42,86 = 497,76 \text{ м};$$

$$4\Sigma H_4 = 4 \times 497,76 = 1991,04 \text{ м}$$

$$\text{Тогда } H_{\text{проект.}} = (163,40 + 1145,62 + 1991,04) / 80 = 41,25 \text{ м.}$$

Проектные отметки вычисленные по двум вариантам формул должны быть одинаковы. Если имеются расхождения двух проектных отметок, то вычисления необходимо повторить, так как при дальнейшей обработке баланс объема насыпи и выемки на площадке при составлении картограммы

земляных работ превысит допустимые значения (более 3%).

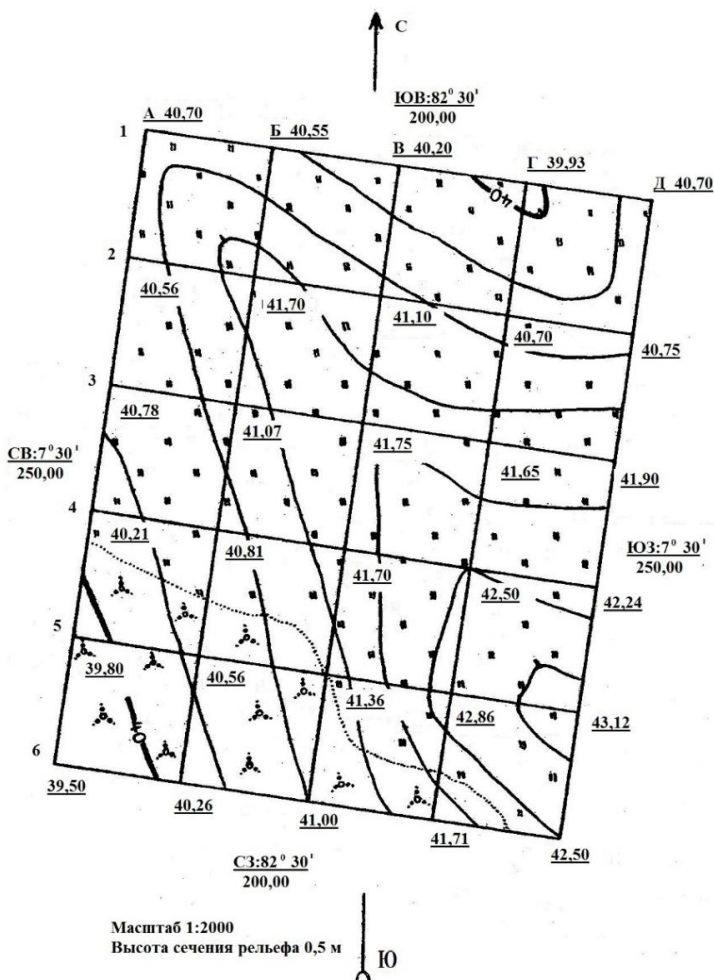


Рисунок 8.2 – Пример оформления плана участка нивелирования поверхности в горизонталях

Вычисляют рабочие отметки у вершин квадратов как разность между проектными отметками и отметками земли. Например, на рисунке 3 рабочая отметка у вершины Б1 равна  $41,25 - 40,55 = + 0,70$ . Рабочие отметки запи-

сывают слева от проектных. По сторонам квадратов, где рабочие отметки меняют свой знак, находят расстояния до точек нулевых работ (точек, где рабочая отметка равна нулю, т. е. отсутствуют земляные работы). При этом используют формулы:

$$x_1 = \frac{|a_2|}{|a_1| + |a_2|} d; \quad x_2 = \frac{|a_1|}{|a_1| + |a_2|} d.$$

где  $x_1$  и  $x_2$  – расстояния до точки нулевых работ соответственно от вершины 1 и вершины 2;

$|a_1|$  и  $|a_2|$  – рабочие отметки на вершинах 1 и 2, взятые с положительным знаком;

$d$  – длина стороны квадрата ( $d = 50$  м для примера).

Соединяя найденные точки нулевых работ жирной пунктирной линией, получают на картограмме линию нулевых работ, т. е. линию пересечения проектной плоскостью земной поверхности (рисунок 3).

Далее вычисляют объем выемок и насыпей в каждом квадрате с округлением до  $1 \text{ м}^3$  и записывают их в середине квадратов: в числителе – объем выемки, в знаменателе – объем насыпи. При этом используют следующие формулы:

а) если рабочие отметки ( $a, b, c, d$ ) всех четырех вершин квадрата имеют одинаковые знаки, то объем грунта (рисунок 4,а) будет равен:

$$V = P/4(a + b + c + d),$$

где  $P$  – площадь квадрата.

Например, на рисунке 3 в 3-м квадрате объем насыпи  $V = 1/4 \cdot 2500 (1,05 + 1,32 + 0,55 + 0,15) = 1919 \text{ м}^3$ .

В примере площадь квадрата  $P = 50 \times 50 = 2500 \text{ м}^2$ ;

б) если рабочие отметки ( $a, b, c$ ) трех вершин имеют одинаковые знаки, а отметка  $d$  – четвертой вершины противоположный знак, то объем выемки и насыпи вычисляют по формулам (рисунок 4,б):

$$V_1 = 1/4 P(a + b + c + d) - 1/3 P_1 d; \quad V_2 = 1/3 P_1 d.$$

где  $P$  – площадь квадрата;

$P_1$  – площадь треугольника у вершины с рабочей отметкой  $d$ .

Например, в 1-м квадрате (рисунок 8.3):

- объем выемки (поскольку рабочая отметка  $d = -0,45$  м со знаком минус)

$$V_2 = 1/3 P_1 d = 1/3 \cdot 193,1 \cdot (-0,45) = -29 \text{ м}^3,$$

где  $P_1 = 1/2 \cdot (19,6 \cdot 19,7) = 193,1 \text{ м}^2$ .

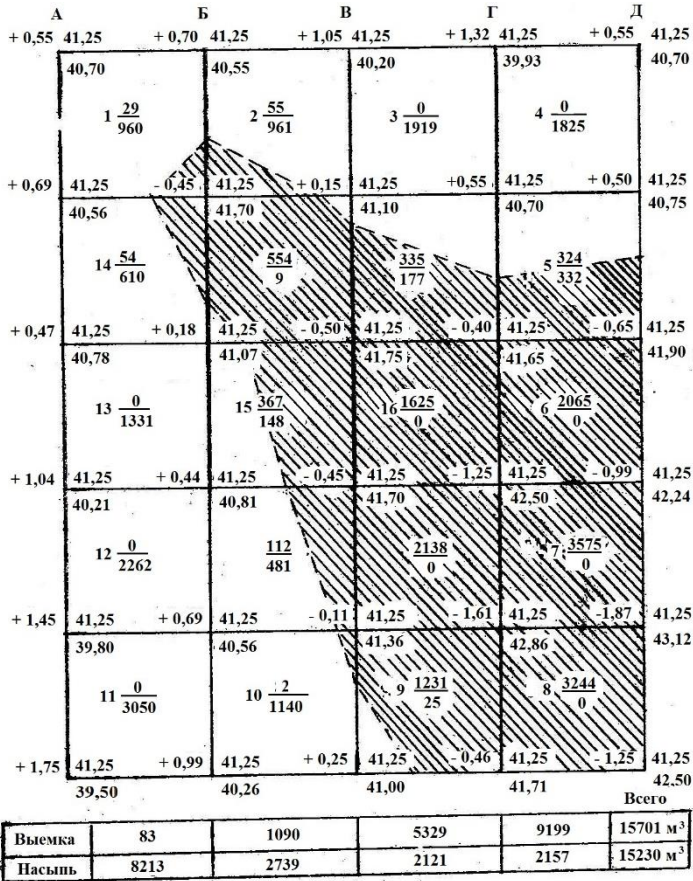
Расстояния 19,6 м и 19,7 м – катеты в прямоугольном треугольнике у вершины с рабочей отметкой  $d$ , определяются по формулам расстояний до точек нулевых работ:

$$X_1 = 0,45 \cdot 50 / (0,45 + 0,70) = 19,6 \text{ м},$$

$$X_1 = 0,45 \cdot 50 / (0,45 + 0,69) = 19,7 \text{ м.}$$

- объем насыпи

$$V_1 = 1/4 \cdot 2500(0,69 + 0,55 + 0,70 - 0,45) - (-29) = 931 + 29 = 960 \text{ м}^3.$$



М 1:1000

Рисунок 8.3 – Картограмма земляных работ

в) если рабочие отметки ( $a$ ,  $b$ ) двух соседних вершин квадрата имеют одинаковые знаки, а две другие ( $c$ ,  $d$ ) – противоположные, то объем насыпи и выемки находят по формулам (рисунок 4,в):

$$V_1 = 1/4 \cdot P_1(a + b); \quad V_2 = 1/4 \cdot P_2(c + d);$$

$P_1$  и  $P_2$  – площади трапеций, отсекаемых в квадрате линией нулевых работ.

Например, в 5-м квадрате (рисунок 3) объем насыпи

$$V_1 = 1/4 \cdot P_1(0,55 + 0,50) = 1/4 \cdot 1266 \cdot 1,05 = 332 \text{ м}^3,$$

где  $P_1 = 1/2(28,9 + 21,7) \cdot 50 = 1266 \text{ м}^2$ .

Расстояния 28,9 и 21,7 являются основаниями трапеции и определены по формулам как расстояния до точек нулевых работ, аналогично примеру в п. б. Объем выемки

$$V_2 = 1/4 \cdot P_2[(-0,40) + (-0,65)] = 1/4 \cdot 1234(-1,05) = -324 \text{ м}^3,$$

где  $P_2 = 2500 - 1266 = 1234 \text{ м}^2$ ;

г) если рабочие отметки ( $a$ ,  $c$ ) двух вершин по диагонали квадрата имеют одинаковые знаки, а две другие ( $b$ ,  $d$ ) – противоположные, то объем земли (рисунок 4,г)

$$V_1 = 1/4 \cdot P_1(a + c); \quad V_2 = 1/3 \cdot (P_2 \cdot b + P_3 \cdot d),$$

где  $P_2$  и  $P_3$  – соответственно площади треугольников;  $P_1$  – площадь шестиугольника;  $P_1 = P - (P_2 + P_3)$ , где  $P$  – площадь квадрата.

Например, в квадрате, расположенном между 2-м и 15-м квадратами, объем насыпи

$$V_2 = 1/3(P_2 \cdot 0,18 + P_3 \cdot 0,15) = 1/3(94 \cdot 0,18 + 72 \cdot 0,15) = 9 \text{ м}^3,$$

где  $P_2$  и  $P_3$  – соответственно площади треугольников у вершин с рабочими отметками 0,18 и 0,15 м (рисунок 3);

$$P_2 = 94 \text{ м}^2; \quad P_3 = 72 \text{ м}^2,$$

а объем выемки

$$V_1 = 1/4 \cdot P_1[(-0,45) + (-0,50)] = 1/4 \cdot 2334 \cdot (-0,95) = -554 \text{ м}^3$$

$$P_1 = 2500 - 166 = 2334 \text{ м}^2.$$

Следует иметь в виду, что во всех формулах при вычислении объемов земляных работ необходимо учитывать знаки рабочих отметок; тогда объем выемки будет иметь знак минус, а объем насыпи – знак плюс.

Рисунок 8.4 – Вычисление объемов земляных работ:

квадраты с рабочими отметками:

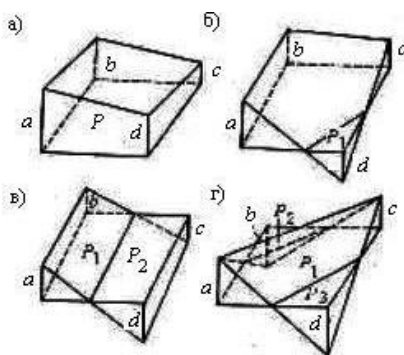
а) – четыремя одного знака;

б) – тремя одного знака и одной противоположного;

в) – двумя смежными одного знака и двумя другими противоположного;

г) – чередующимися положительными и отрицательными.

Объемы насыпей и выемок суммируются по каждому ряду квадратов и по всей площадке. Разность между объемами не должна превышать 3% от всего объема земляных работ.



Например, на рисунке 3 объем выемки превышает объем насыпи на  $471 \text{ м}^3$ , что составляет ко всему объему земляных работ ( $471 \text{ м}^3 \cdot 100\%$ ):  $30931 \text{ м}^3 = 1,6\% < 3\%$ .

## 9 РАЗБИВОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ ДЛЯ ПЕРЕНЕСЕНИЯ ПРОЕКТА ЗДАНИЯ В НАТУРУ

Перенесение сооружения в натуру заключается в определении на местности положения отдельных точек. Для выполнения разбивочных работ необходимо произвести расчет основных разбивочных элементов, таких как углы и расстояния, значения которых записываются на разбивочный чертеж (рисунок 9.3).

$$X_A = + 4409,30 + 0,01N;$$

$$Y_A = + 1422,10 - 0,01N.$$

Схема разбивки показывает минимальное число основных точек – точки опорной геодезической сети, от которых будет производиться разбивка; все значения величин, которые необходимы в процессе работы, включая контрольные.

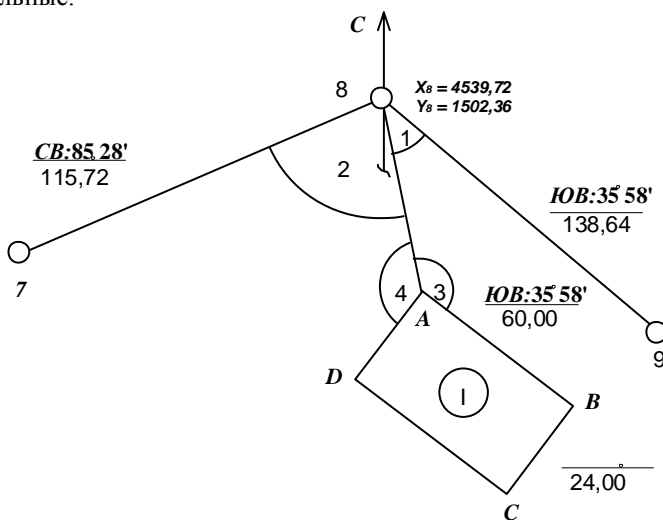


Рисунок 9.3 – Схема разбивки здания полярным способом

В лабораторной работе выносятся в натуру четыре точки – углы здания, в пределах теодолитного хода около станций 7, 8 и 9.

Сторона АВ здания параллельна стороне теодолитного хода 8–9. Вычисления выполняются для разбивки здания на станции 8. Определяется длина линии от станции 8 до точки А здания и значения горизонтальных



углов 1, 2, 3 и 4, а также элементы контроля – Диагонали здания АС и ВД и расстояние ВК от стороны АВ здания по перпендикуляру до линии 8–9.

**Пример выполнения работы.** Каждый студент выполняет работу согласно заданному шифру. К исходным данным относятся: координаты точки 8, длина и румбы линий 7–8, 8–9 теодолитного хода и стороны АВ. Эти данные приведены на схематическом чертеже (см. рисунок 8.3).

Пример, по шифру 5070 вычисляются прямоугольные координаты точки А здания:

$$X_A = + 4409,30 + 0,01 N = + 4409,30 + 0,01 \cdot 5070 = + 460,00;$$

$$Y_A = + 1422,10 - 0,01 N = + 1422,10 - 0,01 \cdot 5070 = + 1371,40.$$

По исходным координатам точек 8 и А в таблице 8.1. решается обратная геодезическая задача двумя вариантами используя формулы

$$1 \text{ вариант: } \Delta x = X_A - X_8; \quad \Delta y = Y_A - Y_8; \quad \operatorname{tg} \alpha = \Delta y / \Delta x; \quad d = \Delta x / \cos \alpha = \Delta y / \sin \alpha.$$

$$2 \text{ вариант: } d = \Delta x^2 + \Delta y^2; \quad \sin \alpha = \Delta y / d; \quad \cos \alpha = \Delta x / d.$$

В зависимости от знаков, какие принимают приращения координат  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , определяется названия румбов, а затем полученный румб переводится в дирекционный угол  $\alpha_{8-A}$ . В Приведенном примере  $\Delta x$  и  $\Delta y$  имеют отрицательное значение и румб находится в III четверти и имеет название  $r = \text{ЮЗ}$ :  $58^\circ 39' 36''$ , а следовательно дирекционный угол определяется следующим образом  $\alpha_{8-A} = 180^\circ + 58^\circ 39' 36'' = 238^\circ 39' 36''$ . Затем по дирекционному углу определяется  $\sin \alpha$  и  $\cos \alpha$  и расстояние  $d$  линии 8-А дважды. Допустимое расхождение между двумя результатами 0,01 м.

Таблица 9.1 – Решение обратной геодезической задачи

Обозначения	Вычисления	Обозначения	Вычисления
1) $Y_A$	1371,40	1) $X_A$	4460,00
3) $Y_8$	1502,36	3) $X_8$	4539,72
5) $\Delta Y = Y_A - Y_8$	-130,96	6) $\Delta X = X_A - X_8$	-79,75
Вариант 1			
7) $\operatorname{tg} \alpha_{8-A} = \Delta y / \Delta x$	1,64213	8) $r$	$58^\circ 39' 36''$
10) $\sin \alpha$	-0,85410	9) $\alpha_{8-A}$	$238^\circ 39' 36''$
12) $d_{8-A} = \Delta y / \sin \alpha$	153,33	11) $\cos \alpha$	-0,52011
		12) $d_{8-A} = \Delta x / \cos \alpha$	153,33
Вариант 2			
7) $\Delta Y^2$	17150,5216	11) $\sin \alpha = \Delta y / d$	-0,85410
8) $\Delta X^2$	6360,0623	12) $\cos \alpha = \Delta x / d$	-0,52012
9) $d^2 = \Delta X^2 + \Delta Y^2$	23510,5841	13) $\alpha_{8-A}$	$238^\circ 39' 36''$
10) $d_{8-A}$	153,33	14) $\alpha_{8-A}$	$238^\circ 39' 36''$

Второй вариант рассчитывается по теореме Пифагора. Начинается расчет возведением в квадрат приращения координат с нахождением их сумму и дальнейшей нахождением корня квадратного этого выражения. В результате находится расстояние  $d$ . Затем по очереди приращения координат делятся на расстояния, из полученных значения вычисляется  $\arcsin \Delta y / d$  и  $\arccos \Delta x / d$  в результате чего находится румбы, а по ним дирекционные углы

По дирекционным углам  $\alpha_{7-8} = 85^\circ 28'$  (румб находится в I четверти  $\alpha = r$ ),  $\alpha_{8-9} = 144^\circ 02'$  (румб находится в II четверти  $\alpha = 180 - r$ ) вычисляются углы 1, 2, 3 и 4.

$$\angle 1 = \alpha_{8-A} - \alpha_{8-9} = 238^\circ 39' 36'' - 144^\circ 02' = 94^\circ 37' 36'';$$

$$\angle 2 = \alpha_{8-7} - \alpha_{8-A} = 85^\circ 28' + 180 - 238^\circ 39' 36'' = 26^\circ 48' 24''.$$

Дирекционный угол  $\alpha_{8-7}$  имеет обратное направление дирекционного угла  $\alpha_{7-8}$ , тогда  $\alpha_{8-7} = \alpha_{7-8} + 180$ .

$$\angle 3 = \alpha_{8-9} - \alpha_{A-8} = \alpha_{8-9} - (\alpha_{8-A} - 180) = 144^\circ 02' - (238^\circ 39' 36'' - 180) = 85^\circ 22' 26'';$$

$$\angle 4 = \alpha_{A-8} - \alpha_{A-D} = \alpha_{A-8} - (\alpha_{8-9} + 90) = 58^\circ 39' 36'' - (144^\circ 02' + 90) = 184^\circ 37' 34''.$$

Затем производится контроль  $\angle 3 + \angle 4 = 85^\circ 22' 26'' + 184^\circ 37' 34'' = 270^\circ$ . Согласно рисунку рассчитывается :

$$\hat{A}\ddot{A} = \sqrt{\hat{A}\hat{A}^2 + \hat{A}\hat{N}^2} = \sqrt{60^2 + 25^2} = 65i \text{ ,}$$

$$BK = d_{8-A} \sin \angle 1 = 153,33 \sin 94^\circ 37' 36'' = 152,83 \text{ м}$$

После производства всех расчетов составляется разбивочный чертеж в масштабе 1: 2000 с нанесением всех данных, необходимых для разбивки здания на местности и контроль.

Для данного примера:  $\angle 1 = 94^\circ 37' 36''$ ;  $\angle 2 = 26^\circ 48' 24''$ ,  $\angle 3 = 85^\circ 22' 26''$ ;  $\angle 4 = 184^\circ 37' 34''$ ,  $d = 153,33$  м,  $BD = 65$  м;  $BK = 152,83$  м

## 10 ОСНОВЫ АЭРОФОТОТОПОГРАФИИ И ФОТОГРАММЕТРИИ

**Фототопография** – раздел геодезии, изучающий методы создания планов и карт путем фотографирования территории. Ее делят на наземную (фототеодолитную) съемку, производимую с земли, и аэрофотосъемку – с воздуха. Фотографирование территории осуществляется специальным аэрофотоаппаратом (АФА) в основном с самолета, но иногда и с вертолета. Различают аэрофотосъемку комбинированную и стереофототопографическую. При комбинированной съемке по аэроснимкам составляется ситуационная часть плана, а рельеф снимается в поле мензульным комплектом или тахеометром. При стереофототопографической съемке контурная часть и рельеф

изображаются по аэроснимкам в камеральных условиях на специальных фотограмметрических приборах.

Раздел науки, которая занимается процессом получения фотоснимков для составления для составления топографических планов и карт называется фотограмметрией. В фотограмметрии используют стереофотограмметрический метод, при котором по двум снимкам, полученным из разных точек фотографирования, воспроизводят пространственную модель местности. Эти два снимка называются стереопарой. Они должны быть перекрывающимися называются стереопарой. Они должны быть перекрывающимися друг с другом, т.е. отображать общую территорию. Расстояние между точками фототрафирования двух снимков стереопары называется базисом фототрафирования.

При фотограмметрических работах измерения по фотоснимкам выполняются в камеральных условиях. Для этого используются специальные стереофотограмметрические приборы стационарного типа.

Стереофото топографическая съемка – основной метод создания топографических карт на больших площадях. Ее достоинства – быстрота, точность и полнота изображения местности.

Комбинированную съемку эффективно применяют в равнинных районах со слабо выраженным рельефом и там, где нужна особая точность определения высот точек. Измерения по снимкам требуют значительно меньших затрат труда, чем на земной поверхности. Поэтому методы фототопографии имеют исключительно важное значение при изысканиях путей сообщения.

**Основы аэрофотосъемки.** Съемка больших территорий в настоящее время осуществляется методами фотограмметрии, изучающей способы и технологию определения форм, размеров, положения в пространстве, количественные и качественные характеристики объектов по их изображениям.

Изображения местности получают с помощью специальной аппаратуры, устанавливаемой на авиационных или космических носителях. Для аэросъемки используют самолеты (например, АН-30, ТУ-134, ИЛ-18), сверхлегкие летательные аппараты (малые самолеты, мотодельтапланы) и вертолеты. Космическая съемка выполняется с искусственных спутников Земли, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций.

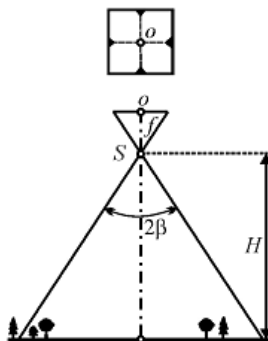


Рисунок 10.1 – Схема фотосъемки:  
 $S$  – центр проектирования снимка;  
 $f$  – фокусное расстояние;  
 $H$  – высота фотографирования

Среди аэрокосмических различают съемки фотографические, сканерные, тепловые инфракрасные, радиолокационные и др.

Основным видом аэрокосмической съемки является **аэрофотосъемка**, которую выполняют с помощью *аэрофотоаппаратов*. Аэрофотоаппаратом изображение местности фиксируется на фотопленке – черно-белой, цветной или спектрзональной. Наиболее распространены форматы снимков: в нашей стране – 18×18 см и 30×30 см, за рубежом – 18×18 см и 23×23 см.

Возможность отдельно различать на снимке мелкие близко расположенные детали изображения называется *разрешающей способностью* снимка. В настоящее время аэрофотоснимки имеют разрешающую способность 10–40 линий на миллиметр.

При фотографировании на аэроснимке фиксируется изображение местности, а также координатные метки, которые определяют плоскую систему координат снимка (рисунок 10.1).

Аэрофотоснимок, угол наклона которого при фотографировании был равен нулю, называется *горизонтальным*, при угле наклона, не превышающем 3°, – *плановым*, при угле наклона более 3° – *перспективным*.

Различают аэрофотосъемку *одинарную* – это съемка отдельных объектов, *маршрутную* – фотографирование полосы местности вдоль заданной линии (например, автомобильных и железных дорог) и *площадную* – фотографирование местности несколькими параллельными маршрутами. Фотографирование выполняют так, чтобы смежные снимки одного маршрута имели продольное перекрытие не менее 60 %, а снимки соседних маршрутов – поперечное перекрытие не менее 30 %.

Аэрофотоснимок представляет собой центральную проекцию точек местности на плоскость снимка (рисунок 10.1). Масштаб горизонтального снимка

$$\frac{1}{M} = \frac{f}{H},$$

где  $M$  – знаменатель масштаба;

$f$  – фокусное расстояние аэрофотоаппарата;

$H$  – высота полета.

Для выполнения космических съемок используют космические фотоаппараты, являющиеся длиннофокусными модификациями аэрофотоаппаратов.

Наряду с аэрофотоаппаратами при аэросъемке стали применять цифровые электронные камеры, сканеры и другие съемочные системы, создающие цифровые изображения местности.

**Дешифрирование** – процесс распознавания на аэроснимках сфотографированных предметов местности, обозначения их условными знаками, принятыми при составлении карт и установления их качественных и коли-

качественных характеристик. Полученные при аэрокосмической съемке снимки надо дешифровать, то есть опознать изображенные на них объекты и определить их количественные и качественные характеристики.

Так, например, при изображении дороги необходимо условным знаком показать, шоссейная она или грунтовая; при изображении лесных массивов указывают породу и возраст леса. Некоторые же элементы совсем не могут быть получены фотографически: названия населенных пунктов, глубины болот, линии связи, административные границы и т. д. Такие элементы наносят на аэроснимки по результатам дополнительных измерений и обследований. Дешифрирование проводят по фотосхемам или контактными отпечаткам в пределах рабочей площади аэроснимка.

Дешифрирование различают топографическое и тематическое. Цель **т о п о г р а ф и ч е с к о г о** дешифрирования – получение информации о местности, необходимой для составления топографических карт и планов, **т е м а т и ч е с к о г о** – получение специальной информации (например, экологической).

В каждом отдельном случае должны быть выявлены детали и особенности местности, влияющие на выполнение специальных задач. При любом тематическом дешифрировании в первую очередь проводят топографическое дешифрирование, так как оно дает картографическую основу для нанесения специальных элементов.

Дешифрирование снимков бывает камеральное, полевое и комбинированное.

**К а м е р а л ь н о е** дешифрирование выполняется в стационарных условиях путем анализа изображений на снимках и сопоставления их с имеющимися эталонами. При этом используют прямые и косвенные дешифровочные признаки.

*Прямые признаки* непосредственно указывают на характер объекта. Сюда относят форму, размер, фототон и тень от объекта.

На плановом аэроснимке изображение формы контура, характерной для различных предметов местности, передается без искажения. Размер изображения зависит от масштаба снимка. Тон зависит от многих причин, в первую очередь от способности данной поверхности отражать от себя лучи света, от освещенности поверхности и др. Так, например, сухие дороги изображаются светлыми тонкими линиями; пашня на снимке темнее, чем больше ее влажность. Водные пространства получаются темными и темнее, чем больше глубина и темнее дно. При косом освещении вода получается светлой, а иногда из-за солнечных бликов совсем белой. Многие объекты имеют характерный рисунок, например: зернистой структурой изображается лес, полосами – огороды. Изображения теней от предметов часто похожи на очертания самих предметов.

*К косвенным признакам* дешифрирования относят расположение данного объекта относительно окружающих предметов. Например, дорога, закап-

чивающаяся у реки и продолжающаяся по другую ее сторону, свидетельствует о наличии моста или брода; если по дну лощины просматриваются заросли кустарника, то это говорит о возможном наличии ручьев и т. д.

При камеральном дешифрировании прямые и косвенные признаки используют совместно. Большую помощь оказывают *снимки-эталоны*, которые получают на основании тщательного изучения и полевого дешифрирования снимков, характерных для данного района. Как правило, снимки дешифрируют не одним каким-либо методом – полевым или камеральным: участки, которые не вызывают сомнений или на которые есть эталоны, дешифрируют камерально; в других случаях производят полевое дешифрирование.

Применяя прямые и косвенные признаки дешифрирования, используя имеющиеся эталоны полевого дешифрирования, а также сведения о дорогах, реках, линиях связи, линиях электропередачи, административные материалы и т. д., объекты съемки дешифрируют и по мере распознавания их вычерчивают на аэроснимке тушью: зеленым цветом – воды (реки, озера, болота и т. д.), черным – границы землепользования, очертания предметов местности и угодий, коричневым цветом – рельеф в горизонталях.

Полезно знать некоторые признаки часто встречающихся объектов ландшафта.

*Границы землепользования* обычно проходят по опушкам леса, дорогам или просекам, часто совпадают с живым урочищем – оврагом, рекой. Границы иногда сопровождаются посадкой из деревьев или кустарников.

*Населенные пункты* изображаются параллельными рядами прямоугольников. Поселки сельского типа часто расположены вдоль рек, имеют приусадебные участки в виде узких полос различного тона. К населенному пункту со всех сторон подходят дороги.

*Пути сообщения* изображаются тонкими светлыми линиями, железные дороги – строго прямыми или плавными кривыми (железные дороги обычно сопровождаются лесными посадками). Шоссейные дороги имеют плавные, но более крутые повороты. Грунтовые проселочные и полевые дороги изображаются тонкими белыми линиями с крутыми поворотами.

*Воды* изображаются ровным тоном от светлого до темного. Отмели и острова – белым тоном. Направление течения определяется по имеющимся островам и притокам. Острова тупым концом обращены против течения реки, а острым по течению.

*Пахотные земли* на аэроснимке изображаются различным тоном в зависимости от влажности и наличия растительности. На пашне часто видны борозды. Пашни не примыкают непосредственно к рекам, озерам, болотам. К ним чаще всего подходят луга, которые изображаются серым тоном. На участке скошенного луга могут просматриваться копны и стога сена.

*Леса* на аэроснимке имеют характерный зернисто-бархатный рисунок. Хвойный лес имеет более темный тон по сравнению с лиственным. Отчетливо видны кварталы леса, разделенные просеками.

*Кустарник* изображается сплошным бархатистым массивом сероватого тона. Как правило, кустарник располагается по склонам рек, ручьев, оврагов.

Часто невозможно по снимку получить достаточные характеристики объектов, например, количество проводов на столбах линии связи, скорость течения реки, отличить луг от болота и др. Тогда камеральное дешифрирование дополняется более дорогим – *полевым дешифрированием*. При полевом дешифрировании специалист, обходя местность, непосредственно сравнивает изображения на снимке с объектами и устанавливает их характеристики.

Комбинированный способ дешифрирования сочетает в себе процессы камерального и полевого дешифрирования. Распознаваемые бесспорно объекты местности и явления природы дешифрируются в камеральных условиях, затем осуществляют полевую доработку сложных участков с одновременным контролем результатов камерального дешифрирования.

Для увеличения изображения предметов на аэроснимке, а также для получения стереоскопической модели местности при камеральном дешифрировании применяют цифровые фотограмметрические станции.

В настоящее время при специальных аэрофотосъемках в сложных условиях местности используют многослойные цветные двух- и трехслойные спектрально-анализирующие пленки. Эти пленки содержат слой эмульсии, чувствительный к невидимым инфракрасным лучам спектра, который способствует выделению некоторых особенностей местности.

**Искажения и трансформирование снимков.** Изображение местности на снимке имеет искажения, основные из которых обусловлены непостоянством высоты фотографирования, рельефом местности, наклоном снимка, кривизной земной поверхности. Изменение высоты фотографирования вызывает изменение масштаба аэроснимков. В результате искажений аэрокосмические снимки имеют разный масштаб, причем неодинаковый в разных частях снимка.

**Трансформирование аэрофотоснимков** – это преобразование плановых или перспективных снимков в горизонтальные снимки заданного масштаба. Трансформирование различают фотомеханическое и компьютерное.

*Фотомеханическое* трансформирование выполняется на фототрансформаторах.

Для *компьютерного* трансформирования аэрофотоснимков преобразуют в цифровую форму, после чего преобразование выполняют по стандартным компьютерным программам. По компьютерным программам выполняется и трансформирование сканерных снимков.

**Составление по снимкам фотопланов, фотосхем и топографических планов.** *Фотоплан* монтируют из трансформированных аэроснимков. Основой фотоплана служит бумага, наклеенная на лист алюминия или картона. На основу наносят координатную сетку и по их координатам – опорные точки. На трансформированных снимках опорные точки прокалывают пуансоном, после чего, совмещая отверстия на снимках с опорными точками на основе, середину снимков приклеивают к основе. Наклеив два соседних снимка, разрезают их посередине перекрытия и подклеивают края на стыке снимков. Покрыв снимками всю площадь, получают единое фотографическое изображение местности, соответствующее по точности топографическим планам того же масштаба. Обычно на фотоплан наносят координатную сетку и подписывают названия населенных пунктов, рек и других объектов.

*Фотосхему* монтируют без использования опорных точек. Смежные снимки совмещают методом "мигания". На снимок, закрепленный на основе, накладывают смежный снимок и быстрыми отгибаниями его в зоне перекрытия совмещают контуры снимков. Закрепив середину смежного снимка, оба снимка разрезают посередине перекрытия. Продолжая, получают фотографическое изображение местности – фотосхему, менее точную, но требующую меньше времени для ее составления. Можно составлять фотосхемы и из нетрансформированных аэроснимков.

Планы местности по снимкам составляют, применяя *стереофотограмметрический метод*, заключающийся в совместной обработке пар перекрывающихся аэроснимков, полученных фотографированием местности из двух разных точек. Два снимка одного участка местности, полученные фотографированием из разных точек, называют *стереопарой*.

**Фототопографические съемки при организации дорожного движения. Аэрофотосъемка при изучении транспортных потоков.** Для изучения автомобильного движения и его транспортных потоков производится специальная плановая маршрутная аэрофотосъемка автомобильных дорог в определенные периоды времени в масштабах 1:1000– 1:5000. Взаимное продольное перекрытие фотоснимков такой аэрофотосъемки берут с учетом скоростей движения автомобилей и аэрофотосъемочного самолета или вертолета. Повторную аэрофотосъемку дороги для определения параметров транспортных потоков, а также для учета состава и направлений движения автомобилей выполняют в тех же масштабах. В результате дешифрирования крупномасштабных аэрофотоснимков определяют типыдвигающихся по дороге автомобилей, их распределение в потоке, некоторые динамические характеристики движения.

По таким аэрофотоснимкам можно выполнить расчет интенсивности движения и пропускной способности дороги, ее транспортно-экономических и



эксплуатационных показателей, проанализировать причины аварий и происшествий. Стереофотограмметрический и аналитический методы обработки крупномасштабных аэрофотоснимков с вертолета позволяют получить специальные данные о происшествии или аварии. Например, определить длину и траекторию тормозного пути, если видны следы автомобилей в момент аварии, действия водителей и пешеходов. Аэрофотосъемка регулярных скоплений автомобилей на различных участках дороги позволяет решать ряд важных задач по организации дорожного движения. Например, в часы пик по аэрофотоснимкам затора на дороге можно установить причину и места скопления автомобилей. Такой причиной может быть малая скорость отдельных автомобилей (обычно грузовых), малая скорость на подъеме или на кривой с небольшим радиусом, при въезде в поселок или город, при подходе к транспортной развязке и т. д. На аэрофотоснимках вертолетной крупномасштабной (1:2000–1:1000) специальной аэрофотосъемки видны участки и размеры скоплений автомобилей, их типы. По ним можно наметить мероприятия по ликвидации таких заторов и скоплений. Например, изменяют условия и производят реконструкцию таких участков, изменяют разметку дороги с передачей одной полосы движения на сторону наибольшей его напряженности, в определенные часы перегрузки дороги автомобили направляют по параллельным данному участку смежным дорогам или производят реконструкцию с добавлением одной или двух полос движения на затяжных или предельных подъемах, реконструируют участки с кривыми минимальных радиусов, прокладывают дорогу для транзитного движения в обход поселка или города, расширяют участки перед транспортной развязкой или железнодорожным переездом, делают пересечение дорог в разных уровнях, проводят мероприятия по увеличению видимости на участках, закрытых растительностью, крутыми откосами полотна, крутыми склонами местности.

В соответствии с результатами такой специальной аэрофотосъемки можно наиболее удачно расставить посты милиции и ГАИ на дорогах с интенсивным движением в тех местах, где наблюдается скопление автомобилей в определенные моменты времени.

Аэрофотосъемка позволяет вести регулярный учет дорожного движения в различные периоды года и суток. При учете движения можно устанавливать: типы автомобилей, степень загрузки их грузами (для открытых автомобилей), скорости движения по участкам, интервалы и интенсивность движения, участки наиболее частых происшествий. По анализу характера и условий автоперевозок, представленных на аэрофотоснимках, можно наметить ряд мероприятий, направленных на улучшение условий и экономических показателей дорожного движения, или технико-экономических показателей автоперевозок. По показателям и параметрам дорожного движения

можно установить ряд мер по регулированию скоростей и времени пробега, созданию наиболее благоприятных условий и режима движения, устройству видовых участков и площадок. Для организации такой работы при ГАИ создают специальное подразделение, которое регулярно проводит специальную аэрофотосъемку, выполняет фотограмметрические измерения и дешифрирование фотоснимков, производит анализ результатов аэрогеодезических работ в целях организации дорожного движения.

**Определение по аэрофотоснимкам условий и режима движения автомобилей.** Производство специальной аэрофотосъемки позволяет выявить условия и режим движения автомобилей на реконструируемой дороге и участках ее перестройки, определить наиболее опасные и неудобные места для движения.

По фотоснимкам устанавливают плотность потоков автомобилей по каждому направлению, типы движущихся автомобилей, их скорость и ускорение, интервалы между ними, интенсивность движения и т. д.

В зависимости от поставленной задачи аэрофотосъемку дороги и движущихся по ней автомобилей выполняют с вертолета в крупных масштабах (1:1000–1:2000) в часы пик в прямом и обратном направлениях при продольном перекрытии снимков 80–90 % и с фиксированием времени фотографирования каждого кадра. В отдельных местах, на участках пересечений дорог, ответвлений подъездов к крупным населенным пунктам, участков ввода дорог в города рекомендуется выполнять «стационарную» аэрофотосъемку с зависшего над таким местом вертолета.

Элементы движения как отдельных автомобилей, так и всего потока устанавливают в процессе специальных определений и измерений на фотоснимках. Для выявления скорости движения при дешифрировании из потока автомобилей, изобразившихся на фотоснимках первого залета, выделяют автомобили, отличающиеся от других по своему типу, тону (окраске), грузу или форме с тем, чтобы их можно было уверенно опознать на аэроснимках второго (обратного) залета. При таком выделении замечают места расположения каждого автомобиля на снимках первого и второго залета и по накладному монтажу или при специальных фотограмметрических работах измеряют расстояния между ними  $L_i$ . Кроме того, определяют период времени  $t$ , прошедший между фотографированием автомобиля в первом залете и во втором залете. Средняя скорость движения автомобиля

$$v_i = L_i / t. \quad (10.1)$$

Скорость движения автомобиля в определенном месте (на прямой, кривой, подъеме, спуске)  $v$  устанавливают по интервалу времени между моментами фотографирования двух соседних аэрофотоснимков  $\Delta t_0 = t_2 - t_1$  и расстоянию  $L_0$ , пройденному автомобилем за это время

$$L_0 = l_0 m_0, \quad (10.2)$$

где  $l_0$  – измеренная на снимке длина пути, пройденного автомобилем;  
 $m_0$  – знаменатель масштаба аэроснимка.

$$v_0 = L_0 / \Delta t_0. \quad (10.3)$$

Интервалы времени устанавливают в соответствии с расчетными данными, представленными на командном приборе аэрофотоаппарата.

Среднюю скорость движения потока  $v_n$  находят по скоростям движения отдельных автомобилей  $v_i$  и их числу  $n$ :

$$v_n = \Sigma v_i / n.$$

Интервалы между автомобилями  $\Delta L_i$  устанавливают путем их измерения на аэроснимках  $\Delta l_i$  в масштабе изображения дороги в данном месте (1:m).

$$\Delta L_i = m_i \Delta l_i. \quad (10.4)$$

Для повышения точности таких определений расстояния  $l_0$  и  $l_i$  на фотоснимках получают по измеренным на стереокомпараторах координатам их крайних точек, через приращения координат между изображениями автомобилей на левом и правом аэроснимках  $\Delta x_i$  и  $\Delta y_i$ .

$$\Delta l_i = \sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2}. \quad (10.5)$$

Интенсивность движения  $N$  определяют по числу автомобилей на расчетном участке и интервалу времени фотографирования участка  $t_{\text{уч}}$ , средней скорости потока автомобилей по участку  $v_a$  и средней скорости движения аэрофотосъемочного самолета или вертолета  $v_c$ . Ее вычисляют по формулам:

– при маршрутной аэрофотосъемке в направлении движения (по попутной полосе)

$$N_n = \frac{nv_a}{t_{\text{уч}}(v_c - v_a)}; \quad (10.6)$$

– при маршрутной аэрофотосъемке против направления движения (по встречной полосе)

$$N_b = \frac{nv_a}{t_{\text{уч}}(v_c + v_a)}; \quad (10.7)$$

– при стационарной аэросъемке над заданным местом

$$N = n'/t',$$

где  $n'$  – число автомобилей, прошедших заданный створ;

$t'$  – время съемки.

Плотность потока автомобилей

$$\lambda = \frac{N}{L} = \frac{N}{t_{\text{уч}}(v_c + v_a)} = \frac{nv}{t_{\text{уч}}(v_c \pm v_a)^2}. \quad (10.8)$$

Число обгонов  $\varepsilon$  на единицу длины рассматриваемого участка составляет

$$\varepsilon = \frac{E}{t_{\text{уч}} L_{\text{уч}}}, \quad (10.9)$$

где  $E$  – число обгонов на участке;

$t_{\text{уч}}$  – время стационарной съемки;

$L_{\text{уч}}$  – длина участка.

Масштаб для аэрофотосъемки над заданным местом выбирают таким, чтобы весь участок дороги поместился в кадре аэроснимка.

**Организация дорожного движения с помощью аэрофотоснимков.** Специальные автоматизированные системы организации дорожного движения необходимы для его регулирования на новой дороге, проектирования и установки дорожных знаков, создания условий безопасного движения. Для существующих, вновь проектируемых и реконструируемых дорог предусматривают изменение геометрических элементов на опасных участках, где изменяется направление дороги, происходят изменения радиусов кривых, условий видимости и значений продольных уклонов, при сохранении прежних направлений дороги. В качестве исходных данных для автоматизированных систем дорожного движения используют паспорта дороги и паспорта дорожного движения, в которых описывается вся специфика дорожной обстановки и условия движения автомобилей по дороге.

Составление таких паспортов ведут аэрогеодезическими методами и средствами. Сбор для них информации происходит на базе дешифрирования и стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков крупных масштабов в пределах всей притрассовой полосы автомобильной дороги.

Содержание паспорта дорожного движения должно всесторонне характеризовать его технические характеристики, основные параметры и элементы, условия движения транспортных потоков по прямолинейным и криволинейным участкам дороги, по подъемам и спускам, в условиях сложного движения и плохой видимости. В таком паспорте отмечают места живописных ландшафтов, природные условия. В нем также приводят данные о транспортных потоках, траекториях движения автомобилей с привязкой отдельных участков к километровым отметкам дороги. Для такого рода определений необходимы планово-высотная привязка крупномасштабной аэрофотосъемки и задание взаимного перекрытия аэрофотоснимков с учетом скорости движения автомобилей (вдоль и против потока) и специальный расчет скорости аэрофотосъемочного самолета. Кроме этого предусматривают организацию повторных аэрофотосъемок транспортных потоков для более четкой организации движения автомобилей.

В таком паспорте обычно указывают интенсивность движения, пропускную способность отдельных участков дороги и ряд данных об условиях продвижения автомобилей в транспортном потоке и об обстановке в пути.

**Аэрогеодезические работы при паспортизации дорог.** Аэрофотосъемка при инвентаризации и паспортизации автомобильных дорог выполняется в крупных масштабах 1:1000–1:3000. По своим основным параметрам и особенностям она близка к аэрофотосъемке при учете и организации дорожного движения, строительстве и реконструкции инженерных сооружений. Ее выполняют с вертолетов или самолетов, обладающих небольшими скоростями. Полученные аэрофотоснимки дешифрируют с целью сбора различного дуальной информации о дороге, ее элементах и содержании дорожной полосы. Ряд сведений получают по имеющимся топографическим картам и при опросе работников дорожной службы.

Содержание паспорта дороги, точность информации, заполнение по материалам аэрофотосъемки и картам крупного масштаба должны соответствовать требованиям специальной инструкции.

Расчет основных параметров маршрутной аэрофотосъемки при обследовании дороги, изучении транспортных потоков, условий эксплуатации дороги и ее сооружений выполняют в соответствии с заданием на ее производство. Материалы плановой крупномасштабной аэрофотосъемки используют при установке знаков ограничений движения, обустройстве дороги, разметке дорожных полос и расстановке указательных знаков, описании дорожной обстановки и состоянии дорожных покрытий проезжей части, обочин, поверхностей откосов, водоотвода, определении типов автомобилей и степени загруженности дороги. Смещение изображений движущихся автомобилей относительно предметов местности позволяет устанавливать их скорости (при использовании видимых при этом псевдопараллакс), намечать траектории движения по участкам.

Для выполнения фотограмметрических измерений на фотоснимках создают плано-высотное обоснование крупномасштабной аэрофотосъемки. Оно обеспечивает определение всех параметров и размеров дороги, условий ее эксплуатации. В паспорте приводят данные о дорожном движении с оценкой его условий на прямых участках и кривых с малыми радиусами, на подъемах и спусках, имеющих предельные уклоны, а также отмечают смотровые участки с живописными ландшафтами, дорожную обстановку пути и его обустройство, условия движения специальных автомобилей, размеры которых выходят за принятые на дороге габариты и предельные нагрузки.

По аэрофотоснимкам устанавливают рабочие отметки насыпей и выемок, радиусы и длины горизонтальных и вертикальных кривых, величины углов поворота, элементы поперечных профилей, места обслуживания транспортных средств (автовокзалы, остановки, места стоянки автомоби-

лей), путепроводы, транспортные развязки и ответвления, разметку полос движения и др.

**Аэрофотосъемка при строительстве и приемке дорог.** При строительстве инженерных линейных сооружений аэрофотосъемка позволяет установить: состояние строительства по участкам, качество выполненных отделочных работ, объемы произведенных работ, соблюдение размеров элементов и частей земляного полотна, параметры прямых и кривых в плане, рабочие отметки сооружений, заложения откосов, положения бровок полотна, ширину и глубину канав, размеры резервов, кавальеров, положения берм, труб, мостов, нагорных и отводных канав и т. д.

Кроме того, по аэрофотоснимкам устанавливают состояние поверхности корыта, качество основания и обочин, ровность покрытия, его поперечные и продольные уклоны, радиусы вертикальных кривых. При высокой точности фотограмметрических измерений возможно камерально определять объемы строительных работ.

Положение элементов дорожного полотна и их размеры сравнивают с проектными и устанавливают отклонения от проекта. Для этого используют материалы крупномасштабной аэрофотосъемки с вертолетов, которая проводится для определения размеров объектов и объемов работ. Ориентирование аэрофотоснимков на фотограмметрических приборах целесообразно выполнять по ранее маркированным точкам притрассовой полосы, согласно проектным данным и результатам построения аналитической пространственной фототриангуляции.

В процессе строительства аэрофотосъемка может производиться для оценки качества выполненных строительных работ (допустимости уклонов от проекта), установления новых размеров отдельных элементов земляного полотна и других параметров сооружения, установления размеров объектов и объемов выполненных строительных работ за период между съемками. При определении объемов и качественных характеристик строительных работ обычно требуется высокая точность линейных и особенно высотных фотограмметрических измерений. В соответствии с ними задают параметры аэрофотосъемки. Так например, если требуется, чтобы абсолютные ошибки длин были в пределах 0,05 м, а высот – в пределах 0,01 м, то при измерениях их фотоизображений с точностью 0,01 мм масштаб фотографирования должен быть  $1:m = 0,01:50$ , т. е. крупнее 1:5000, а высота фотографирования с вертолета (при устранении вибрации фотоаппарата через надувную резиновую камеру автоколеса)  $H_0 = \delta h b_0 / \delta \Delta p$ .

Тогда при  $H_0 = 0,01 \cdot 70:0,01 = 70$  м и  $f_k = 70$  мм масштаб таких аэрофотоснимков может быть  $1:m = 1:1000$ . При  $\delta h = 0,05$  м высота полета будет  $H_0 = 350$  м, а масштаб аэрофотоснимков  $1:m = 1:3500$ .

При приемке сооружения в эксплуатацию фотограмметрические работы могут производиться при ориентировании аэрофотоснимков в соответствии с фотограмметрическим плано-высотным обоснованием или по проектным данным законченного строительством земляного полотна и покрытий с контролем прямолинейности бровок и их высотного размещения по ряду поперечных профилей. По результатам измерений фотоснимков определяют качественные показатели строительства, соответствие поперечных уклонов и откосов земляного полотна, обочин, покрытий, рабочих отметок и других элементов сооружения проекту, допустимость колебаний выполненных при строительстве устройств и их поверхностей запроектированным. Работы ведут в пределах допустимой точности фотограмметрических измерений. На аэрофотоснимках целесообразно сохранять данные по их привязке к геодезической плано-высотной сети. Кроме того, необходимо обеспечить возможность маркировки точек перед каждой крупномасштабной исполнительной аэрофотосъемкой.

Результаты обработки исполнительной аэрофотосъемки прикладывают к акту приемки сооружения в эксплуатацию.

**Пример выполнения работы.** При рассмотрении аэроснимков следует обратить внимание на их нумерацию, на координатные метки, с помощью которых определяют положение главной точки снимка.

Накидной монтаж служит для оценки качества залета. Его монтируют наложением аэроснимков друг на друга, совмещая одноименные контуры на перекрывающихся частях.

Репродукцию накидного монтажа используют для регистрации снимков, составления проекта плановой и высотной привязки аэроснимков.

Масштаб аэроснимка – это отношение отрезка на аэроснимке к соответствующему отрезку на местности (фотоплане). Чтобы повысить точность определения масштаба и учесть наклоны аэроснимка, нужно дважды определить значение масштаба и из них взять среднее значение. Для этого на аэроснимке сначала проводят линии, соединяющие противоположные координатные метки. Их пересечение дает положение главной точки снимка (рисунок 10.2).

Затем выбирают два отрезка между четкими контурными точками, которые можно было бы отождествить на местности (фотоплане).

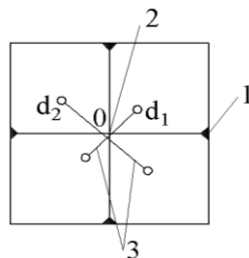


Рисунок 10.2 – Схема расположения отрезков на аэрофотоснимке:  
1 – координатная метка;  
2 – главная точка 0; 3 – отрезки

Вместо измерения расстояний на местности нужно определить их по фотоплану. Поэтому, выбирая точки на аэроснимке, необходимо убедиться, что они хорошо опознаются на фотоплане.

Нужно стремиться, чтобы отрезки проходили через главную точку аэроснимка, были взаимно перпендикулярны и концы их, по возможности, располагались симметрично относительно главной точки. Отклонение от этих требований не должно превышать 3 см, а в отношении перпендикулярности - 15°.

Далее определяют длины отрезков на аэроснимке  $d_1$  и  $d_2$ , соответствующие расстояния на местности  $D_1$  и  $D_2$ . Измерения на снимке нужно делать в миллиметрах с точностью до 0,1 мм. Результаты измерения на фотоплане (М:10000) получают в метрах, если используют измеритель и поперечный масштаб; если применяют линейку с миллиметровыми делениями, то эти расстояния, взятые с фотоплана в миллиметрах с точностью до 0,1 мм, умножают на знаменатель масштаба (10000).

Формулы для вычисления масштаба:

$$\frac{1}{m_1} = \frac{d_1}{D_1} \quad \text{и} \quad \frac{1}{m_2} = \frac{d_2}{D_2},$$

а среднее значение:

$$\frac{1}{m_{CP}} = \frac{1}{0,5 \cdot (m_1 + m_2)}.$$

Расхождения между  $m_1$  и  $m_2$  могут быть в пределах 300 единиц знаменателя масштаба.

Пример:  $d_1 = 71,4$  мм;  $D_1 = 1235$ м;

$$\frac{1}{m_1} = \frac{d_1}{D_1} = \frac{71,4 \text{ мм}}{1235000 \text{ мм}} = \frac{1}{17297}.$$

Чтобы получить дробь, в числителе которой единица, следует и числитель и знаменатель разделить на числитель.

$$\frac{1}{m_1} = \frac{71,4 \text{ мм} : 71,4}{1235000 \text{ мм} : 71,4} = \frac{1}{17297}.$$

$d_2 = 98,6$  мм;  $D_2 = 1734$ м;

$$\frac{1}{m_2} = \frac{d_2}{D_2} = \frac{98,6 \text{ мм}}{1734000 \text{ мм}} = \frac{1}{17586}.$$

Средний масштаб аэроснимка:

$$\frac{1}{m_{CP}} = \frac{1}{0,5 \cdot (m_1 + m_2)} = \frac{1}{0,5 \cdot (17297 + 17586)} = \frac{1}{17442}.$$



На схеме расположения базисов (рисунок 10.2) изображают координатные метки снимка, главную точку и примерное расположение отрезков, здесь же помечают их номера ( $d_1$  и  $d_2$ ) и подписывают номер аэроснимка.

**Определение высоты полета самолета.** При масштабе аэроснимка  $1/m = 1/17442$ , при  $f_k=70$  мм,  $100$  мм =  $140$  мм. Масштаб аэроснимка берется из предыдущей задачи. Высота полета самолета определяется по формуле

$$H_\phi = f_k m,$$

где  $H_\phi$  – высота полета самолета;

$f_k$  – фокусное расстояние аэрофотоаппарата;

$m$  – знаменатель масштаба аэроснимка.

Пример,  $\frac{1}{m} = \frac{1}{17442}$ , при  $f_k = 70$  мм,

$$H_\phi = 70 \text{ мм} \cdot 17442 = 1220940 \text{ мм} = 1221 \text{ м}.$$

**Определение площади покрываемой аэроснимком.** Аэросъемок и его масштаб берется из предыдущей задачи. Площадь земной поверхности, покрываемая аэроснимком определяется по формуле

$$S = (lm)^2,$$

где  $S$  – площадь;

$l$  – размер стороны аэроснимка, см;

$m$  – знаменатель масштаба аэроснимка.

Пример,  $\frac{1}{m} = \frac{1}{17442}$ , при  $l = 18$  см =  $0,18$  м,

$$S = (0,18, \text{ м} \cdot 17442)^2 = (3139,58, \text{ м})^2 = 9,8 \text{ км}^2.$$

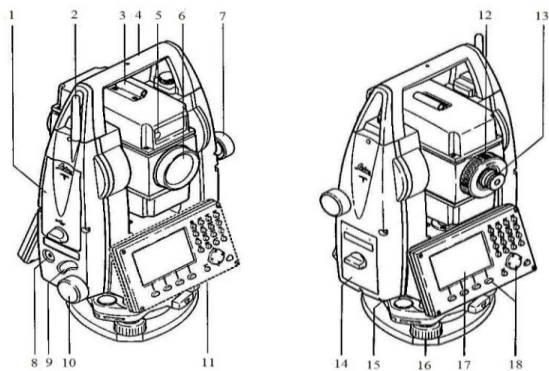
## 11 СОВРЕМЕННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СПУТНИКОВЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Инженерно-геодезические измерения и инженерно-геодезические построения занимают особое место в общей схеме строительных работ. Они выполняются при проведении инженерно-геодезических изысканий, выносе проектов сооружений в натуру, являются составной частью технологии строительно-монтажных работ в период всего строительства, а также сопутствуют при проверке качества строительной продукции и продолжают в эксплуатационный период при проведении наблюдений за деформациями зданий и сооружений, если того требуют условия проекта. Поэтому вопросы точности проведения геодезических работ имеют принципиальное значение, ибо они в конечном счете определяют уровень качества и надежность выстроенных зданий и сооружений. С ростом научно-технического прогресса

и технического уровня строительства развивались и совершенствовались методики и приборы для проведения инженерно-геодезических работ. Современный геодезический прибор сегодня - это продукт высоких технологий, объединяющий в себе последние достижения электроники, точной механики, оптики, материаловедения и других наук. А использование спутниковой навигации систем GPS-Глонасс (в том числе и в целях геодезии) - можно смело считать новым достоянием цивилизации, преимущества которого в полной мере еще не оценены.

**Электронные тахеометры.** Электронный тахеометр это устройство объединяющее в себе теодолит и светодальномер. Одним из основных узлов современных электронных тахеометров является микро-ЭВМ, с помощью которой можно автоматизировать процесс измерений и решать различные геодезические задачи по заложенным в них программам. Современные тахеометры значительно различаются не только своими техническими характеристиками, конструктивными особенностями, но и прежде всего ориентацией на конкретного пользователя или определенную сферу применения. Поэтому тахеометры можно также классифицировать по их назначению для решения конкретных задач. Точность и дальность измерений в данном случае уже не играют существенной роли. Определяющим становится фактор эффективности применения прибора для решения конкретного типа задач. На рисунке 11. 1 приведена схема устройства электронного тахеометра Leica TS06. К основным частям прибора относятся: 1 – отсек для хранения USB-флэшки и USB-кабеля; 2 – антенна Bluetooth; 3 – оптический визир; 4 – съемная транспортировочная ручка с установочным винтом; 5 – лазерный маячок EGL; 6 – объектив со встроенным дальномером, выход лазерного луча; 6 – микрометрический винт вертикального круга; 8 – кнопка включения; 9 – триггер; 10 – микрометрический винт горизонтального круга; 11 – вторая клавиатура; 12 – фокусирующее кольцо объектива; 13 – фокусирующее кольцо окуляра; 14 – крышка аккумуляторного отсека; 15 – порт RS232; 16 – подъемный винт; 17 – дисплей; 18 – клавиатура.

Программное обеспечение тахеометра позволяет решать следующие задачи: - измерение горизонтального угла; измерение вертикального угла; - определение магнитного азимута; измерение расстояний; определение координат точки; вынос в натуру (нахождение на местности положения заданной точки; определение НР (измерение неприступного расстояния); высота НО (определение высоты недоступного объекта; вычисление площади; вынос линии (используется для выноса в натуру точки на заданном расстоянии от базовой линии).



Рисунок

### 11.1 – Электронный тахеометр Leica TS06

**Цифровой нивелир.** Цифровой нивелир – это тот же высокоточный оптический нивелир, но с автоматическим сбором, хранением и обработкой полученной информации (рисунок 11.2). Это значит, что все основные условия, необходимые для выполнения высокоточных измерений оптическими нивелирами, должны соблюдаться и для цифровых нивелиров.

Работы по выполнению геодезических измерений выполняются в комплекте с рейкой, имеющей шкалу со штрихкодовым рисунком. На лицевой стороне штрихкодовой рейки нанесена растровая шкала чередуемых черных полос и белых промежутков. Их ширина по высоте кодирована. Световые волны от штрихкодового рисунка воздействуют на декодирующие датчики нивелира.



Рисунок 11.2 – Цифровой нивелир и штрихкодовая рейка

Визирный луч нивелира устанавливается горизонтально с помощью компенсатора. Декодирующее устройство расшифровывает высотность нивелира относительно рейки по соотношению поступивших в объектив световых воздействий от темных и светлых реечных полос. Процессор нивелира осуществляет счет измеренных превышений и их суммы с точностью 0,1 мм, а также определяет расстояние до реек и неравенство плеч нивелирования. Время снятия отсчетов по рейке составляет 2–4 с.

Электроникой прибора автоматически вводятся поправки за кривизну Земли, рефракцию и погрешность отклонения визирного луча от горизонта. Результаты измерений с уже введенными поправками отслеживаются на дисплее и по желанию оператора могут направляться в память нивелира. Программа реализует последовательное вычисление и вывод на дисплей получающихся высот точек установки рейки.



Рисунок 11.3 – Лазерный сканер «Leica C10»

по сравнению с другими методами измерений, главные из которых – повышение скорости работ и уменьшение трудозатрат.

Технология наземного лазерного сканирования стала возможна благодаря появлению новых геодезических приборов – наземных лазерных сканеров (НЛС) (рисунок 11.3).

Принцип работы сканера аналогичен принципу работы безотражательного электронного тахеометра, но значительно превосходит его по эффективности и основан на измерении расстояния до объекта с помощью безотражательного лазерного дальномера и задании двух углов направления лазерного луча, что в конечном итоге дает возможность вычислить пространственные координаты точки отражения. За самое короткое время объект съемки представляется в виде набора из сотен тысяч или миллионов точек.

С целью обеспечения наиболее высокой точности сканирования необходимо выполнить прогрев лазерного сканера в течение времени, установленного производителем, который позволит вывести сканер на максимально стабильный режим работы, и ввести параметры атмосферы (температуру и давление). Съемка с применением НЛС полностью автоматизирована, поэтому участие оператора сводится только к указанию области съемки и заданию ее параметров. Процесс сканирования никаких сложностей не представляет и зависит только от используемого программного обеспечения.

Но в любом случае на экране портативного компьютера нужно выделить тем или иным способом область сканирования на предварительно полученном с помощью фото- или видеокamеры, входящей в состав НЛС, изображении, указать параметры сканирования и запустить процесс съемки.

Плотность точек на поверхности снимаемого объекта определяется параметрами сканирования – задаваемым количеством измеряемых точек и расстоянием до объекта.

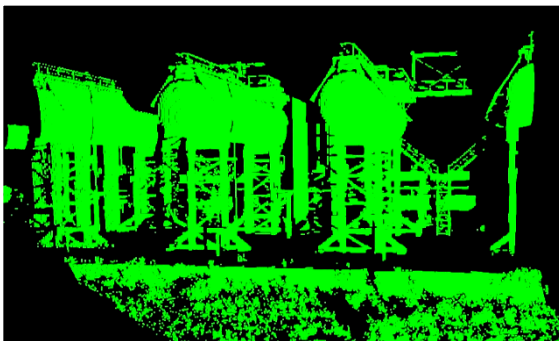


Рисунок 11.4 – Облако точек лазерного сканирования (скан)

В результате съемки лазерным сканером получается несколько облаков точек. Для того чтобы измерить сложный инженерный объект полностью, его нужно отсканировать со всех сторон. Основной формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив (облако) точек (рисунок 11.4) лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, со следующими характеристиками: пространственными координатами ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ), интенсивностью и реальным цветом. По облаку точек можно решать различные задачи:

- составление трехмерной модели объекта;
- получение чертежей, в том числе чертежей сечений;
- выявление дефектов и различных конструкций посредством сравнения с проектной моделью;
- определение и оценка значений деформации путем сравнения с ранее произведенными измерениями;
- получение топографических планов методом виртуальной съемки.

Наиболее сложным и трудоемким этапом работы в применении НЛС является обработка съемочных данных, т.е. объединение отдельных сканов (сшивки) в единое геометрическое пространство для получения описания объекта съемки (рисунок 11.5). Сшивки (или регистрация) представляет собой уравнивание данных сканирования с разных станций в единую систему координат. Существует несколько методов сшивки:

- по специальным плоским маркам-отражателям (расклеиваются на объекте и сканируются отдельно во время полевого этапа);
- по маркам-сферам (аналогично плоским маркам);
- по характерным точкам;
- автоматическая подгонка (программный способ сшивки, когда ите-

рациональный алгоритм смещает один скан относительно другого и находит оптимальное положение по минимальному расстоянию между точками этих сканов);

– *геопривязка* (позволяет привязать каждый скан или все измерения в заданную систему координат).

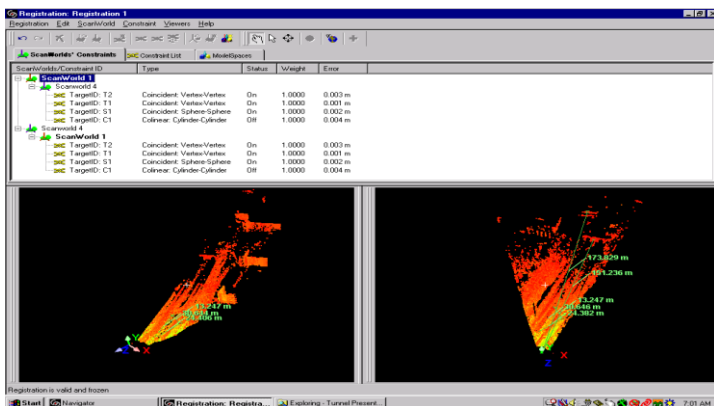


Рисунок 11.5 – Объединение (сшивки) сканов в единое облако точек

Для построения крупномасштабных планов оптимальным является первый способ. Хотя, в отличие от сшивки по характерным точкам, он требует дополнительной работы в поле (развешивания и последующего сбора марок). Сшивка по специальным плоским маркам-отражателям дает большую точность сшивки, а также уменьшает время камеральных работ. Сшивка методом автоматической подгонки или по характерным точкам мало подходит для высокоточных измерений из-за влияния вероятностного расположения исходных точек сканирования, не позволяющая точно проконтролировать результаты сшивки, но это единственные методы сшивки, которым можно воспользоваться в случаях съемки объектов, размещение светоотражающих марок на которых не представляется возможным или связано с большими трудностями. Например, при съемке воздушного газопровода, свода крыши и т.д.

Перед передачей в CAD-программы сшитые облака точек необходимо обработать. Эти работы можно производить в программном обеспечении, например *Cyclone*, которое позволяет оперативно обрабатывать сотни миллионов точек благодаря системе управления *уровнем детализации (Level of Detail)* отображаемой графической информации.

Существует программный инструментарий, позволяющий выделить слой точек, лежащих в определенном сечении облака точек и на заданном

расстоянии от него. По результатам отфильтрованного облака точек, лежащего в таком слое, можно получить векторные изображения объектов, спроецировав оставшиеся точки в плоскость сечения и соединив соседние точки отрезками прямых.

Полученное векторное изображение объектов дорабатывается до получения планов с отображением конструкций, расстановкой размеров и нанесением иной технической информации в условных обозначениях, принятых в технической инвентаризации в САД-программах.

Высокая оперативность сбора пространственных данных об объектах съемки делает наземное лазерное сканирование весьма перспективным методом получения информации при организации мониторинга сложных инженерных сооружений.

**Спутниковые радионавигационные системы.** В настоящее время в геодезии, где требуется знание положения объектов в пространстве, широко применяются спутниковые радионавигационные системы (СРНС). К ним относятся глобальная система «NAVSTAR GPS» (Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System – США) и ГЛОНАСС (ГЛО-

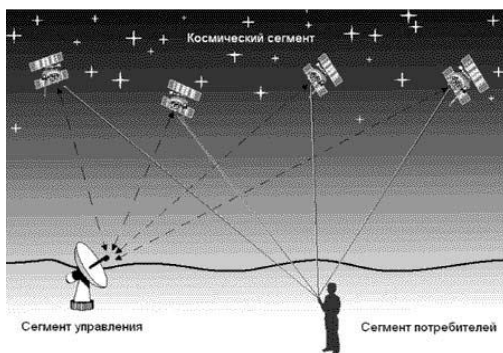


Рисунок 11.6 – Сегменты СРНС

Подсистема космических аппаратов ГЛОНАСС



Подсистема космических аппаратов GPS



Рисунок 11.7– Космический сегмент систем «ГЛОНАСС» и GPS

Система состоит из трех сегментов (рисунок 11.6): космического, наземного и пользователей.

*Космический* сегмент включает 24 искусственных спутника Земли (ИСЗ), обращающихся вокруг Земли по шести орбитам, близким к круго-

вая Навигационная Спутниковая Система – Россия). Странами Европы ведутся разработки по созданию еще одной подобной системы Galileo. Спутниковая система «NAVSTAR GPS» (или кратко – GPS). Сейчас она является наиболее распространенной и широко используемой. Система со-

вым, на высоте около 20 183 км, чему соответствует период обращения, равный половине звездных суток (11 ч 57 мин 58,3 с).

Наклонение орбит – 55°. При этом в любом месте Земли, если нет заслоняющих препятствий, обеспечена одновременная видимость на высоте более 15° от 4 до 11 спутников (рисунок 11.7).

На каждом спутнике установлены: водородный стандарт частоты и времени, генерирующий опорную частоту 10,23 МГц с суточной нестабильностью  $10^{-14}$  –  $10^{-15}$  и формирующий несущие частоты радиоизлучения L1 и L2, радиопередатчик (для посылки сигналов потребителям) и приемник (для приема информации от наземного сектора управления). Кроме того, имеются бортовой вычислительный процессор, солнечные батареи, аккумуляторы, системы ориентации и коррекции орбиты.



Рисунок 11.8 – Оборудование «Leica» для базовых GPS станций ATHENA Program



Рисунок 11.9 – Полевые геодезические приемники «Leica System 1200 GNSS»

*Наземный сегмент* управления определяет параметры орбит и ошибки часов спутников, исполняет закладку навигационной информации на спутники и контроль функционирования технических средств системы. В состав сектора входят главная контрольная станция, станции слежения, управляющие станции (рисунок 11.8).



*Сегмент пользователей* представляет собой множество технических средств, находящихся на поверхности Земли, в воздухе или околоземном космическом пространстве, и выполняющих прием информации со спутников для измерения параметров, которые связывают положение аппаратуры пользователя с расположением спутников (рисунок 11.9). В результате обработки измеренных параметров получают координаты приемника пользователя, а при необходимости, и скорость его движения.

Спутниковая радионавигационная система «ГЛОНАСС» разработана в 70-е годы на основе опыта эксплуатации предшествующей доплеровской СРНС «Цикада». Первые спутники системы «ГЛОНАСС» («Космос-1413», «Космос-1414» и «Космос-1415») были запущены в 1982 г. Далее сеть спутников наращивалась с темпом 1–2 запуска в год. В 1988 – 1991 гг. началась эксплуатация системы. С 1995 г. она используется для гражданского применения. Параметры системы «ГЛОНАСС» приведены в таблице 1.

В системе «ГЛОНАСС» излучаемые спутниками частоты также модулированы дальномерными кодами и навигационным сообщением. Но в отличие от GPS коды всех спутников одинаковы, а разделение сигналов различных спутников – частотное.

*Таблица 11.1 - Основные характеристики спутниковых навигационных систем*

Основные характеристики	ГЛОНАСС	GPS	GALILEO
Число ИСЗ (резерв)	24 (3)	24 (3)	27 (3)
Число орбитальных плоскостей	3	6	3
Число ИСЗ в орбитальной плоскости	8	4	9
Орбиты	Близкие к круговой		
Высота орбит, км	19100	20145	23200
Наклонение орбит, град.	64,8	55	56
Система координат	ПЗ-90	WGS-84	–

Для производства измерений датчик устанавливают на штативе или на полуметровой штанге, применяемой для выполнения кратковременных измерений. Управление приемником выполняется с помощью клавиатуры и дисплея контроллера.

**Режимы наблюдений** спутниковыми приемниками подразделяются на абсолютные и относительные. При *абсолютных* наблюдениях, используя кодовые измерения, определяют координаты пунктов, а при *относительных* – приращения координат (иногда их называют вектором базы между пунктами).

В геодезической практике чаще используются относительные измерения как наиболее точные. Существуют несколько режимов относительных наблюдений, которые, в свою очередь, подразделяются на две группы: *статические* и *кинематические*. При любом режиме относительных изме-

рений один из приемников находится на пункте с известными координатами, а другие – на определяемых пунктах. Статический режим наблюдений как наиболее точный является основным методом при создании сетей, однако он требует наибольших временных затрат. Время измерения одного пункта колеблется от 40 мин до нескольких часов (в зависимости от требуемой точности измерений, числа и расположения наблюдаемых спутников, состояния ионосферы и т.п.).

Разновидностью статического режима измерений является быстрая статика, при которой время наблюдений может быть сокращено до 10–15 мин. Информацию о необходимом времени наблюдений оператор получает от приемника, когда получен достаточный объем информации. Чтобы избежать неоднозначности при обработке результатов наблюдений, практикуют возврат приемника на ранее определенный пункт или меняют местами антенны. При кинематическом режиме измерений передвижной приемник, который иногда называют *роверным* (*rover* – скиталец), устанавливают в определенных пунктах на короткое время. Такой метод называют «стой и иди» (*stop and go*). Кинематический режим измерений начинают с инициализации, т.е. с начальных измерений, при которых выполняется разрешение неоднозначности.

Для инициализации оба приемника устанавливают в нескольких метрах друг от друга; время измерений составляет примерно 15 мин. Если роверный приемник устанавливают вдалеке от опорного, то время инициализации увеличивается и может достигать 1 ч.

После завершения инициализации роверный приемник переключают в режим кинематики и перемещают к следующему определяемому пункту. При перемещении роверный приемник должен оставаться в рабочем режиме и обеспечивать прием сигналов от не менее четырех одних и тех же спутников. На крытой местности, особенно под мостами, могут возникать срывы непрерывных измерений, о чем приемник информирует наблюдателя звуковым сигналом и записью на дисплее. В таком случае необходимо вернуться на один из ранее определенных пунктов или перейти в режим статичности и повторить инициализацию приемников. При установке роверного приемника на определяемом пункте оператор записывает его название (или номер), определяет высоту приемника над пунктом и вводит эти данные в приемник.

Разновидностью кинематического режима наблюдений без инициализации приемников является *кинематика «в полете»* (*on the fly* – ОТФ). Он используется в тех случаях, когда есть уверенность, что время непрерывного приема достаточного числа спутников составляет не менее 20 мин. За это время накапливается достаточное количество информации для успешного разрешения неоднозначности.

При необходимости выполнить обработку результатов наблюдений на роверном приемнике одновременно с измерениями используют режим «кинематика в реальном времени» (Real Time Kinematics – RTK). С этой целью на опорном приемнике устанавливают радиомодем, который обеспечивает дополнительную цифровую радиосвязь с роверными приемниками, снабженными также приемными радиомодемами. На опорном приемнике вычисляют необходимые поправки в результаты измерений и передают на роверные приемники. На роверных приемниках осуществляется обработка результатов фазовых измерений с учетом принятых поправок. Время получения приращений координат занимает несколько секунд.

**Комплексные системы для съемки железных дорог.** Для обеспечения в области съемки железных дорог были разработаны специальные комплексные системы. Данные технологии являются совместными разработками швейцарских фирм «Leica Geosystems» и «Amberg Meastechnik». В них заложено использование высокотехнологичного измерительного оборудования и мощного пакета программного обеспечения.

Система «LEICA TMS» (рисунок 11.10) используется для геодезического обеспечения и контроля процессов эксплуатации железнодорожного пути. Система состоит из двух главных компонентов: электронных тахеометров «LEICA TPS1100plus» (или лазерных сканеров «LEICA HDS4500»), программного обеспечения «LEICA TMS Office», «LEICA TMS SETOUT», «LEICA TMS PROFILE».

Автоматическое измерение профилей и определение геометрии пути осуществляется на базе технологии измерения представленной на рисунке 11.11. Использование радиомодема и функции автоматического наведения на цели дает возможность дистанционного управления работой прибора с любой точки. Загрузка проектных данных и запись данных измерений может выполняться с помощью полевого компьютера или карты памяти «PCMCIA». «LEICA GPR5000» – измерительная система для съемки железнодорожного полотна и туннелей с помощью высокоскоростного сканера «LEICA HDS4500», установленного на измерительной тележке с прецизионными датчиками.



Рисунок 11.10 – Система LEICA TMS

Скорость сканирования составляет 625 000 точек в секунду и обеспечивает детальную съемку железнодорожного полотна в радиусе 53 м в кинематическом режиме. Датчики автоматически регистрируют превышение и ширину рельсов.

Программный модуль «LEICA TMS OFFICE» обеспечивает хранение всех проектных и измерительных данных, а также их обработку по методике, единой для всех области применения данной системы измерения.

Программный модуль «LEICA TMS PROFILE» предназначен для автоматического измерения профилей.

Программный модуль «LEICA TMS SETOUT» используется для выноса проектных данных.

Преимущества использования таких систем очевидно:

- повышение безопасности путем обеспечения высокой точности местоположения и геометрии рельсов, а также своевременного обнаружения возможных источников аварийных ситуаций;
- повышение скорости и увеличение частота прохождения поездов;
- уменьшение затрат по реконструкции;
- уменьшение времени простоя и остановки железнодорожного движения;
- многофункциональность применения системы.



Рисунок 11.11 – Определение геометрии пути

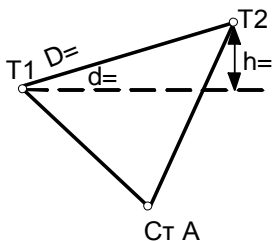


Рисунок 11.12 – Определение неприступного расстояния

**Пример выполнения работы. Определить неприступное расстояние между двумя точками** (см. рисунок 11.12). Выбираем в «Главном меню» клавишу «Программы».

Нажимаем клавишу для пролистывания страниц доступных приложений и выбираем раздел «Косвенные измерения» (страница 2, клавиша 5). Выбираем метод измерений «Полигональный» или «Радиальный» и нажимаем соответствующую клавишу. Наводим на точки и выполняем все необходимые измерения, после выполнения которых появится окно «Результаты косвенных измерений», в котором будут вычислены: наклонное расстояние между точками  $D =$  горизонтальное проложение  $d =$  превышение  $h =$

нажимаем соответствующую клавишу. Наводим на точки и выполняем все необходимые измерения, после выполнения которых появится окно «Результаты косвенных измерений», в котором будут вычислены: наклонное расстояние между точками  $D =$  горизонтальное проложение  $d =$  превышение  $h =$

Определение координат точки стояния прибора. Точка стояния определяется по координатам опорных точек. В качестве опорных возьмем точки, которые использовались в предыдущей задаче. Зададим координаты опорных точек (т.1 и т.2) ( см. рисунок 11.12):

$$\begin{array}{ll} X_1 = 100,000 + N_0 = & X_2 = 100,000 + N_0 = \\ Y_1 = 100,000 + N_0 = & Y_2 = Y_1 + d = \\ H_1 = 10,000 + N_0 = & H_2 = H_1 + h = \end{array}$$

где  $N_0$  - номер по журналу.

Выбираем «Программы» в «Главном меню». Открываем окно «Установка станции» из меню «Программы». Нажимаем «Запуск» (F4) для загрузки приложения. Выбираем нужный способ определения точки стояния – «Засечка». Нажимаем ОК для продолжения ввода в экран «Введите данные о точке». Открываем «Найденные точки». Выполняем наведение зрительной трубы на точку. Вводим  $N_0$  точки и ее координаты  $X_1, Y_1, H_1$ . Затем нажимаем «Все» для выполнения измерений на эту точку. Наводим зрительную трубу на следующую точку. Нажимаем F1 для возврата к меню «Введите данные о точке». Задаем  $N_0$  точки и вводим ее координаты  $X_2, Y_2, H_2$ . Нажимаем «Все» для выполнения измерений. Для вычисления и отображения координат точки стояния нажимаем F4. Результаты измерений записываются на схематический рисунок 11.2

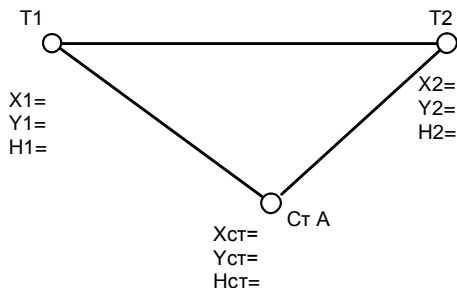


Рисунок 11.13 – определение координат точки стояния прибора

**Определение площади и объема.** В задании студентам предлагается измерить площадь пола и объем аудитории. Открываем «Программы» в «Главном меню». Пролистываем страницы и выбираем приложение «Площади и объемы». Это приложение позволяет вычислять площади участков, ограниченных точками, соединенными отрезками прямой. Для измерения площади пола наводим зрительную трубу на угловые точки пола, нажимая после каждого наведения клавишу «Все». После четвертого измерения на дисплее будут показаны форма измеренной площади и ее величина. Нажимаем клавишу ↓ для перехода к следующему уровню дисплейных клавиш и выбираем клавишу

«Линия перегиба» чтобы измерить точки на линии перегиба. Далее по этим точкам будет вычисляться объем. Выполняем наведение на точки, определяющие положение потолка аудитории, нажимая после каждого наведения клавишу «Все». Измерения на все точки выполняем по часовой стрелке. Точки линии перегиба должны находиться в пределах границы заданной площади. После выполнения всех измерений на дисплее прочитаем величину объема.

**Определение недоступной отметки.** Это приложение используется для определения высотных отметок недоступных для непосредственных измерения точек. Выбираем «Программы» в «Главном меню». Выбираем «Недоступная отметка» в меню «Программы». Выполняем измерения на базовую точку. После завершения измерений наводим зрительную трубу тахеометра на недоступную точку. После выполнения каждого наведения нажимаем клавишу «Все» для отображения на дисплее результатов измерений. Результат измерений записать на рисунок 11.14.

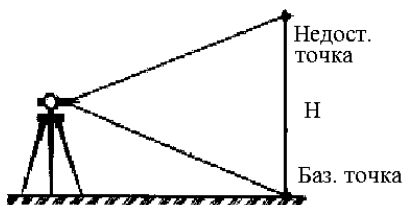


Рисунок 11. 14 – Определение недоступной отметки

**Выполнение съемочных работ.** В этом задании необходимо выполнить съемку аудитории. Выбираем «Программы» в «Главном меню».

Выбираем приложение «Съемка» – F2. Используя клавишу F1 вводим имя проекта. Нажимаем функциональную клавишу «Установка станции» (F2). Запуск – F4. Следующий шаг – выбор способа съемки (выбираем ориентирование по углу).

Вводим координаты X, Y, H точки стояния используя клавишу F2.

$$X = 100,000 + N_{\text{ж}} = \quad ; Y = 100,000 + N_{\text{ж}} = \quad ; H = 10,000 + N_{\text{ж}} =$$

где  $N_{\text{ж}}$  - номер по журналу.

Нажимаем на «OK» и наводим зрительную трубу на выбранную по указанию преподавателя точку ориентирования. Обнуляем горизонтальный угол ( $H_z = 0$ ) на точку ориентирования и нажимаем клавишу «Установка». Входим в режим «Съемка» используя клавишу F2, нажимаем клавишу «Запуск» - F4. Нажимаем клавишу «Все» и получаем координаты точки ориентирования.

$$X = \quad \quad \quad Y = \quad \quad \quad H =$$

Наводим последовательно на 4 точки определяющие углы аудитории и после каждого наведения нажимаем «Все» для определения координат этих

точек (см. рисунок 4).

$$\begin{array}{cccc} X_1 = & X_2 = & X_3 = & X_4 = \\ Y_1 = & Y_2 = & Y_3 = & Y_4 = \\ H_1 = & H_2 = & H_3 = & H_4 = \end{array}$$

Переписывая страницы при съемке на каждую точку записываем для контроля также горизонтальный, вертикальный углы и расстояние до точек съемки.

$$\begin{array}{ccc} \beta_1 = & \nu_1 = & d_1 = \\ \beta_2 = & \nu_2 = & d_2 = \\ \beta_3 = & \nu_3 = & d_3 = \\ \beta_4 = & \nu_4 = & d_4 = \end{array}$$

По результатам съемки, используя координаты точек съемки, на листе миллиметровой бумаги формата А4 составляем план аудитории в М 1: 100. Проконтролировать положение точек полярным способом по углу и расстоянию.

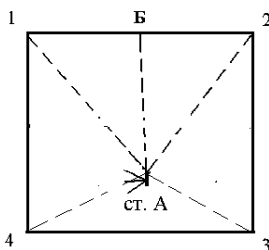


Рисунок 11.15 – План аудитории

**Выполнение разбивочных работ.** Программа «Разбивка» применяется для выноса в натуру проектных точек. В ходе работы на дисплее появляется отклонение текущего положения от проектного. Выбираем «Программы» в «Главном меню». Открываем окно «Разбивка» из меню «Программы». Выполняем необходимые настройки – «Установка станции» и «Выбор проекта». После этого нажимаем клавишу запуск (F4). Вводим данные станции (используем ориентирование по углу). Задаем координаты точки стояния ( $X$ ,  $Y$ ,  $H$ ). Обнуляем значение горизонтального угла ( $H_z = 0$ ) и нажимаем окно «Установка». Выходим в «Главное меню». Открываем окно «Управление» и нажимаем «Enter». Задаем твердые точки (F2). Нажимаем клавишу (F3) – новые точки (проектные) и вводим их номера и координаты. Выходим в «Главное меню» и открываем окно «Программы». Входим в окно «Разбивка» (F3). Нажимаем клавишу F4 «Запуск». Получаем на экране меню разбивки. Наводим зрительную трубу по отсчету на табло (обнуляем горизонтальный угол) и по полученному направлению выставляем вешку. Нажимаем клавишу «Расстояние» и переставляем рейку пока отклонение в продольном направлении не станет равным нулю. Результаты разбивки двух

точек 1 и 2 показать графически по углу и расстоянию в масштабе 1: 100 используя координаты станции А и координаты проектных точек на соответствующем рисунке 5

$X_{ст} =$	$X_1 =$	$X_2 =$
$Y_{ст} =$	$Y_1 =$	$Y_2 =$
$H_{ст} =$	$H_1 =$	$H_2 =$



Рисунок 11.16 – Разбивочный чертеж

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лабораторный практикум по инженерной геодезии: учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ / Е. К. Атрошко, В. Б. Марендич, М. М. Иванова; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2015. – 104 с.
2. Инженерно-геодезические изыскания в строительстве : учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных и расчетно-графических работ для студентов специальности «Архитектура» / Е. К. Атрошко, И.П. Дралова, Н.С. Сырова; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 85 с.
3. Электронные, лазерные и спутниковые геодезические приборы и работа с ними : лабораторный практикум / Е. К. Атрошко, И. П. Дралова, В. Б. Марендич ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2019. – 53 с.
4. Геодезия и фотограмметрия : учеб.-метод. пособие для студ. Спец «организация дорожного движения» / Г. М. Куновская, И.П. Дралова ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 43 с.
5. Геодезия и фотограмметрия : учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных работ / Г. М. Куновская, О. И. Яковцева ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 39 с.



**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра «Проектирование, строительство  
и эксплуатация транспортных объектов»**

**Е. К. АТРОШКО, И. П. ДРАЛОВА,  
Г.М. КУНОВСКАЯ, Н.С. СЫРОВА**

# **ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ И ФОТОГРАММЕТРИЯ**

**Пособие**

**Гомель 2021**