

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

**Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»**

**Е. К. АТРОШКО, В. Б. МАРЕНДИЧ, И. П. ДРАЛОВА**

# **ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ**

**Учебно-методическое пособие по выполнению  
лабораторных и контрольных работ  
для студентов строительных специальностей заочного факультета**

**Гомель 2016**

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

Кафедра «Изыскания и проектирование дорог»

Е. К. АТРОШКО, В. Б. МАРЕНДИЧ, И. П. ДРАЛОВА

## ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ

*Одобрено методической комиссией заочного факультета  
в качестве учебно-методического пособия по выполнению  
лабораторных и контрольных работ  
для студентов строительных специальностей заочного факультета*

Гомель 2016

УДК 528.48 (075.8)  
ББК 26.12  
А92

**Р е ц е н з е н т** – заведующий кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» кандидат технических наук, доцент *П. В. Ковтун* (УО «БелГУТ»).

**Атрошко, Е. К.**

А92 Основы геодезии : учеб.-метод. пособие по выполнению лабораторных и контрольных работ для студентов строительных специальностей заочного факультета / Е. К. Атрошко, В. Б. Марендич, И. П. Дралова; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016 – 85 с.

ISBN 978-985-554-485-3

Рассмотрены основные инженерные задачи, решаемые по топографической карте, устройство и работа с геодезическими приборами (теодолитом, нивелиром).

Предназначено для студентов строительных специальностей заочного факультета БелГУТа.

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

**ISBN 978-985-554-485-3**

© Атрошко Е. К., Марендич В. Б., Дралова И. П., 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	4
<i>Контрольная работа № 1.</i> Решение инженерных задач по топографической карте . . . . .	5
<i>Лабораторная работа № 1.</i> Теодолиты и работы с ними . . . . .	19
<i>Лабораторная работа № 2.</i> Нивелиры и работа с ними . . . . .	28
<i>Контрольная работа № 2.</i> Нивелирование поверхности по квадратам. Картограмма земляных работ при вертикальной планировке горизонтальной площадки . . . . .	37
<i>Контрольная работа № 3.</i> Техническое нивелирование трассы дороги . . . . .	48
<i>Лабораторная работа № 3.</i> Разбивочный чертеж для перенесения проекта зда- ния в натуру . . . . .	65
<i>Контрольная работа № 4.</i> Теодолитная съемка . . . . .	70
Список литературы . . . . .	85

## **ВВЕДЕНИЕ**

Учебно-методическое пособие «Основы геодезии» разработано в соответствии с учебной программой дисциплины «Инженерная геодезия» и предназначено для студентов заочного факультета транспортных и строительных специальностей, изучающих данную дисциплину.

В современных условиях в связи с ростом транспортного и промышленного строительства существенно возрастает роль инженерно-геодезических работ по обеспечению технологического процесса при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений. Поэтому хорошая геодезическая подготовка студентов транспортных и строительных специальностей позволит повысить качество будущих специалистов на производстве, которые должны знать основные виды геодезических измерений, уметь работать на современных геодезических приборах, выполнять топографические и исполнительные съемки и использовать их при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации транспортных и строительных объектов.

Данное учебно-методическое пособие составлено в виде отдельных контрольных и лабораторных работ, последовательность расположения которых соответствует базовой и рабочей учебной программ. Перед выполнением каждой работы приведены основные сведения из теории по вопросам, касающимся данной контрольной или лабораторной работы, что позволяет студентам заочной формы обучения более глубоко изучить соответствующую тему занятий.

Первая контрольная работа предназначена для изучения топографических планов и карт решения на них основных инженерных задач, особое внимание среди которых уделено вниманию изображению рельефа местности в виде горизонталей.

Лабораторные работы № 2 и 3 позволяют освоить работу с геодезическими приборами (теодолитом и нивелиром) при измерении углов, расстояний и превышений на местности.

Контрольные работы № 4 и 5 служат для приобретения навыков камеральной обработки результатов геодезических измерений при

нивелировании участка трассы дороги и поверхности по квадратам, а также позволяет студентам научиться составлять продольный и поперечный профили трассы дороги, изучить круговую кривую, ее элементы и главные точки и уметь выполнять вертикальную планировку горизонтальных площадок с составлением картограммы земляных работ.

Лабораторная работа № 6 предназначена для студентов строительных специальностей при изучении способов разбивочных работ для перенесения проектов зданий в натуру и составлением разбивочного чертежа.

Авторы выражают благодарность рецензенту заведующему кафедрой «Строительство и эксплуатация дорог» кандидату технических наук П.В. Ковтуну за ценные замечания по улучшению качества пособия.

## Контрольная работа № 1

### РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

**Цель работы.** Изучить номенклатуру карт, систему зарамочных подписей, условные знаки, научиться читать топографическую карту. Изучить систему разграфки листов карт и номенклатуру.

#### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**1 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.

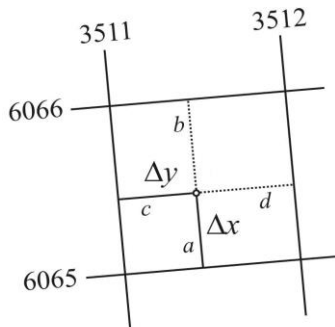


Рисунок 1 – Определение прямоугольных координат точки

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

Координаты точки  $c$  (рисунок 1) определяются по формулам

$$x_c = x_{ю} + \Delta x, \quad y_c = y_з + \Delta y, \quad (1)$$

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

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

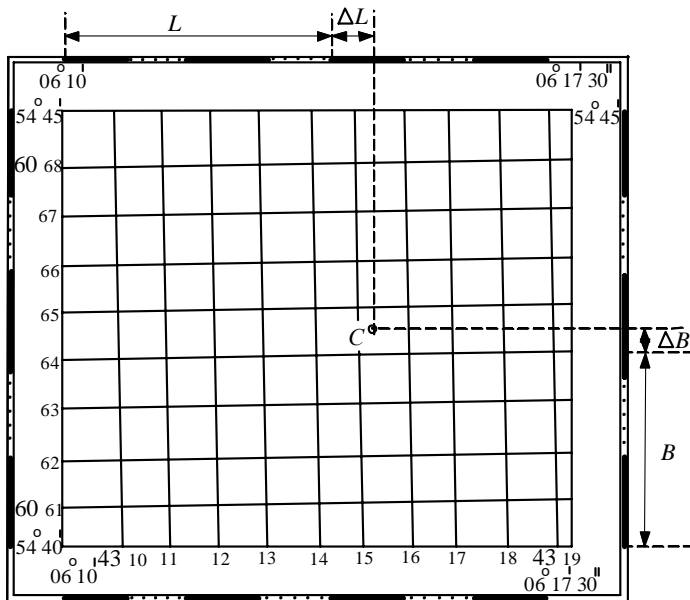
Повысить точность определения координат точки  $c$  можно, измерив расстояния  $a$  и  $b$  до ближайших южной и северной линий сетки, а также расстояния  $c$  и  $d$  до ближайших западной и восточной линий сетки. Отрезки  $\Delta x$  и  $\Delta y$ , выраженные в метрах, вычисляются по формулам

$$\Delta x = 1000 \frac{a}{a+b}, \quad \Delta y = 1000 \frac{c}{c+d}, \quad (2)$$

где 1000 – длина стороны квадрата километровой сетки в метрах.

## 2 Определение географических, координат заданной на карте точки $c$ .

Для решения поставленной задачи нужно найти на карте заданную точку  $c$ . Для этого по цифрам, записанным в скобках, например (6415), которые являются координатами юго-западного угла квадрата координатной сетки, надо определить квадрат и по описанию – точку  $c$  (рисунок 2).



## Рисунок 2 – Определение географических координат точки

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

Через концы одноименных минут широты и долготы пунктиром провести параллели и меридианы (см. рисунок 2). Полученная сетка из параллелей и меридианов служит для определения 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  $\Delta L$  надо 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  $C$  равны

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

**3 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 стран света или какого-нибудь направления, принимаемого за исходное.

Ориентирование заключается в том, что определяют угол между исходным направлением и направлением данной линии. За исходное направление для ориентирования принимают истинный (географический) и магнитный меридианы 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 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  $N$ .

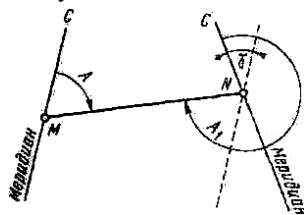


Рисунок 3 – Азимуты

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

$$A_1 = A + 180^\circ + \gamma. \quad (4)$$

Истинные азимуты линий местности определяются путем астрономических наблюдений или с помощью приборов – гидротеодолитов.

Иногда для ориентирования линии местности пользуются не азимутами, а румбами.

*Румбом* (рисунок 4) называется острый угол между ближайшим (северным С 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 стран света. Так, первая четверть – северо-восточная (СВ), вторая – юго-восточная (ЮВ), третья – юго-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.

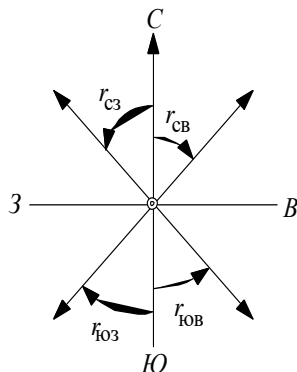


Рисунок 4 – Румбы

Т а б л и ц а 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 от  $0$  до  $360^\circ$ .

Дирекционный угол какого-либо направления непосредственно на 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 5. 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,  $\alpha = A - \gamma$ . Так же, как и для азимута, различают прямой и обратный дирекционные углы:  $\alpha$  – прямой,  $\alpha'$  – обратный дирекционные углы линии  $MN$ :  $\alpha' = \alpha + 180^\circ$ .

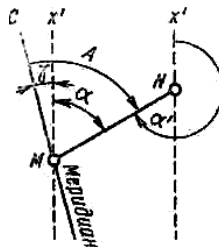


Рисунок 5 – Зависимость между дирекционным углом и истинным азимутом линии

Румбы дирекционных углов обозначают и вычисляют так же, как румбы истинных азимутов, только отсчитывают от северного и южного направлений оси абсцисс.

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 от  $0-360^\circ$ . Зависимость между магнитными азимутами и магнитными румбами такая же, как между истинными румбами. Так как магнитный полюс не совпадает с географическим, направление магнитного меридиана в данной точке не совпадает с направлением истинного меридиана. Горизонтальный угол между этими направлениями называют *склонением магнитной стрелки*  $\delta$ . В зависимости от того, в какую сторону уклоняется северный конец стрелки от направления истинного меридиана, различают восточное и западное склонение. Перед значением восточного склонения обычно ставят знак плюс, западного – минус. Зависимость (рисунок 6,  $a$ ) между истинным  $A$  и магнитным  $A_m$  азимутами выражается формулой

$$A = A_m + \delta. \quad (5)$$

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 6, б) этой линии:

$$\alpha = A_M + (\delta - \gamma), \quad (6)$$

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

В различных точках Земли магнитная стрелка имеет различное склонение. Так, на территории Республики Беларусь оно колеблется в пределах  $0-15^\circ$ .

Склонение магнитной стрелки не остается постоянным и в данной точке Земли (различают вековые, годовые и суточные изменения склонения). Больше всего изменяются суточные склонения, колебания которых, достигают  $15'$ . Следовательно, указывать положение магнитного меридиана приближенно и ориентировать линии местности по магнитным азимутам можно тогда, когда не требуется высокой точности.

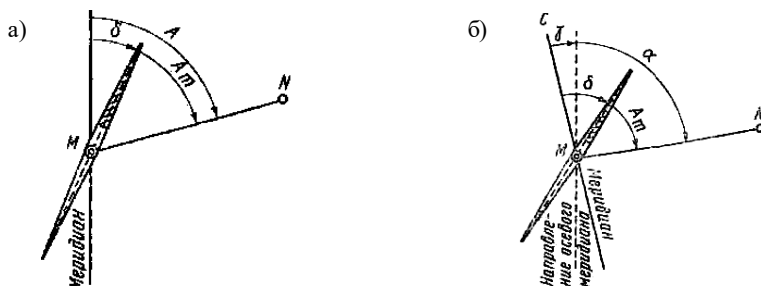


Рисунок 6 – Зависимость между углами:

$a$  – истинным и магнитным азимутами;  $b$  – магнитным азимутом и дирекционным углом

**4 Определение дирекционного угла  $\alpha$ , истинного  $A_n$  и магнитного  $A_M$  азимуты, длину  $d$  линии  $CD$ , заданной на карте.** При решении данной задачи на топографической карте по описанию надо 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  $10\text{--}15'$ . Истинный и магнитный азимуты вычисляются по формулам

$$A_{\text{и}} = \alpha + \gamma; \quad A_{\text{м}} = A_{\text{и}} - \delta, \quad (7)$$

где  $\gamma$  – зональное сближение меридианов;  
 $\delta$  – магнитное склонение.

Следует помнить, что  $\gamma$  и  $\delta$  могут быть величинами положительными 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 7 видно, что сближение меридианов – западное ( $\gamma = -2^\circ 20'$ ), склонение магнитной стрелки – восточное ( $\delta = +6^\circ 10'$ ).

В левом нижнем крае листа 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

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

$$A_{\text{м}} = 48^\circ 40' - 6^\circ 44' = 41^\circ 56',$$

Длину заданной на топографической карте линии  $CD$  следует 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 8, первое положение). При работе масштабная линейка находится в левой руке, а измеритель – в правой. Затем переместить

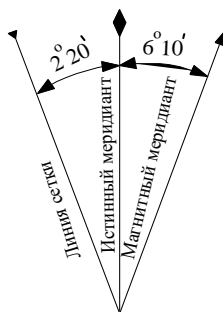


Рисунок 7 – Схема направлений географического и магнитного меридианов

параллельно обе иглы вверх: правую – по той же вертикальной линии (см. рисунок 8, второе положение), а левую – до совпадения с наклонной линией и считать длину линии  $CD$ .

Для масштаба  $1 : 10000$  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 надо определить от правой иглы измерителя в направлении к левой, т.е.  $200 + 200 + 40 + 3 \cdot 2 = 446$  м. Полученное расстояние следует записать с точностью до  $1$  м, т.е.  $d = 446$  м.



Рисунок 8 – Измерение расстояний по карте с помощью поперечного масштаба

**5 Определение высоты заданной точки  $C$ .** Высота точки, лежащей на горизонтали, равна высоте горизонтали. Высоты отдельных горизонталей подписаны в их разрыве. Высоты других горизонталей легко найти, 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.

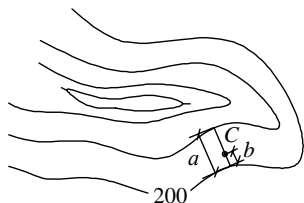


Рисунок 9 – Определение отметки точки

Высота точки  $C$ , расположенной между двумя горизонталями (рисунок 9), определяется по формуле

$$H_C = H_r + h \frac{b}{a}, \quad (8)$$

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.

Определить отметку точки  $C$ . Для ее нахождения необходимо провести на карте отрезок прямой линии, проходящей через точку  $C$  и соединяющий 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:

$$H = 2,5; h = 5 \text{ м.}$$

Отметка горизонтали равна числу, ближайшему к указанной отметке точки и кратному высоте сечения рельефа (рисунок 10). При  $h = 2,5$  м отметка горизонтали равна 182,5 м, при  $h = 5$  м – соответственно 180 м.

**6 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

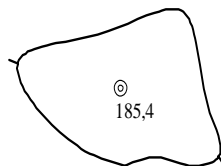


Рисунок 10 – Определение отметки горизонтали

$$i = \operatorname{tg} \nu = (H_k - H_n) / d, \quad (9)$$

где  $\nu$  – угол наклона;  
 $H_k, H_n$  – отметки конечной и начальной точек линии;  
 $d$  – горизонтальное приложение.

Угол наклона линии определяется по графику заложений (рисунок 11). Затем находят тангенс угла наклона. Для указанной на рисунке 11 линии  $AB$   $\nu = 1^\circ 10'$ . Уклон выражается в промилях или в процентах:

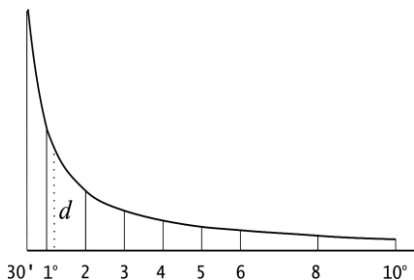


Рисунок 11 – График заложений

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

**7 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:

$$i < i_{\text{пр}}, \quad (10)$$

где  $i, i_{\text{пр}}$  – проектный и предельный уклоны;

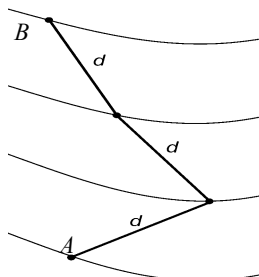


Рисунок 12 – Проложение линии с заданным уклоном

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

$$d = h / Mi_{пр}, \quad (11)$$

где  $d$  – заложение;

$h$  – высота сечения рельефа, м;

$M$  – знаменатель масштаба.

Берется это расстояние в масштабе карты измерителем, ставим одну его ножку на точку  $A$ , а второй делаем засечку на горизонтали (рисунок 12). Если ножка измерителя не будет доставать горизонтали, то проводим линию по кратчайшему направлению. Затем откладываем это расстояние от полученной точки до следующих горизонталей.

Чтобы уклон линии не превосходил  $i_{пр}$ , ни одно заложение на ней не должно быть меньше, чем рассчитанное  $d$ . Если расстояние между горизонталями больше рассчитанного, направление линии можно выбирать произвольно. В противном случае в раствор циркуля берут отрезок, равный  $d$ , и строят ломаную линию, уместая между горизонталями рассчитанное предельное заложение

## 8 Определение на карте границы водосборной площади.

*Водосборной* называют площадь, с которой дождевые и талые воды поступают в данное 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 расчёта отверстия моста или трубы, что позволяет определить мощность потока, которая необходима для расчета создаваемых на водотоках искусственных сооружений.

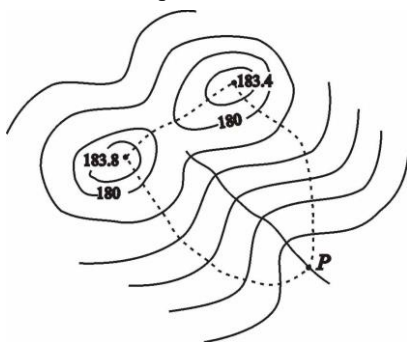


Рисунок 13 – Определение границы водосборной площади

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 13), ограничена штриховой линией, образованной водораздельной и двумя линиями наибольшего ската.

По картам (планам) используют следующие способы определения площадей:

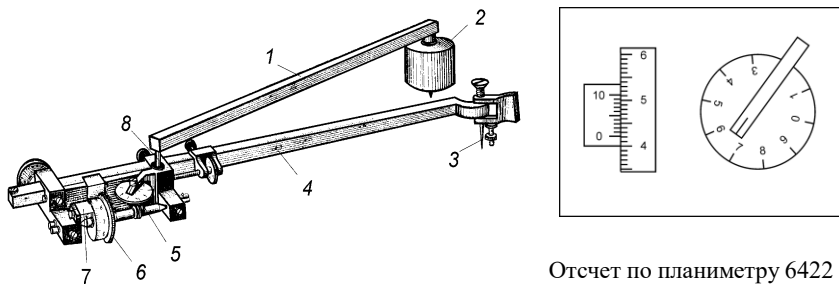
- графический – по измеренным на карте (плане) элементам простейших геометрических фигур (сторонам, основаниям, высотам и т.д.), на которые

разбивается участок; с помощью специально изготовленных трафаретов (палеток);

- механический – с помощью специального прибора – планиметра;
- графоаналитический – по прямоугольным координатам вершин участка, определенным по карте (плану);
- другие способы, основанные на применении специальных машин, точных весов, электронных планиметров, ЭВМ и пр. К ним относятся способ взвешивания и фотоэлектронный способ.

*Графический способ.* При измерении величины водосборной площади палетку накладывают на площадь водосбора, вычисляют количество полных и неполных квадратов или другим заранее известным геометрическим фигурам, 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 14).



Отсчет по планиметру 6422

Рисунок 14 – Полярный планиметр:

- 1 – полюсный рычаг; 2 – груз, 3 – обводная игла; 4 – обводной рычаг;  
5 – счетное устройство (циферблат); 6 – счетное колесо; 7 – верньер; 8 – соединительный шарнир

Полярный планиметр 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. При перемещении шпиля



в иных направлениях происходит и вращение, и скольжение. Рычаги планиметра располагают приблизительно перпендикулярно друг к другу, а при обводе контура углы, составляемые ими, должны находиться в пределах от 30 до 150°. Соблюдение этого условия проверяют быстрым обходом контура. Убедившись в правильности расположения полюса, его закрепляют путем вдавливания иглы полюсного рычага в горизонтальную основу. Снимают отсчет по счетному устройству, затем обводят иглой контур участка и вновь снимают отсчет и вычисляют разность отсчетов. Суммарное число оборотов колесика, накопленное при обводке шпилем контура, пропорционально площади, ограниченной контуром.

При измерении площадей больших участков длину обводного рычага можно изменить, перемещая вдоль него каретку счетного устройства. Счетное устройство состоит из циферблата, счетного колеса и верньера. При обводе контура участка ободок счетного колеса соприкасается с поверхностью карты (плана) и приводит в движение счетный механизм. Циферблат показывает полные обороты счетного колеса, шкала которого разделена на 100 делений. Одно деление циферблата соответствует одному полному обороту колеса. С помощью верньера отсчитывают десятые доли делений счетного колеса, одна тысячная доля окружности которого соответствует одному делению планиметра.

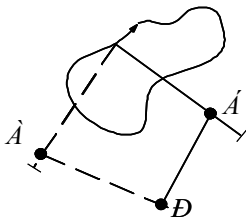
Отсчет по счетному устройству выражается четырехзначным числом 6422 в делениях планиметра. Его первая цифра 6 – отсчет по циферблату, соответствующий младшему значению, снятому по направлению указателя, последующие две цифры 42 – отсчет по счетному колесу, соответствующий нулю верньера; последняя цифра 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

$$P = c \Delta u. \quad (12)$$

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

$$c = P_0 / \Delta u_0. \quad (13)$$



Контроль результатов определения площади осуществляют повторным обходом контура

Рисунок 15 – Положение рычагов планиметра при измерении площади

участка, при этом изменяют положение рычагов, а положение полюса сохраняется, т. е. в одном случае рычаги располагают слева от участка (рисунок 15) – положение «полюс лево» (А), в другом – справа от участка — положение «полюс право» (Б). 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>.

**З а д а н и е.** 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 2.

**Т а б л и ц а 2 – Ведомость определения площадей механическим способом**  
Полярный планиметр № 1589,  $R = 150,0$ . Исполнитель: *Петров Н.М.*

Номер контура	Отсчеты		Разность отсчетов	Средняя разность	Цена деления с, га	Площадь участка П, га
	«полюс право»	«полюс лево»				
1	2	3	4	5	6	7
Определение цены деления						
1 (квадрат)	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					

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 требованиям к результатам измерений. Результаты вычислений записываем в графу 4. 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  $\Delta u_{\text{ср}}$  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 П определяется по формуле (12). Дважды обводим контур лесного массива и записываем результаты в графы 2 и 3.

**9 Построение профиля заданной на карте линии CD в масштабах  $M_{\Gamma} 1:10\ 000$ ,  $M_{\text{в}} 1:1000$ .** 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 1:10 000, вертикальный – 1:1000.

При решении задачи полоску бумаги следует 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

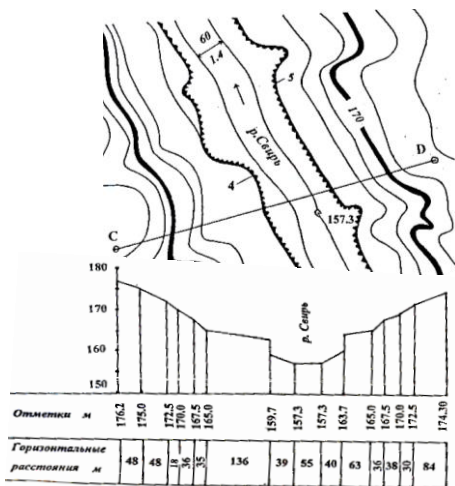


Рисунок 16 – Построение профиля рельефа местности по карте (плану)

строится перпендикуляр в каждой точке с известной отметкой и откладываются

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 16). Поэтому удобно принять отметку линии условного горизонта равной 150 м. От линии условного горизонта

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*.

## **Лабораторная работа № 1**

### **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 превышении способом тригонометрического нивелирования.

**Цель работы** – изучить устройство теодолитов ТЗ0 (2ТЗ0) и 2Т5К (3Т5КП), овладеть приёмами работы с ними и приобрести первичные навыки в измерении горизонтальных и вертикальных углов, магнитных азимутов, расстояний и превышений.

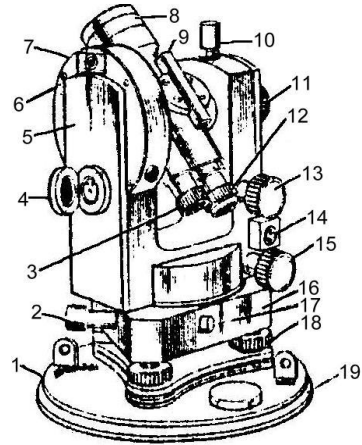
**Приборы и принадлежности:** теодолит, штатив, отвес, буссоль, дальномерная рейка.

### **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

**1 Изучение устройства теодолита.** На рисунках 1 и 2 представлены схемы устройства теодолитов ТЗ0 и 2Т5К, под которыми приведены названия частей этих приборов. Для изучения устройства теодолитов необходимо перечисленные и обозначенные на рисунках 1 и 2 части найти на самом приборе и разобраться в их назначении. При этом следует соблюдать правила в обращении с приборами: не прилагать усилий при вращении винтов и отдельных частей; не касаться оптических деталей руками; прежде чем вращать лимб, алидаду или зрительную трубу теодолита, нужно открепить соответствующие закрепительные устройства.

Рисунок 1 – Теодолит Т30:

1 – основание футляра; 2 – наводящий винт горизонтального круга; 3 – диоптрийное кольцо отсчётного микроскопа; 4 – откидное зеркало для подсветки горизонтального и вертикального кругов; 5 – крышка колонки, несущей горизонтальную ось; 6 – корпус вертикального круга; 7 – посадочный паз для буссоли; 8 – объектив зрительной трубы; 9 – оптический визир; 10 – закрепительный винт зрительной трубы; 11 – кремальера для фокусировки резкости; 12 – диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы; 13 – наводящий винт зрительной трубы; 14 – оправа цилиндрического уровня; 15 – наводящий винт алидады горизонтального круга; 16 – подставка; 17 – втулка; 18 – подъёмный винт; 19 – бабашка для крышки



В настоящее время промышленность выпускает теодолиты второго и третьего поколений этих моделей (2Т30, 3Т5КП), в которых улучшены и модернизированы некоторые устройства и технические характеристики теодолитов Т30 и 2Т5К. В частности, в теодолите 2Т30 применено новое отсчётное устройство, позволяющее повысить точность снятия отсчётов по горизонтальному и вертикальному кругам. В теодолите 3Т5КП использована зрительная труба прямого изображения.

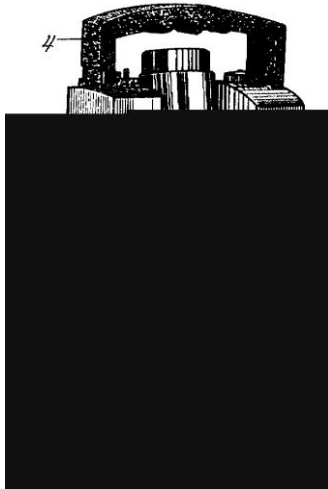


Рисунок 2 – Теодолит 2Т5К:

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;

**2 Визирование на заданные точки местности.** Для этого необходимо:

- а) установить зрительную трубу по глазу, т.е. вращая диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы теодолита, добиться чёткого 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, для чего, вращая барабан кремальеры теодолита Т30 (у теодолитов 2Т5К, 3Т5КП фокусирующее кольцо у окуляра трубы), добиваются чёткого изображения предмета. Затем, действуя наводящими винтами алидады и зрительной трубы, совмещают центр изображения сетки нитей с визирной целью.

**3 Снятие отсчетов.** В теодолитах Т30 и 2Т5К для снятия отсчётов по горизонтальному и вертикальному кругам используются отсчётные устройства в виде штрихового микроскопа (у теодолита Т30) и шкалового микроскопа (у теодолита 2Т5К). Окуляр отсчётного устройства расположен рядом с окуляром зрительной трубы.

Перед снятием отсчётов необходимо, наблюдая в окуляр отсчётного устройства, вращением зеркала подсветки добиться наилучшей освещённости поля зрения микроскопа, затем, вращая диоптрийное кольцо отсчётного микроскопа, установить чёткое изображение штрихов горизонтального и вертикального кругов.

На рисунке 3 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 по штриху микроскопа с точностью до Г. Так, на рисунке 3 отсчет по вертикальному кругу равен  $358^{\circ} 48'$ , по горизонтальному –  $59^{\circ} 46'$ .

На рисунке 4 показано поле зрения отсчетного микроскопа 2Т5К. Цена деления горизонтального и вертикального кругов составляет 1°. Цена деления шкалы равна 1'. точность отсчета 0,1'. Для рисунка 4 отсчет по вертикальному кругу равен  $+0^{\circ} 35,0'$ , по горизонтальному –  $6^{\circ} 01,0'$ .

На рисунке 5 показано поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т30, который представляет собой шкаловой микроскоп. Цена деления горизонтального и вертикального кругов равна 1°, 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. При этом отсчет производится в направлении, соответствующем знаку деления на вертикальном круге. Например, на рисунке 5, а отсчет по горизонтальному кругу равен  $18^{\circ} 22,0'$ , по вертикальному кругу  $+ 1^{\circ} 11,5'$ , на рисунке 5, б отсчет по горизонтальному кругу  $95^{\circ} 47,5'$ , а по вертикальному –  $0^{\circ} 46'$ .

Отсчетное устройство теодолита 3Т5КП аналогично теодолиту 2Т5К, за исключением того, что в поле зрения этого теодолита на вертикальном круге указан знак "+" или "-", что позволяет быстро определить знак угла

наклона. Отсчёт по вертикальному кругу производится по положительной или отрицательной шкале в зависимости от знака деления на вертикальном круге. Например, на рисунке 6 приведено поле зрения теодолита 3Т5КП при круге «лево». В этом случае отсчёт по горизонтальному кругу составляет  $25^{\circ}17,0'$ , а по вертикальному –  $3^{\circ}14,0'$ .

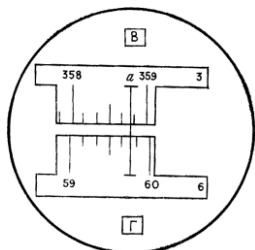


Рисунок 3 – Поле зрения штрихового микроскопа теодолита Т30

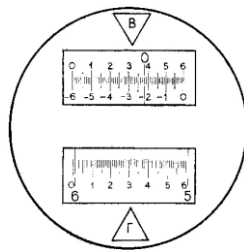


Рисунок 4 – Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т5К

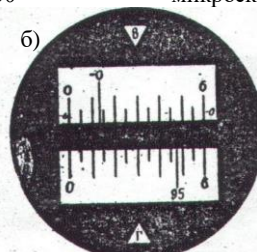
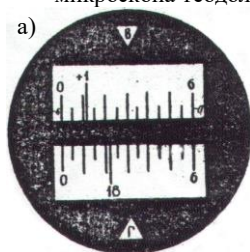
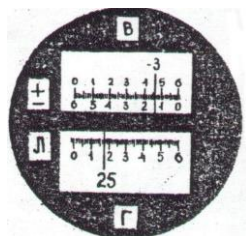


Рисунок 5 – Поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30

Рисунок 6 – Отсчетное устройство теодолита 3Т5КП



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

**Проверка 1.** *Ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга должна быть перпендикулярна к 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 1 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.

**П о в е р к а 2.** *Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к 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 "П<sub>1</sub>" и "Л<sub>1</sub>" 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 "П<sub>2</sub>" и "Л<sub>2</sub>". Вычисляют величину коллимационной ошибки "С" по формуле

$$C = ((П_1 - Л_1 \pm 180^\circ) + (П_2 - Л_2 \pm 180^\circ)) / 4.$$

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  $B = П_2 - C$ , 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.

**П о в е р к а 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  $30\text{--}50^\circ$  над горизонтом. Затем наклоняют трубу вниз примерно до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию точки – пересечение основных штрихов сетки нитей, переводят трубу через зенит и при другом положении круга проектируют ту же точку вниз. Если проекции точки не совпадают, то неисправность устраняют в мастерской.

**П о в е р к а 4.** *Один из штрихов сетки нитей должен быть перпендикулярен к горизонтальной оси прибора.* Приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение. Наводят вертикальный штрих на какую-либо точку на стене и, вращая наводящим винтом трубы, смотря на сходящее изображение точки с вертикального штриха сетки. Если изображение сходится, то снимают колпачок, отпускают 4 крепежных винта



окуляра и поворачивают окуляр так, чтобы вертикальный штрих сетки нитей расположился вертикально. Закрепляют винты, и поверку повторяют.

**5 Установка теодолита в рабочее положение.** Для этого необходимо выполнить центрирование и горизонтирование теодолита. Центрирование теодолита над точкой производится с помощью нитяного (Т30) 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 подъёмных винтов и приводят пузырёк уровня на середину ампулы, затем поворачивают алидаду на  $90^\circ$  (уровень располагают по направлению 3-го подъёмного винта). Вращая 3-й подъёмный винт, пузырёк уровня приводят на середину ампулы. Такие действия повторяют до тех пор, пока при вращении алидады пузырёк не будет уходить от середины более чем на одно деление уровня.

**6 Измерение горизонтального угла между двумя направлениями способом приёмов.** Для измерения горизонтального угла теодолит

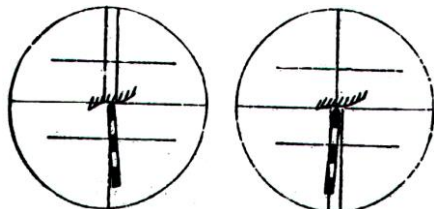


Рисунок 7 – Наведение на вежу при измерении горизонтального угла (при круге «право» и круге «лево»)

устанавливают на штативе и производят центрирование и горизонтирование прибора. Зажимают закрепительный винт лимба и, вращая алидаду при круге право, наводят трубу теодолита на правую для наблюдателя точку. Образец наведения показан на рисунке 7 (изображение основания вежи вводят в биссектор сетки нитей). Производят отсчёт по

горизонтальному кругу теодолита.

Наводят трубу теодолита на левую для наблюдателя точку и также производят отсчёт по горизонтальному кругу теодолита. Значение угла вычисляют как разность отсчётов на правую и левую точки. Если отсчёт на правую точку окажется меньше отсчёта на левую, то к отсчёту на правую точку прибавляют  $360^\circ$ . Указанные действия составляют первый полуприём. Во втором полуприёме выполняют аналогичные действия при круге «лево». Для этого переводят трубу теодолита через зенит, а алидаду поворачивают на  $180^\circ$ . Для устранения грубого просчёта лимб перемещают по азимуту на  $1-2^\circ$ . Два полуприёма составляют полный приём. Расхождение значений угла, полученных в первом и втором полуприёмах, не должно превышать удвоенной точности отсчётного устройства (у теодолита Т30 –  $2'$ ; 2Т5К –  $0,2'$ ). При соблюдении указанного допуска вычисляют среднее значение угла из двух полуприёмов. В противном случае (недопустимое расхождение значений угла в полуприёмах) измерения повторяют.

Отсчёты и значения углов записывают в журнал соответствующей формы. Образец записи показан в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Измерение горизонтальных углов способом приемов

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

**7 Измерение магнитных азимутов 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 пазу. Современные теодолиты обычно снабжены ориентир-буссолью.

При использовании для измерения магнитного азимута ориентир-буссоли предварительно устанавливают диаметр горизонтального круга 0–180° параллельно направлению магнитного меридиана. Для этого зажимают закрепительный винт лимба и вращением алидады устанавливают на горизонтальном круге теодолита отсчёт 0°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 отсчёты и будут являться магнитными азимутами данных направлений. По разности магнитных азимутов вычисляют величину горизонтального угла и сравнивают её со средним значением угла. Допускается расхождение между ними не более двойной точности отсчётного устройства теодолита.

**8 Составление схематического чертёжа измеренного угла.** Построение схематического чертежа производится в журнале (страница 5) на лабораторную работу. Транспортиром от северного направления линии откладывают углы, численно равные измеренным магнитным азимутам на заданные точки. Полученный угол между соответствующими точками представляет собой горизонтальный угол, ориентированный относительно частей света.

**9 Измерение вертикального угла на рейку.** Вертикальным углом называется

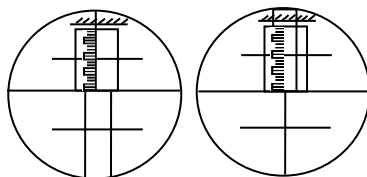


Рисунок 8 – Наведение на рейку при измерении вертикального угла

угол, лежащий в отвесной плоскости между линией визирования и её 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 (рисунок 8), и берут отсчёты по вертикальному кругу (П и Л).

У теодолита Т30 (2Т30) уровень при алидаде вертикального круга отсутствует, поэтому здесь проверяют, чтобы пузырёк 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 отсчёты по вертикальному кругу без дополнительных действий.

Вычисляют значения места нуля (МО), которое представляет собой отсчёт по вертикальному кругу теодолита, когда визирная ось трубы горизонтальна, а пузырёк уровня при алидаде вертикального круга находится в нуль-пункте:  $МО = [(Л + П) - 180°] / 2$  – для теодолитов Т30;

$$МО = (Л + П) / 2 \text{ – для теодолитов 2Т30 и 2Т5К;}$$

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

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

$$\text{для теодолита Т30 – } \nu = Л - МО \text{ или } \nu = МО - П - 180°;$$

$$\text{для теодолитов 2Т30 и 2Т5К – } \nu = Л - МО \text{ или } \nu = МО - П;$$

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

Все отсчеты и результаты вычислений заносят в журнал соответствующей формы. Образец записи показан в таблице 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 2 – **Вычисление вертикального угла и места нуля**

Точка стояния	Точка наведения	Положение вертикального круга	Отсчеты		Место нуля	Вертикальный угол
			о	'		
III	Рейка 2	П	Теодолит Т30		+0°02,0'	+3°28,0'
			176	34		
		Л	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 ТЗ0 и 2ТЗ0 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.

В теодолитах с компенсаторами 2Т5К, 3Т5КП место нуля исправляют специальными юстировочными винтами, при вращении которых изменяется отсчет по вертикальному кругу.

**10 Измерение расстояния 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 9).

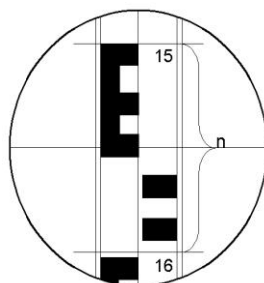


Рисунок 9 – Измерение расстояний нитяным дальномером теодолита

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.

**11 Измерить превышение теодолитом способом тригонометрического нивелирования.** Для определения превышения теодолитом используют способ тригонометрического нивелирования (рисунок 10).

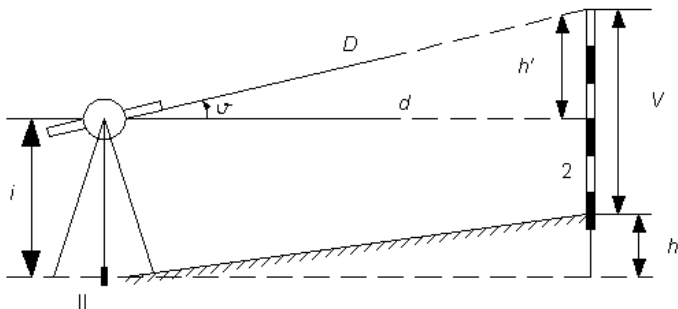


Рисунок 10 – Определение превышения способом тригонометрического нивелирования

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  $h' = d \cdot \operatorname{tg} \nu$ , где  $\nu$  – угол наклона (вертикальный угол);  $d$  – горизонтальное проложение линии. Учитывая, что  $d = D \cdot \cos^2 \nu$ , можно вычислить величину  $h'$  через наклонное расстояние  $D$ . Для этого, подставив в формулу величину  $d$ , получим

$$h' = dtg \nu = D \cos^2 \nu \cdot (\sin \nu / \cos \nu) = D \cos \nu \sin \nu = 0,5D \sin 2\nu.$$

Величину  $h'$  вычисляют с точностью до 0,01 м. Результаты измерений по определению превышений заносят на соответствующий рисунок в задании (см. рисунок 10).

Порядок определения превышения. Угол наклона  $\nu$  и расстояние  $D$  выписывают соответственно из пунктов 2.9 и 2.10 журнала лабораторной работы. Измеряют высоту прибора  $i$ ; вычисляют превышение по формуле тригонометрического нивелирования:  $h = 0,5D \sin(2\nu) + i - V$  или  $h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - V$ .

## Лабораторная работа № 2

### НИВЕЛИРЫ И РАБОТЫ С НИМИ

**Цель работы** – изучить устройство и поверки нивелиров и нивелирных реек. Приобрести практические навыки в выполнении нивелирования способом из середины.

**Приборы и принадлежности:** нивелир; штатив; нивелирные рейки; задание.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**1 Общие сведения и классификация.** Н и в е л и р – 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 трех типов: высокоточные (Н-0,5), точные (Н-3) и 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: с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе; с компенсатором, позволяющим автоматически приводить ось визирования зрительной трубы нивелира в горизонтальное положение.

В настоящее время выпускаются нивелиры улучшенной конструкции второго и третьего 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.

**2 Изучение устройства и поверки нивелира Н-3.** Нивелир Н-3 относится к приборам с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе (см. рисунок 1). 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 крепежный 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 (см. рисунок 2).

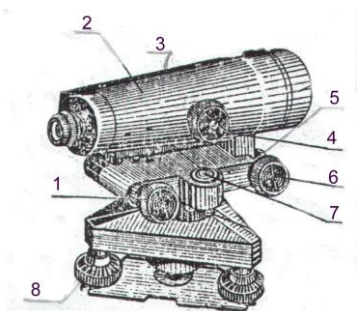


Рисунок 1 – Устройство нивелира Н-3:  
 1 – элевационный винт; 2 – зрительная труба;  
 3 – цилиндрический уровень; 4 – кремальера;  
 5 – закрепительный винт; 6 – наводящий винт;  
 7 – круглый уровень; 8 – подъемный винт

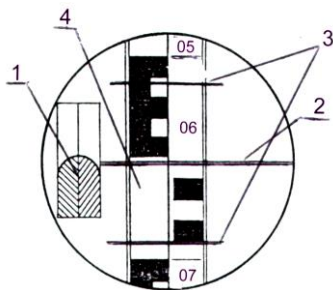


Рисунок 2 – Поле зрения трубы нивелира Н-3:  
 1 – изображение концов пузырька  
 цилиндрического уровня; 2 – средний  
 горизонтальный штрих сетки нитей; 3 – штрихи  
 нитяного дальномера; 4 – изображение рейки  
 (отсчет 0652)

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 2 это цифры 06), третья цифра считается по числу сантиметровых шашек от начала дециметрового деления до среднего горизонтального штриха сетки нитей (на рисунке 2 их 5). Следует отметить, что в каждом дециметре первые пять шашек с сантиметровыми делениями объединены в виде буквы Е (см. рисунок 2). Четвертая цифра, обозначающая миллиметры, по рейке оценивается на глаз (на рисунке 2 это 2 мм). Тогда полный отсчет по рейке составит 0652.

**П о в е р к и н и в е л и р а 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:

*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  $180^\circ$ . Если пузырек уровня останется в центре ампулы, то условие выполнено, если нет, то нужно исправительными винтами круглого уровня переместить пузырек к центру на половину дуги отклонения. Проверку повторяют до полного выполнения условия.

*Проверка 2. Средний горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен оси вращения нивелира.* Ось вращения нивелира устанавливают в отвесное положение. Наводят зрительную трубу на неподвижную рейку, установленную в 20–30 м от нивелира. Условие будет выполнено, если при плавном вращении трубы горизонтальный штрих не будет сходить с точки наведения (то есть отсчет по рейке будет оставаться неизменным). Если условие не выполняется, то отвинчивают и снимают окулярную часть зрительной трубы и поворачивают диафрагму с сеткой нитей, предварительно ослабив крепящие её винты.

*Проверка 3. Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси зрительной трубы.* Это главное условие нивелира проверяется двойным нивелированием концевых точек линии 50–75 м (см. рисунок 3). На концевых 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 геометрического условия.

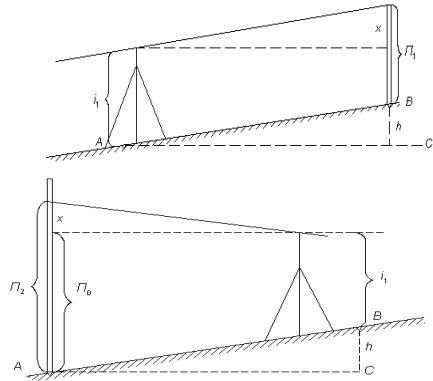


Рисунок 3 – К поверке главного условия нивелира «Н-3»

Например, 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.

*Поверка 4. При изменении фокусировки трубы визирная ось должна сохранять неизменное положение.* Для проверки этого условия на местности по окружности с радиусом в 50 м примерно через 20 м забивают десять кольшков (рисунок 4).

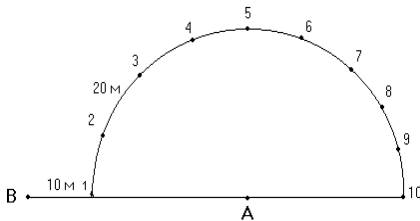


Рисунок 4 – К поверке фокусировки зрительной трубы

Установив нивелир в точке А, не изменяя фокусировки трубы снимают отсчёты на точки 1–10 и вычисляют превышения их над первой точкой. Затем нивелир устанавливают в точке В (см. рисунок 4) и вновь нивелируют точки 1–10 и опять вычисляют

превышения над первой точкой. Превышения, вычисленные на точке В, должны отличаться от превышений, вычисленных на точке А не более чем на  $\pm 2$  мм. В противном случае ход фокусирующей линзы неправильный. Исправление поверки выполняют в мастерской.

**3 Изучение устройства и поверки нивелира Н-3К.** Этот нивелир (ранее выпускался нивелир однотипной конструкции НС-4) относится к приборам компенсаторного типа с самоустанавливающейся линией визирования (рисунок 5). Главной конструктивной особенностью таких нивелиров является то, что при небольших углах наклона зрительной трубы ( $\alpha < \pm 15'$ ) 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 (рисунок 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 ( $\pm 15'$ ), 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.

Нивелир приводят в рабочее состояние по круглому уровню тремя подъёмными винтами. Когда пузырёк круглого уровня находится в центре, ось вращения нивелира занимает отвесное положение. Нивелир Н-3К не имеет закрепительного винта, поэтому приближенное наведение зрительной трубы на рейку осуществляется рукой и надёжно фиксируется в нужном направлении. Точное наведение трубы на рейку выполняют вращением наводящего винта бесконечной наводки. Перед снятием отсчёта по рейке необходимо проверить, чтобы пузырёк круглого уровня находился в центре.

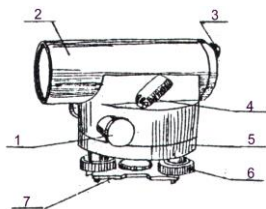


Рисунок 5 – Нивелир Н-3К:

- 1 – наводящий винт зрительной трубы;
- 2 – зрительная труба; 3 – окуляр;
- 4 – круглый уровень с исправительными винтами; 5 – подставка нивелира;
- 6 – подъемный винт; 7 – пластина

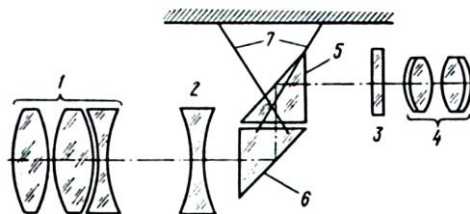


Рисунок 6 – Оптичная схема зрительной трубы нивелира с компенсатором Н-3К:

1 – трехлинзовый объектив; 2 – фокусирующая линза; 3 – сетка нитей; 4 – окуляр; 5–7 – компенсаторы

Поверки нивелира Н-3К. Поверки 1, 2 и 4 нивелира Н-3К выполняются и исправляются аналогично поверкам нивелира Н-3.

Поверка 3. После приведения нивелира в рабочее положение визирная ось должна занимать горизонтальное положение. Это условие является главным для нивелиров с компенсатором. Для выполнения поверки на местности закрепляют кольшками концевые точки линии длиной 50–70 м. Нивелир устанавливают точно на середине данной линии (рисунок 7, а), приводят его в рабочее положение по круглому уровню, снимают отсчеты по рейкам, установленным на концах линии  $Z_1$  и  $\Pi_1$ , и определяют превышение  $h_1 = Z_1 - \Pi_1$ . Затем нивелир переносят в точку на расстоянии 3–5 м от переднего конца линии (наименьшее расстояние визирования) (рисунок 7, б) и вновь снимают отсчеты по рейкам, установленным на концах линии  $Z_2$  и  $\Pi_2$ , и определяют превышение  $h_2 = Z_2 - \Pi_2$ . 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  $Z_{исп} = h_1 + \Pi_2$ . При этом отсчет  $\Pi_2$  принимают за безошибочный (ввиду малого расстояния до передней рейки).

Сняв крышку у окулярной части трубы и действуя исправительными винтами сетки, наводят средний горизонтальный штрих сетки нитей на исправленный отсчет  $Z_{исп}$ . Поверку повторяют до соблюдения условия.

Сняв крышку у окулярной части трубы и действуя исправительными винтами сетки, наводят средний горизонтальный штрих сетки нитей на исправленный отсчет  $Z_{исп}$ . Поверку повторяют до соблюдения условия.

Пример.

На станции 1:  $Z_1 = 1120$  мм;  $\Pi_1 = 0908$  мм;  $h_1 = 1120 - 0908 = +212$  мм.

На станции 2:  $Z_2 = 1346$  мм.;  $\Pi_2 = 1114$  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  $Z_{исп} = h_1 + \Pi_2 = 212 + 1114 = 1326$  мм.

**4 Нивелирные рейки и их поверки.** При техническом нивелировании применяют в основном двухсторонние шашечные рейки типа РН-3 и РН-10. Их изготавливают длиной 3 и 4 метра и маркируют с указанием длины в

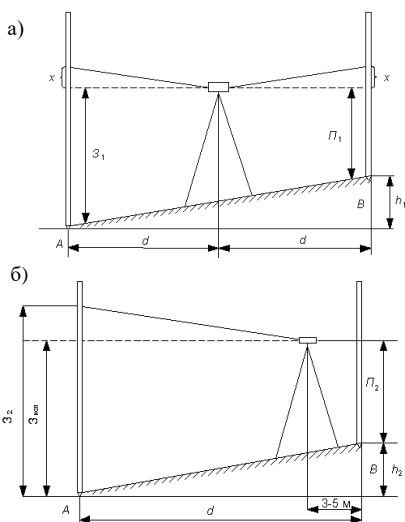


Рисунок 7 – Поверка визирной оси нивелира Н-3К

миллиметрах, например, РН-3-3000. Если рейка складная, то к её маркировке добавляется буква «С» (РН-3-3000С) (рисунок 8, а, б).

Сантиметровые деления на рейках окрашены через одно деление черным (чёрная сторона) или красным (красная сторона) цветом и объединены по пять шашек в виде буквы Е, что облегчает снятие отсчёта. Дециметровые деления подписывают цифрами в перевёрнутом виде (для нивелиров с обратным изображением). Деления на таких рейках возрастают от нуля (у пятки рейки) вверх (чёрная сторона). На красной стороне с пяткой рейки совпадает отсчёт 4687 или 4787 мм, поэтому отсчёты по обеим сторонам рейки не одинаковы, а их разность, называемая разностью пятки или разностью нулей рейки, является постоянной величиной и используется для контроля отсчётов. Для нивелиров с трубами прямого изображения применяют рейки с прямой оцифровкой. При этом в маркировке рейки добавляется буква «П».

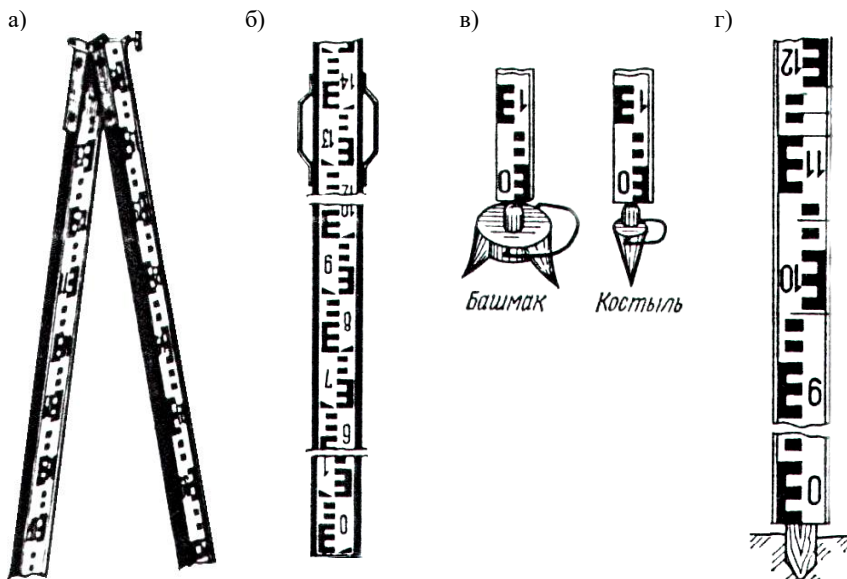


Рисунок 8 – Нивелирные рейки

Снятие отсчетов по нивелирным рейкам. При нивелировании рейки ставят вертикально нулём вниз на забитые вровень с землёй колышки. В отвесное положение рейку приводят с помощью круглого уровня, прикреплённого к ней, а при его отсутствии медленно покачивают рейку вперёд и назад и берут наименьший отсчёт, который соответствует отвесному положению рейки. Отсчёт по рейке снимают по среднему горизонтальному штриху сетки нитей с точностью до миллиметра.

При этом количество дециметров и сантиметров отсчитывают по рейке, а миллиметры оценивают на глаз.

*Проверка нивелирных реек. Проверка 1. Деления рейки должны быть резко очерчены, равны между собой и соответствовать номинальной длине.* На рейку накладывают контрольную линейку (метр) или выверенную стальную рулетку с миллиметровыми делениями и дважды в прямом и обратном направлениях измеряют длины отрезков между делениями 1–10, 10–20 и 20–30 дм. Расхождения длины делений рейки с соответствующими делениями рулетки не должны превышать 0,5 мм.

*Проверка 2. Разность отсчётов по чёрным и красным сторонам рабочей пары должна равняться нулю.* При получении рабочей пары реек необходимо проверить, чтобы оцифровка пятки рейки по красной стороне была одинакова. Для выполнения проверки в 10–20 м от нивелира на колышек поочерёдно ставят первую и вторую рейки и берут 3–4 отсчёта по каждой стороне рейки. Разности одноимённых отсчётов не должны отклоняться от нуля более чем на 2 мм. Одновременно определяют разности отсчётов по красной и чёрной сторонам каждой рейки (разность пяток реек). Эти разности во время нивелирования дают возможность выявить грубые ошибки в отсчетах. Нивелирные рейки могут также устанавливаться на костыли и башмаки (рисунок 8, в) или колышки (рисунок 8, з). Костыль – металлический стержень с заострённым концом с одной стороны и сферической шляпкой с другой. Для забивки костыля в грунт на верхний торец его надевают крышку. Башмак – толстая круглая или треугольная металлическая пластина на трёх ножках. В середине пластины укреплён стержень со сферической шляпкой, на которую ставят нивелирные рейки.

**5 Измерение превышений нивелированием из середины.** Геометрическое нивелирование из середины выполняют с помощью нивелира и нивелирных реек. Для этого необходимо установить в точках *A* и *B* нивелирные рейки, а между ними – нивелир (рисунок 9). Направив горизонтальную визирную ось нивелира на рейки, выполняют отсчёты по чёрным и красным сторонам реек. Если точку *A* считать задней, а точку *B* передней, то отсчёты производят в следующем порядке:

- 1) задняя чёрная сторона ( $a_ч$ ) в примере равна 0680 мм (см. гр. 3 таблицы 1);
- 2) передняя чёрная сторона ( $a_ч$ ) записана в гр. 4 таблицы 1 ( $a_ч = 0534$  мм);
- 3) передняя красная сторона ( $a_{кр}$ ) записана в гр. 4 ( $a_{кр} = 5333$  мм);
- 4) задняя красная сторона ( $a_{кр}$ ) записана в гр. 3 ( $a_{кр} = 5480$  мм);
- 5) если необходимо, то снимают отсчёт на промежуточную (плюсовую) точку *C* только по чёрной стороне и записывают в гр. 5 таблицы 1 ( $c = 0438$  мм).

Т а б л и ц а 1 – Журнал технического нивелирования

Номер страницы	Точки наблюдения	Отсчёты по рейкам, мм			Превышения, мм				Горизонт нивелира, м	Высоты точек, м
		задние	передние	промежуточные	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	A	0680							146,932	146,252
	C	5480		0438	0146		0146			146,494
	B		0534	5333						146,398

**6 Вычисление превышений и высот (отметок) точек при геометрическом нивелировании из середины.** Высоты точек на станции при геометрическом нивелировании можно определить двумя способами:

- 1) через превышения  $h$ ;
- 2) через горизонт нивелира ГН (см. рисунок 9).

Горизонтом нивелира называют высоту визирного луча над ровной поверхностью или отметку луча визирования.

Все результаты вычислений необходимо записать в журнал технического нивелирования. При вычислениях отсчёты в миллиметрах необходимо перевести в метры (отсчёт  $0680 = 0,680$  и т.д.).

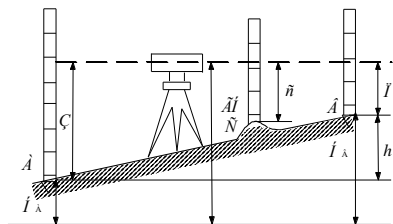


Рисунок 9 – Геометрическое нивелирование из середины

Для нахождения превышения необходимо найти разность отсчётов на заднюю и переднюю рейки по чёрной и красной сторонам реек:

$$h_{ч} = a_{ч} - b_{ч} = 0680 - 0534 = +0146 \text{ мм};$$

$$h_{кр} = a_{кр} - b_{кр} = 5480 - 5333 = +0147 \text{ мм}.$$

Эти величины необходимо записать в журнал, в гр. 6 (если превышение со знаком плюс) или в гр. 7 (если превышение со знаком минус).

Расхождение между превышениями по чёрной и красной сторонам реек не должно превышать 5 мм. Если этот допуск соблюдается, то находят среднее арифметическое из этих превышений  $h_{ср} = (h_{ч} + h_{кр}) / 2$ ;  $h_{ср} = (0146 + 0147) / 2 = +0146 \text{ мм}$ .

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

Отметку  $H_A$  записывают в графу 11 напротив точки A (в таблице 1  $H_A = 146,252$ ). Зная  $H_A$  и  $h_{ср}$ , можно определить высоту точки B:

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

Записываем эту высоту в гр. 11 напротив точки *B*. Горизонт нивелира можно вычислить по формуле

$$ГН = H_A + a_{ч} = 146,252 + 0,680 = 146,932 \text{ м.}$$

Записывают ГН в гр. 10 журнала. Через горизонт нивелира можно вторым способом определить высоту точки *B* по формуле  $H_B = ГН - в_{ч}$ . Например,

$$H_B = 146,932 - 0,534 = 146,398 \text{ м.}$$

Через горизонт нивелира вычисляют также высоты промежуточных точек *C* по формуле  $H_C = ГН - c = 146,932 - 0,438 = 146,494$  м. Записывают  $H_C$  в гр. 11 напротив точки *C*.

В качестве отчёта о выполненной работе студенты должны предоставить задание с результатами измерений и вычислений, а также описанием методики выполнения проверок нивелиров.

## К о н т р о л ь н а я   р а б о т а   № 2

### НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ. КАРТОГРАММА ЗЕМЛЯНЫХ РАБОТ ПРИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

**Цель работы** – закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки математической обработки результатов полевых измерений по вычислению высот вершин квадратов и составлению картограммы земляных работ, выполняемой при вертикальной планировке горизонтальной площадки.

**Приборы и принадлежности:** лист миллиметровой бумаги формата А3 или А4, линейка, микрокалькулятор.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

**Нивелирование поверхности по квадратам.** Его выполняют для получения топографических планов в крупных масштабах, а также для вертикальной планировки площадок. В зависимости от характера рельефа местности нивелирование поверхности может быть выполнено путем нивелирования по квадратам или по магистралям с поперечниками. Обычно нивелирование по квадратам применяют для равнинной местности, а нивелирование по магистралям с поперечниками используют при пересеченной местности со значительными углами наклона.

При нивелировании по квадратам на участке местности разбивают сетку квадратов со сторонами от 20 до 200 метров. Вершины квадратов закрепляют кольшками с обозначениями двух линий, пересечение которых образует данную точку (например 1А, 1Б, 2А, 2Б и т. д. на рисунке 1).

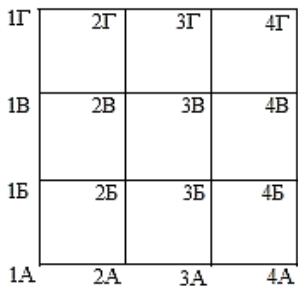


Рисунок 1 – Сетка квадратов

Сетку квадратов строят на местности при помощи теодолита и рулетки. В начале разбивают наружный полигон (1А, 1Г, 4Г, 4А) для чего в одной из вершин полигона, на-пример 1А, устанавливают теодолит. Выбирают и закрепляют вехой исходное направление (например 1А – 1Г), и от него под углом  $90^\circ$  строят направление 1А – 4А, по которому устанавливают веху. По полученным направлениям рулеткой откладывают стороны квадратов заданной длины и закрепляют их кольшками.

Затем теодолит переносят в точку 4А и от линии 4А – 1А откладывают прямой угол.

Вдоль полученного направления отмеряют рулеткой длины сторон квадратов. Для контроля разбивки производят измерение последней линии полигона 1Г – 4Г, длина которой должна отличаться от теоретической не более чем на 1:1000 периметра полигона. Если допуск соблюдается, закрепляют вершины квадратов по линии 1Г – 4Г.

Вершины квадратов, которые находятся внутри полигона (2Б, 2В, 3Б, 3В), находят и закрепляют на пересечении створов точек наружного полигона, выполняя промеры с вехи на веху, например с 2А на 2Г, с 3А на 3Г. Одновременно с разбивкой сетки квадратов ведут съемку контуров ситуации и предметов местности. Съемку проводят обычно способом перпендикуляров, привязывая характерные точки ситуации к вершинам квадратов. Все данные съемки заносят в абрис.

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

Нивелирование из середины каждого квадрата и нивелирование с нескольких станций с общими связующими точками используют обычно на значительных территориях с большими длинами сторон квадратов. При этом с двух стоянок нивелируют общие связующие точки, на которых вычисляют разности отсчетов по рейке, которые будут являться разностями горизонтов нивелира на этих станциях. Затем выполняют уравнивание этих разностей горизонтов нивелиров по замкнутому и разомкнутому ходам, и по уравненным горизонтам нивелиров вычисляют высоты вершин квадратов.

Если длины сторон квадратов небольшие, то их нивелирование можно выполнить с одной стоянки нивелира (станции). При этом, зная высоту одной вершины квадрата, прибавляют к ней отсчет по рейке на эту вершину и получают горизонт нивелира для этой стоянки. Вычитая из полученного



горизонта нивелира отсчеты по рейке на других вершинах квадратов, определяют таким образом высоты (отметки) этих вершин.

При составлении плана нивелирования по квадратам наносят на лист бумаги в заданном масштабе сетку квадратов. Затем по данным абриса съемки наносят ситуацию и предметы местности. Около каждой вершины квадратов выписывают их высоты. Далее при помощи кальки выполняют интерполирование горизонталей по всем сторонам квадратов и по одной из диагоналей в каждом квадрате с наибольшим постоянным уклоном. Горизонталю оформляют коричневым цветом, толщиной 0,2 мм, а план вычерчивают в условных топографических знаках для заданного масштаба съемки.

**Геодетические работы при вертикальной планировке. Картограмма земляных работ.** Проект вертикальной планировки является составной частью генерального плана строительства. Его составляют с целью преобразования естественных форм рельефа и создания необходимых условий для эксплуатации существующих и проектируемых сооружений.

Основой для проектирования вертикальной планировки являются журнал и план нивелирования поверхности по квадратам. Обычно вначале составляют общий проект вертикальной планировки и оформляют его в виде картограммы земляных работ, а затем разрабатывают детальный проект, выражая проектный рельеф горизонталями и отметками характерных точек.

Картограмму земляных работ составляют на основе сетки квадратов у каждой вершины которых выписывают высоты земли, полученные по результатам нивелирования поверхности по квадратам, округляя их до 1 см. Над высотами земли выписывают проектные отметки, которые вычисляют, исходя из условий решения проектного рельефа.

Если требуется произвести планировку земли под горизонтальную площадку с условием соблюдения баланса земляных работ, т. е. чтобы объемы насыпей и выемок были примерно одинаковы, то проектную отметку горизонтальной плоскости вычисляют как среднее из всех средних отметок земли в каждом квадрате.

При проектировании наклонной площадки обычно учитывают продольный и поперечный уклоны и отметку начальной исходной точки. Например, проектную отметку любой точки, расположенной на расстоянии  $d_1$  в продольном направлении от начальной точки и  $d_2$  – в поперечном направлении от начальной точки вычисляют по формуле

$$H_{пр. i} = H_0 + i_1 d_1 + i_2 d_2, \quad (1)$$

где  $H_0$  – высота начальной точки;

$i_1, i_2$  – соответственно уклоны в продольном и поперечном направлениях.

Затем вычитают на картограмме у каждой вершины квадратов из проектной отметки отметку земли и получают рабочие отметки, которые запи-

сывают на картограмме слева от проектных. Рабочая отметка со знаком плюс показывает насыпь, а со знаком минус – выемку. По тем сторонам квадрата, где рабочие отметки вершин меняют знак, определяют точки нулевых работ, на которых рабочая отметка равна нулю. Соединяя полученные точки нулевых работ, получают линию нулевых работ, которая отделяет насыпь от выемки. Далее вычисляют и записывают на картограмме в середины каждого квадрата объемы насыпей и выемок, используя при этом формулы для вычисления объема земляной призмы, который равен произведению площади основания на среднюю высоту в призме. За площадь основания принимают площади квадратов, треугольников или трапеций, лежащих в основании соответствующих геометрических фигур. За среднюю высоту призмы принимают среднюю рабочую отметку в данной призме.

Вычисленные по отдельным квадратам объемы насыпей и выемок суммируют и определяют общий баланс земляных работ.

На местности земляные работы выполняют по рабочим отметкам, которые выписывают на кольях, устанавливаемых в вершинах квадратов.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ

**1 Содержание задания.** На местности с помощью теодолита и рулетки построена сетка квадратов, состоящая из четырех квадратов (рисунок 2).

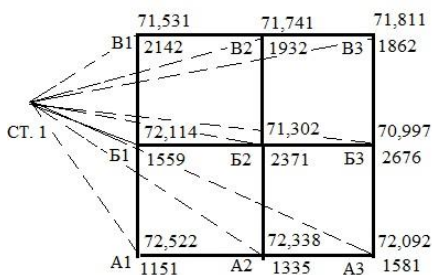


Рисунок 2 – Журнал нивелирования поверхности по квадратам

Вершины квадратов пронумерованы буквой и цифрой (A1, A2 и т. д.). Затем с одной стоянки нивелира выполнено нивелирование всех вершин квадратов, для чего на каждую вершину квадрата ставили рейку и нивелиром снимали отсчеты по черной стороне рейки. Результаты нивелирования показаны на рисунке 2. Студенту необходимо выполнить обработку полевых измерений, вычислить высоты всех вершин квадратов и, на основе полученных результатов,

составить картограмму земляных работ для вертикальной планировки горизонтальной площадки.

**2 Исходные данные.** Исходную отметку вершины квадрата A1 вычисляют в соответствие с шифром студента. Количество целых метров должно быть равно трехзначному числу, в котором количество сотен метров равно единице, количество десятков и единиц метров составляют две последние цифры шифра студента. Например, если шифр студента ЗПГС – 237, то  $H_{A1} = 137,237$  м, если же шифр студента ЗПГС – 980, то  $H_{A1} = 180,980$  м.

Длину стороны квадрата определяют в метрах в соответствии с шифром студента индивидуально по следующему правилу:

- если две последние цифры шифра студента больше или равны 50, то длину стороны квадрата берут равной двум последним цифрам шифра студента;

- если две последние цифры шифра меньше 50, то длину стороны принимают равной 50 м плюс две последние цифры шифра студента.

Например, для шифра студента ЗПГС – 237 длина стороны квадрата составит  $d = 50 \text{ м} + 37 = 87 \text{ м}$ . Для шифра студента ЗПГС – 980 длина стороны квадрата будет равна  $d = 80 \text{ м}$ .

**3 Обработка журнала нивелирования поверхности. Вычисление высот вершин квадратов.** В соответствии с данными нивелирования поверхности по квадратам (см. рисунок 2) надо вычислить по методу горизонта нивелира высоты ( $H_i$ ) всех вершин квадратов, используя при этом следующие формулы (рисунок 3):

$$ГН = H_{A1} + a, H_{B1} = ГН - b_1,$$

$$H_{A2} = ГН - b_2,$$

где  $a$  – отсчет по рейке в точке  $A1$ ;

$b_i$  – отсчеты по рейкам в точках  $B1, A2$  и т. д.

Горизонтом нивелира называется расстояние по отвесной линии от уровенной поверхности до визирной оси нивелира (см. рисунок 3). Например, если высота точки  $A1$  равна  $H_{A1} = 72,522 \text{ м}$ , а отсчет по рейке в точке  $A1$   $a = 1,151 \text{ м} = 1,151 \text{ м}$ , то горизонт нивелира (ГН) будет равен

$$ГН = 72,522 + 1,151 = 73,673 \text{ м}.$$

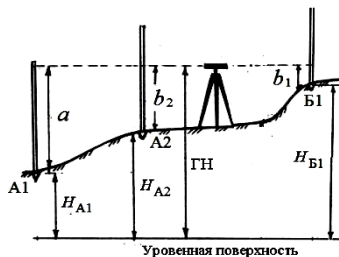


Рисунок 3 – Метод горизонта нивелира

Затем через горизонт нивелира вычисляют высоты вершин квадратов:

$$H_{B1} = ГН - b_1 = 73,673 - 1,559 = 72,114 \text{ м};$$

$$H_{A2} = ГН - b_2 = 73,673 - 1,335 = 72,338 \text{ м};$$

$$H_{B2} = ГН - b_2 = 73,673 - 2,371 = 71,302 \text{ м} \text{ и т. д.}$$

Высоты всех остальных вершин квадратов вычисляют аналогично. На рисунке 2 вычисленные высоты записаны у соответствующих вершин квадратов.

**4 Составление картограммы земляных работ при вертикальной планировке горизонтальной площадки.** Вертикальную планировку горизонтальной площадки выполняют при условии минимальности и баланса земляных работ (равенство объемов насыпи и выемки). Такие

площадки обычно проектируют при строительстве аэродромов, стоянок автотранспорта, под теннисные корты и другие подобные объекты. Итоговым документом вертикальной планировки горизонтальной площадки является *картограмма земляных работ*. Основой для составления картограммы земляных работ являются результаты нивелирования поверхности по квадратам и вычисленные высоты вершин квадратов.

Для составления картограммы земляных работ на миллиметровой бумаге (формат А3 или А4) в масштабе 1:1000 строят сетку квадратов. Длину стороны квадрата берут из исходных данных.

Картограмму земляных работ составляют в следующей последовательности:

1 После построения сетки квадратов у каждой вершины квадрата справа под линией выписывают вычисленные высоты земли с точностью до 0,01 м (рисунок 4);

2 Определяют проектную высоту (отметку) горизонтальной площадки. Для этого вычисляют средние высоты в каждом квадрате и по ним находят высоту проектной плоскости как среднее арифметическое из средних высот:

$$H_{\text{пр}} = \Sigma H_{\text{ср}} / n,$$

где  $n$  – число квадратов ( $n = 4$ ).

Для контроля вычислений проектную высоту площадки необходимо определить по второй формуле:

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

где  $H_1$  – высоты вершин, входящие только в один квадрат (вершины квадратов расположенные в углах площадки А1, В1, В3, А3);

$H_2$  – высоты вершин, общие для двух квадратов (на рисунке 4 это высоты в вершинах В1, В2, В3, А2);

$H_3$  – высоты вершин, общие для трех квадратов (на рисунке 4 таких высот нет, поэтому  $\Sigma H_3 = 0$ );

$H_4$  – высоты вершин, общие для четырех квадратов (на рисунке 4 это высота В2);

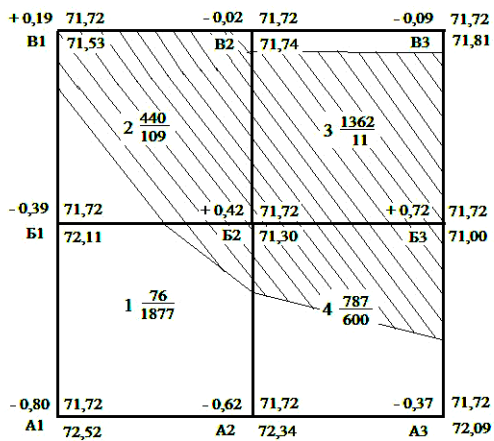
$n$  – число квадратов ( $n = 4$ ).

Например, для высот, приведенных в журнале нивелирования по квадратам (см рисунок 2), проектная отметка площадки по первой формуле составит

$$H_{\text{пр}} = (72,07 + 71,67 + 71,46 + 71,68) / 4 = 71,72 \text{ м.}$$

По второй формуле

$$H_{\text{пр}} = [(72,52 + 71,53 + 71,81 + 72,09) + 2(72,11 + 71,74 + 71,00 + 72,34) + 0 + 4(71,30)] : 16 = (287,95 + 574,95 + 285,20) : 16 = 71,72 \text{ м.}$$



Насыпь	516	2149	2665
Выемка	1986	611	2597

Масштаб 1:1000      Б.З.Р. =  $(2665 - 2597) / (2665 + 2597) \cdot 100\% = 1,3\%$

Рисунок 4 – Пример оформления картограммы земляных работ

Расхождение в проектных отметках, полученные по двум формулам, должно быть не более 0,01 м.

Если проектные отметки, полученные из двух формул, расходятся более чем на 0,01 м, то вычисление необходимо повторить, так как если есть ошибка в проектной отметке площадки, то будет нарушен баланс земляных работ. То есть объем насыпи будет значительно больше объема выемки или наоборот, что приведет к полному пересчету всех вычислений на картограмме земляных работ.

Полученную проектную отметку записывают красным цветом над отметками земли (высотами вершин квадратов), как показано на рисунке 4.

Затем вычисляют рабочие отметки у вершин квадратов, как разность между проектной отметкой и отметкой земли:

$$a_i = H_{\text{пр}} - H_{\text{земль}}$$

Например, на рисунке 4 рабочая отметка у вершины B1

$$a_{B1} = 71,72 - 72,11 = -0,39 \text{ м,}$$

$a$  – рабочая отметка у вершины B1

$$a_{B1} = 71,72 - 71,53 = +0,19 \text{ м.}$$

Записывают рабочие отметки красным цветом слева от проектной (см. рисунок 4).

Если рабочая отметка с плюсом, то она показывает величину насыпи в данной вершине квадрата, а рабочая отметка с минусом показывает величину выемки.

4 По сторонам квадратов, где рабочие отметки меняют знак, находят расстояния до точек нулевых работ (точки, где рабочая отметка равна нулю, т. е. отсутствуют земляные работы). Для этого используют формулы

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

где  $x_1$  и  $x_2$  – расстояния до точки нулевых работ соответственно от вершин 1 и 2 (расстояния вычисляют с точностью до 0,1 м);

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

$d$  – длина стороны квадрата (в примере  $d = 72$  м).

Например, точка нулевых работ на стороне Б1 – В1 будет находиться на расстояниях (см. рисунок 4)

$$x_1 = 0,39 \cdot 72 / (0,39 + 0,19) = 48,4 \text{ м от вершины Б1;}$$

$$x_2 = 0,19 \cdot 72 / (0,39 + 0,19) = 23,6 \text{ м от вершины В1.}$$

$$\text{Контроль: } x_1 + x_2 = d = 48,4 + 23,6 = 72 \text{ м.}$$

Аналогично находим точки нулевых работ на других сторонах квадратов. Соединяя найденные точки нулевых работ жирной пунктирной линией, получают на картограмме линию нулевых работ, т. е. линию пересечения проектной плоскостью земной поверхности. Линия нулевых работ является границей между участками насыпи и выемки грунта.

5 Далее вычисляют объемы насыпей и выемок в каждом квадрате с округлением до 1 м<sup>3</sup> и записывают их в середине квадратов (в числителе – объем насыпи, в знаменателе – объем выемки). При этом используют следующие формулы:

а) если рабочие отметки ( $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ) всех четырех вершин квадрата имеют одинаковые знаки, то объем грунта (рисунок 5, а)

$$V = 1/4P (a + b + c + d),$$

где  $P$  – площадь квадрата ( $P = 72 \times 72 = 5184 \text{ м}^2$ ). На рисунке таких квадратов нет;

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 5, 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, объем насыпи в квадрате 1 (поскольку рабочая отметка равна +0,42 м) составит

$$V_2 = 1 / 3 \cdot 542,7 (+0,42) = +76 \text{ м}^3,$$

где  $P_1 = 1/2 \cdot (37,3 \cdot 29,1) = 542,7 \text{ м}^2$ . Расстояния 37,3 м и 29,1 м – катеты в прямоугольном треугольнике в квадрате 1 рассчитаны по формулам расстояний до точек нулевых работ:

$$x_1 = 0,42 \cdot 72 / (0,42 + 0,62) = 29,1 \text{ м}; \quad x_2 = 0,42 \cdot 72 / (0,42 + 0,39) = 37,3 \text{ м}.$$

Объем выемки в 1-м квадрате будет

$$V_1 = 1 / 4 \cdot 5184(-0,62 - 0,80 - 0,39 + 0,42) - 76 = -1877 \text{ м}^3;$$

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 5, в)

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

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

Такой вариант на рисунке 4 находится в квадратах 3 и 4. Например, в квадрате 4 объем насыпи будет

$$V_1 = 1 / 4 P_1(0,42 + 0,72) = 1 / 4 \cdot 2761,2 \cdot 1,14 = 787 \text{ м}^2;$$

$$P_1 = 1 / 2 (29,1 + 47,6) \cdot 72 = 2761,2 \text{ м}^2.$$

Расстояния 29,1 и 47,6 м являются основаниями трапеции и определены по формулам как расстояния до точек нулевых работ в пункте (б).

Объем выемки в квадрате 4 составит

$$V_2 = 1 / 4 P_2 [-0,62 + (-0,37)] = 1 / 4 \cdot 2422,8 \cdot (-0,99) = -600 \text{ м}^3,$$

где  $P_2 = P_{\text{кв.}} - P_1 = 5184 - 2761,2 = 2422,8 \text{ м}^2$ ;

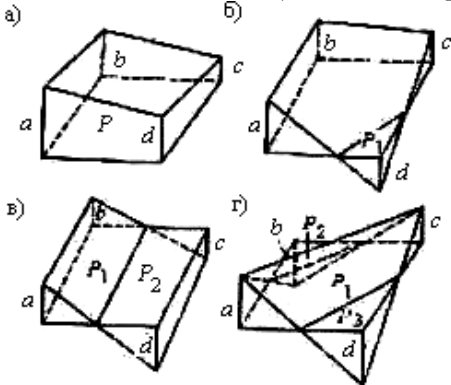
г) если рабочие отметки ( $a$ ,  $c$ ) двух вершин по диагонали квадрата имеют одинаковые знаки, а две другие ( $b$ ,  $d$ ) – противоположные, то объем земли (рисунок 4.5, з) вычисляют по формулам:

$$V_1 = 1 / 6 P_1(a + c); \quad V_2 = 1 / 3 (P_2 b + P_3 d),$$

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 2 объем выемки составит

$$V_2 = 1 / 3 [P_2 \cdot (-0,39) + P_3 \cdot (-0,02)] = 1 / 3 [840 \cdot (-0,39) + 13 \cdot (-0,02)] = -109 \text{ м}^3,$$



$$V_1 = 1 / 6 P_1 (0,19 + 0,42) = 1 / 6 \cdot 4331 \cdot 0,61 = 440 \text{ м}^3,$$

$$\text{где } P_1 = 5184 - 853 = 4331 \text{ м}^2.$$

Следует иметь в виду, что во всех формулах при вычитании объемов земляных работ необходимо учитывать знаки рабочих отметок (объемы насыпи будут иметь знак плюс, а объемы выемки – знак минус).

Рисунок 5 – Вычисление объемов земляных работ – квадраты с рабочими отметками:  
*a* – четырьмя одного знака; *б* – тремя одного знака и одной противоположного; *в* – двумя смежными одного знака и двумя другими противоположного; *г* – чередующимися положительными и отрицательными

6 После вычисления объемов насыпей и выемок в каждом квадрате их суммируют отдельно по каждому столбцу картограммы, а затем находят общую сумму насыпей и выемок по всей площадке, суммируя их

по итоговым строкам. Например, на рисунке 4 общий объем насыпи составляет 2665 м<sup>3</sup>, а общий объем выемки – 2597 м<sup>3</sup>. Разность между объемами насыпей и выемок называют баланс земляных работ (Б.З.Р). Он не должен превышать 3 % от всего объема насыпей и выемок. На рисунке 4 баланс земляных работ составит

$$\text{Б.З.Р.} = (V_{\text{нас}} - V_{\text{выем}}) / (V_{\text{нас}} + V_{\text{выем}}) \cdot 100 \% = (2665 - 2597) / (2665 + 2597) = 68 \cdot 100 \% / 5262 = 1,3\% < 3\%,$$

т. е. условие баланса земляных работ в допуске.

7 Если баланс земляных работ не в допуске, то нужно пересчитать объемы насыпей и выемок более внимательно, обратив особое внимание на вычисление площадей квадратов, треугольников и трапеций, а также на знаки рабочих отметок.

При условии допустимости баланса земляных работ оформляют картограмму земляных работ в следующих цветах: черным цветом показывают отметки земли, красным – проектные рабочие отметки, синим – линию нулевых работ. Площади насыпей закрашивают желтым цветом, площади выемок – коричневым или выделяют соответствующей штриховкой.

**5 Составление топографического плана нивелирования поверхности по квадратам.** На листе чертежной бумаги формата А4 в



соответствии с дирекционными углами стороны АВ в масштабе 1 : 500 надо построить сетку квадратов. Дирекционный угол стороны АВ следует принять равным начальному дирекционному углу. У каждой вершины квадрата необходимо вписать вычисленные отметки с точностью до 0,01.

По каждой стороне квадрата и линии Б2-В1 и диагоналям А1-Б2 (рисунок 6) надо выполнить интерполирование положения горизонталей при помощи палетки. Для ее изготовления на кальке следует провести равные промежутки ряд параллельных линий, соответствующих секущим плоскостям, и подписать высотами, кратными высоте сечения рельефа  $h = 0,25$  м.

Подготовительную палетку накладывают на линию стороны квадрата так, чтобы высоты вершин согласовывались с подписями линий палетки (рисунок 7). Точки пересечения линий палетки с линией стороны квадрата прокалывают иголкой, затем снимают палетки и подписывают высоты горизонталей карандашом, которые пройдут через наколотые точки. Горизонтали провести через точки с одинаковыми высотами толщиной 0,1 мм. Горизонтали, кратные 1 м, следует утолстить до 0,25 мм и подписать их высоты так, чтобы основание подписи было направлено в сторону понижения склона. Для подписи высоты горизонтали в ней надо сделать разрыв по длине записи. По линии водосбора (водораздела) ставят бергштрихи. Горизонтали вычерчивают коричневым цветом.

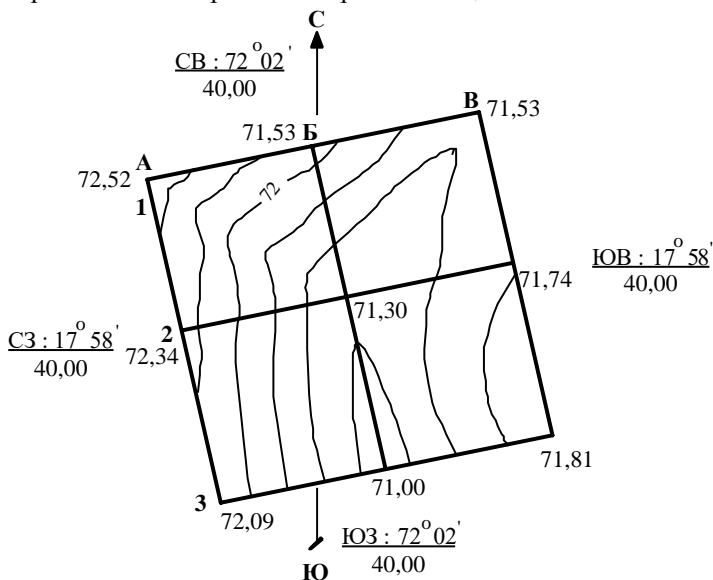


Рисунок 6 – Топографический план нивелирования поверхности по квадратам

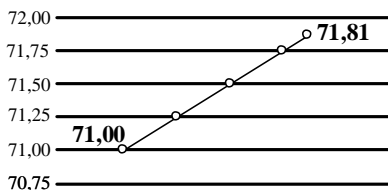


Рисунок 7 – Палетка для интерполирования

По второй контрольной работе студенты предъявляют журнал нивелирования поверхности по квадратам с выполненными и записанными вычислениями и картограмму земляных работ.

### Контрольная работа № 3

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА ТРАССЫ ДОРОГИ

**Цель работы** – закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки обработки результатов полевых измерений, вычислению высот пикетов, плюсовых точек и точек поперечника, расчету элементов и главных точек круговой кривой, а также составлению продольного и поперечного профилей трассы и чертежа круговой кривой.

**Приборы и принадлежности:** лист миллиметровой бумаги формат А3, линейка, транспортир, карандаш, микрокалькулятор, таблицы для разбивки кривых.

#### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

*Трассой* дороги называют ее продольную осевую линию, а выбор ее направления и положения на карте или на местности – *трассированием*. При этом трассирование на карте называют *камеральным*, а трассирование на местности – *полевым*. Вынесение положения трассы с карты на местность называют *разбивкой трассы*.

Основными элементами трассы являются ее план и профиль. *Планом* трассы называют ее проекцию на горизонтальную плоскость, а *продольным профилем* – уменьшенное изображение вертикального разреза по заданной линии трассы. План трассы дороги состоит из прямых участков, которые сопрягаются между собой горизонтальными кривыми различных радиусов. Продольный профиль трассы состоит из линий различных уклонов, соединенных между собой вертикальными кривыми.

При разбивке трассы на местности выполняют следующие геодезические работы: закрепление вершин углов поворота трассы; измерение длин линий и углов поворота трассы; разбивка пикетажа, плюсовых точек и точек поперечников; разбивка круговых и переходных кривых; съемка полосы местности вдоль трассы; нивелирование трассы.

Любая трасса представляет собой в плане ломаную линию, состоящую из нескольких прямых отрезков (рисунок 1). На вершинах углов поворота трассы (ВУП № 1 и ВУП № 2) теодолитом способом приемов измеряют правые по ходу углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . По этим углам вычисляют углы поворота трассы:

$$\varphi_{\text{п}} = 180^\circ - \beta_1; \quad \varphi_{\text{л}} = \beta_2 - 180^\circ.$$

Углом поворота трассы ( $\varphi$ ) называется угол между продолжением предыдущего и последующим направлениями трассы. При этом, если значение измеренного угла  $\beta$  меньше  $180^\circ$ , то угол поворота трассы будет правый, а если больше  $180^\circ$ , – то левый (см. рисунок 1). Одновременно с измерением углов по буссоли определяют магнитные азимуты предыдущего и последующего направлений трассы для контроля измеренного угла между ними.

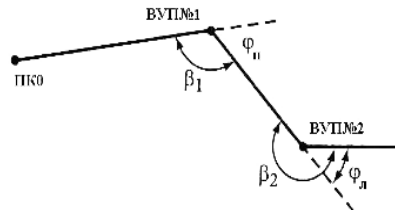


Рисунок 1 – Углы поворота трассы

Линии трассы между вершинами углов поворота измеряют рулетками или дальномерами в прямом и обратном направлениях. Одновременно с измерением длин линий через каждые 100 м по оси трассы закрепляют *пикеты*. Кроме пикетов по оси трассы обозначают характерные точки, которые называют *промежуточными* или *плюсовыми*. Эти точки обозначают номером предыдущего пикета плюс расстояние от него до промежуточной точки. Например, на рисунке 2 перегиб местности между пикетами 1 и 2 обозначен ПК1 + 35, где 35 – расстояние от заднего пикета в метрах.

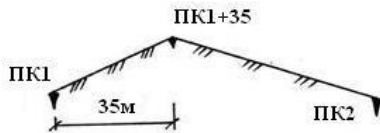


Рисунок 2 – Плюсовая точка

Кроме перегибов местности к плюсовым точкам относят пересечение трассы с другими дорогами, линиями электропередач, рекой, начало и конец кривых и т. д.

На косогорных участках трассы под углом  $90^\circ$  к ее оси разбивают поперечники длиной 20–50 м в обе стороны от оси трассы. Точки на поперечниках обозначают расстоянием от оси трассы с пометкой «право» или «лево» относительно расположения оси трассы.

Параллельно с разбивкой пикетажа ведут съемку полосы местности вдоль трассы на расстояниях 20–50 м в обе стороны от оси трассы. Съемку проводят способом перпендикуляров. Снимают контуры угодий, пересекающих трассу дороги, линии связи и электропередач, здания и строения, попадающие в полосу местности.

По данным съемки на миллиметровой бумаге составляют пикетажный журнал, в котором наносят выпрямленную линию трассы, все пикеты, плюсовые точки, поперечники, ситуацию полосы местности, стрелками показывают места вершин углов поворота и элементы вписываемых круговых кривых в них, а также другие данные. Образец пикетажного журнала приведен в задании на расчетно-графическую работу.

**Круговые кривые на трассе, их элементы и главные точки.** В плане

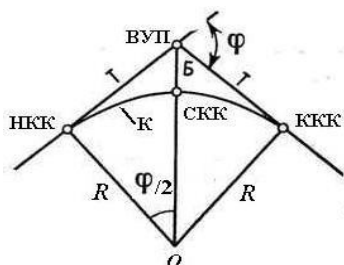


Рисунок 3 – Главные точки и элементы круговой кривой

оси трассы представляет собой сочетание прямых и кривых участков трассы. Кривые могут быть круговые и суммарные. Суммарная кривая состоит из круговой кривой и двух переходных, которые позволяют более плавно перейти с прямого участка трассы на круговую кривую и наоборот.

Круговая кривая – это дуга окружности с постоянным радиусом, вписанная в угол, образованный двумя

смежными линиями трассы (рисунок 3). Круговая кривая имеет три главные точки и шесть элементов. Главные точки круговой кривой – это ее начало (НКК), конец (ККК) и середина (СКК). Элементами круговой кривой являются:

- 1) угол поворота трассы ( $\varphi$ );
- 2) радиус круговой кривой ( $R$ );
- 3) расстояние от вершины угла поворота (ВУП) до начала или конца кривой, которое называется тангенсом ( $T$ );
- 4) длина кривой, расстояние от ее начала до ее конца ( $K$ );
- 5) расстояние от вершины угла поворота до середины кривой, которое называется биссектрисой кривой ( $B$ );
- 6) домер, показывающий, на сколько расстояние от начала до конца кривой по касательной больше, чем по кривой ( $D$ ).

Угол поворота трассы обычно определяют при измерении теодолитом, а величину радиуса кривой ( $R$ ) выбирают в соответствии с техническими условиями. Остальные элементы круговой кривой можно определить из прямоугольного треугольника (НКК – ВУП) на рисунке 3 по следующим формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \varphi / 2; K = \pi R \varphi^{\circ} / 180^{\circ}; B = (R / \cos \varphi / 2) - R; D = 2T - K.$$

По этим формулам составлены таблицы для разбивки кривых на железных дорогах [8] в которых по известным  $\varphi$  и  $R$  можно сразу выбрать элементы  $T$ ,  $K$ ,  $B$ ,  $D$ .

**Нивелирование трассы и поперечников.** Нивелирование трассы выполняют для определения высот пикетов, плюсовых точек и точек поперечников. По этим высотам строят на миллиметровой бумаге продольный и поперечный профили трассы.

Нивелирование трассы производят путем проложения вдоль трассы нивелирного хода, состоящего из нескольких станций (стоянок нивелира), соединенных между собой связующими точками (рисунок 4). Трассу нивелируют методом из середины. При этом нивелир устанавливают в середину между *связующими точками*. Связующей называется точка на трассе, общая для двух соседних стоянок нивелиров. Обычно на трассе связующими точками являются пикеты. Кроме пикетов нивелируют также плюсовые точки.

Порядок работы на одной станции при нивелировании трассы следующий. Нивелир устанавливают в середину между пикетами и снимают отсчеты по черной и красной сторонам на заднюю и переднюю рейки, установленные на пикетах. Если между пикетами есть плюсовые точки, то на них снимают отсчет только по черной стороне рейки. Затем дважды вычисляют превышения между пикетами по черной и красной сторонам реек

$$h_{ч} = Z_{ч} - П_{ч}; h_{кр} = Z_{кр} - П_{кр}.$$

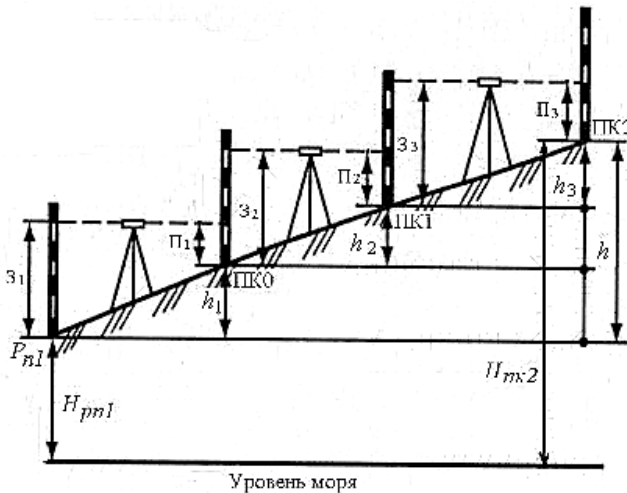


Рисунок 4 – Нивелирования трассы дороги

Расхождение между превышениями не должно быть более 5 мм. Если допуск соблюдается, то вычисляют среднее превышение:

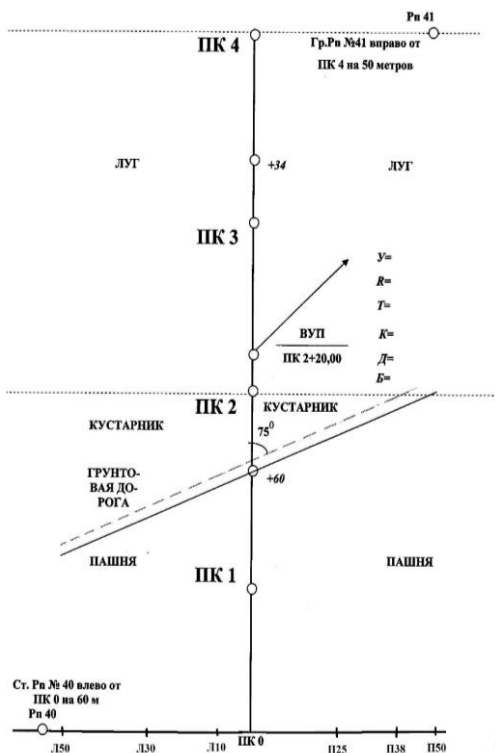
$$h_{\text{ср.}} = (h_{\text{ч}} + h_{\text{кр.}}) / 2.$$

По измеренным превышениям выполняют уравнивание нивелирного хода и вычисляют высоты пикетов и плюсовых точек, по которым строят продольный профиль трассы. Затем на продольном профиле проектируют линию оси будущей железной или автомобильной дороги.

Для построения поперечного профиля трассы нивелируют также точки поперечника. Отсчеты по рейке на точках поперечника снимают только по черной стороне. Вычисление высот точек поперечника выполняют через горизонт нивелира.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**1 Содержание задания.** На местности для составления продольного и поперечного профилей участка дороги между Р<sub>н</sub>40 и Р<sub>н</sub>41 проложен



нивелирный ход. Выполнена разбивка пикетажа через 100 м по оси трассы, а также разбиты плюсовые точки и точки поперечника на ПК0. По результатам разбивки составлен пикетажный журнал, в котором указаны номера пикетов, плюсовых точек и точек поперечника.

На вершине угла поворота (ВУП), расположенном на ПК2 + 20, измерен правый угол поворота трассы, в который вписана круговая кривая радиусом 600 м. Выполнена также съемка ситуации местности на 50 м влево и 50 м вправо от оси трассы. Результаты полевых измерений приведены в «Журнале технического ни-

Рисунок 5 – Пикетажный журнал

велирования» и «Пикетажном журнале», которые являются общими для всех вариантов.

## 2 Исходные данные

1 Журнал технического нивелирования участка трассы дороги (таблица 1).

2 Нивелирование поперечника на ПК0 (таблица 2).

3 Пикетажный журнал (рисунок 5). Эти данные являются общими для всех вариантов. Остальные исходные данные рассчитывают индивидуально в соответствии с шифром студента.

4 Исходный дирекционный угол первоначального направления трассы

$$\alpha_{\text{нач}} = 80^{\circ}10' + N',$$

где  $N'$  – шифр студента в минутах. Например, для шифра  $N' = 255' : 60 = 4^{\circ}15'$ ,  $\alpha_{\text{нач}} = 80^{\circ}10' + 4^{\circ}15' = 84^{\circ}25'$ .

5 Угол поворота трассы (правый)

$$\gamma_{\text{пр}} = 10^{\circ}00' + N',$$

где  $N'$  – шифр студента в минутах. Например, для шифра  $N' = 255' : 60 = 4^{\circ}15'$ ,  $\gamma_{\text{пр}} = 10^{\circ}00' + 4^{\circ}15' = 14^{\circ}15'$ .

6 Радиус круговой кривой вписываемой в угол поворота трассы принять равным  $R = 600$  м для всех вариантов.

7 Высота начального репера № 40

$$H_{\text{Рп40}} = 100,100 + 0,1N,$$

где  $N$  – шифр студента в метрах. Например, для шифра  $N = 255 \cdot 0,1 = 25,500$  м

$$H_{\text{Рп40}} = 100,100 + 0,1 \cdot 255 = 100,100 + 25,500 = 125,600 \text{ м.}$$

8 Высота конечного репера № 41

$$H_{\text{Рп41}} = 100,150 + 0,1 N,$$

где  $N$  – шифр студента в метрах. Например, для шифра  $N = 255 \times 0,1 = 25,500$  м  $H_{\text{Рп41}} = 100,150 + 25,500 = 126,650$  м.

9 При нанесении на продольный профиль трассы проектной линии предусмотреть, чтобы соблюдался баланс земляных работ (т. е. чтобы объемы насыпей и выемок были примерно одинаковы), а уклоны проектной линии не превышали 0,020. При этом в учебных целях проектную линию необходимо нанести так, чтобы были уклоны положительные, отрицательные и нулевые (т. е. горизонтальные площадки).

**3 Обработка журнала технического нивелирования участка трассы дороги.** Нивелирование трассы выполнено способом геометрического нивелирования из середины с применением двухсторонних складных реек. Результаты нивелирования приведены в журнале технического нивелирования (см. таблицу 1). Из журнала видно, что нивелирный ход от

Р<sub>п</sub> № 40 до Р<sub>п</sub> № 41 состоит из 6 стоянок нивелира (станций). На каждой станции нивелиром снимали отсчеты на заднюю и переднюю рейки по черной и красной сторонам, а на станциях 3 и 5 еще снимали отсчеты на промежуточные (плюсовые) точки только по черной стороне (на станции 3 это отсчет на плюсовую точку ПК1 + 60, а на станции 5 – на плюсовую точку ПК3 + 34).

На первых пяти станциях по отсчетам на заднюю и переднюю точки вычислены превышения по черной и красной сторонам реек. Например, на станции 1 превышения составили:

$$h_{\text{чер}} = Z_{\text{чер}} - П_{\text{чер}} = 1730 - 227 = +1503 \text{ мм};$$

$$h_{\text{кр}} = Z_{\text{кр}} - П_{\text{кр}} = 6518 - 5013 = +1505 \text{ мм}.$$

Если расхождения в превышениях не превышает  $\pm 5$  мм, то находим среднее превышение  $h_{\text{ср}} = (h_{\text{чер}} + h_{\text{кр}}) / 2$ . Например, на первой станции среднее превышение

$$h_{\text{ср}} = (1503 + 1505) / 2 = +1504 \text{ мм}.$$

Аналогично вычислены превышения на станциях 2–5.

Студенту необходимо вычислить превышения по черной и красной сторонам и среднее превышение на станции 6 и записать их в колонки 7 и 9 журнала нивелирования трассы. Для проверки правильности вычислений в журнале выполняют пожурнальный (постраничный) контроль по формуле

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

где  $\Sigma Z$ ,  $\Sigma П$  – суммы черных и красных отсчетов на заднюю (гр. 3) и переднюю (гр. 5) рейки;

$\Sigma h_{\text{ср}}$  – алгебраическая сумма средних превышений с учетом знака превышений (гр. 8 и 9).

Допускается расхождение в равенстве пожурнального контроля не более 1–2 мм за счет ошибки в округлениях при вычислении средних превышений.

Для уравнивания нивелирного хода, проложенного между реперами № 40, 41 определяют невязку в превышениях по нивелирному ходу

$$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_{\text{Рп41}} - H_{\text{Рп40}}),$$

где  $\Sigma h_{\text{ср}}$  – сумма средних превышений по нивелирному ходу (выбирают из формулы пожурнального контроля);

$H_{\text{Рп41}}$  и  $H_{\text{Рп40}}$  – отметки начального и конечного реперов, которые выбирают из исходных данных.



Эта невязка не должна превышать допустимой величины, определяемой по формуле  $f_{\text{доп}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L_{\text{км}}}$ , где  $L_{\text{км}}$  – длина нивелирного хода в километрах, вычисляется по числу пикетов в нивелирном ходе.

Для нивелирного хода между реперами № 40 и 41 число пикетов равно 4, значит длина нивелирного хода составит  $4 \times 100 \text{ м}$  или 0,4 км.

Т а б л и ц а 1 – Журнал нивелирования трассы

Номер станции	Наблюдаемые точки	Отсчеты по рейке			Превышения		Средние превышения		Горизонт нивелира	Абсолютные (условные) отметки
		задней	передней	промежуточной	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Рп № 40 ПК 0	1730 6518	0227 5013		1503 1505		1504			
2	ПК 0 ПК 1	2082 6868	1530 6316		0552 0552		0552			
3	ПК 1 +60 ПК 2	2290 7077	0594 5380	0714	1696 1697		1696			
4	ПК 2 ПК3	1754 6542	1147 5936		0607 0606		0606			
5	ПК 3 + 34 ПК 4	0941 5729	1108 6592	0509	0867 0863		0865			
6	ПК 4 Рп № 41	0450 5238	2906 7692							
	Суммы									
$(\Sigma 3 - \Sigma П) / 2 =$					$\Sigma h_{\text{ср}} =$					
$f_h = \Sigma h_{\text{ср}} - (H_{\text{Рп41}} - H_{\text{Рп40}}) \text{ мм} =$					$f_{\text{доп}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L_{\text{км}}} =$					

Если невязка  $f_h \leq f_{h\text{доп}}$ , то она считается в допуске и поэтому ее можно распределить, вводя поправки в средние превышения. Поправки вычисляют по формуле

$$V_h = -f_h / n,$$

где  $n$  – число превышений, т. е. поправку берут со знаком, обратным невязке, и вводят поровну в каждое среднее превышение. Поправки округляют до 1 мм. Сумма поправок должна быть равна невязке с обратным знаком, т. е.  $\sum V_h = -f_h$ . Поправки записывают с учетом знака над средними превышениями в колонки 8 или 9 журнала нивелирования трассы. Затем вычисляют исправленные превышения:

$$h_{\text{испр.}} = h_{\text{ср}} + V_h.$$

При этом учитывают знаки средних превышений и знаки поправок. По исправленным превышениям вычисляют высоты связующих точек в нивелирном ходе (пикетов):

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + h_{\text{испр.}}$$

где  $H_{\text{посл}}$  и  $H_{\text{пред}}$  – высоты последующей и предыдущей связующих точек;  
 $h_{\text{испр.}}$  – исправленное превышение.

Например,  $H_{\text{ПК0}} = H_{\text{Рп40}} + h_{1\text{испр.}}$ ;  $H_{\text{ПК1}} = H_{\text{ПК0}} + h_{2\text{испр.}}$  и т. д.

В конце вычислений по данной формуле необходимо точно получить высоту конечного репера № 41, что будет являться контролем правильности вычислений высот пикетов по всему нивелирному ходу.

На станциях 3 и 5, где есть плюсовые точки, необходимо вычислить горизонт нивелира (ГН) по формуле

$$\text{ГН} = H_3 + З_ч,$$

где  $H_3$  – высота заднего пикета;

$З_ч$  – отсчет по черной стороне рейки на заднем пикете.

Затем определяют высоту плюсовой (промежуточной) точки

$$H_+ = \text{ГН} - П_+,$$

где  $П_+$  – отсчет по черной стороне рейки на промежуточную точку.

Например, на станции 3, если высота заднего пикета ( $H_{\text{ПК1}} = 102,170$  м), то  $\text{ГН} = 102,170 + 2,290 + 104,460$  м, а  $H_+ = 104,460 - 0,714 = 103,746$  м. При этом горизонт нивелира записывают в гр. 10 журнала нивелирования трассы, а отметку плюсовой точки записывают в гр. 11 журнала в строку напротив промежуточной точки.

Аналогично методом горизонта нивелира вычисляют высоты точек на поперечнике. Поперечник разбит на ПК0 перпендикулярно к направлению оси трассы по 50 м влево и вправо от оси трассы. Промежуточные точки на поперечнике влево от ПК0 (Л10; Л30; Л50) и вправо от ПК0 (П26; П38; П50)

указаны в пикетажном журнале. Нивелирование поперечника выполнено с одной стоянки нивелира. Результаты нивелирования поперечника на ПК0 показаны в таблице 2.

Для определения высот точек поперечника вычисляют горизонт нивелира  $ГН = H_{ПК0} + З_{ПК0}$ . Например, если высота ПК0 равна  $H_{ПК0} = 101,616$  м, то  $ГН = 101,616 + 1,154 = 102,770$  м, которые записывают в колонку 10 таблицы 2. Затем от полученного горизонта нивелира отнимают отсчеты на промежуточные точки и получают высоты точек на поперечнике. Например,  $H_{Пр.26} = ГН - П_{Пр+26} = 102,770 - 2,542 = 100,228$  м;  $H_{Лево.30} = ГН - П_{Лево+30} = 102,770 - 0,516 = 102,254$  м.

Т а б л и ц а 2 – Журнал нивелирования поперечников

Номер станции	Наблюдаемые точки	Отсчеты по рейке			Превышение		Средние превышения		Горизонт нивелира	Абсолютные (условные) высоты
		задней	передней	промежуточной	+	-	+	-		
					6	7	8	9		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	ПК 0 Пр +26 Пр +38 Пр +50  Лево +10 Лево +30 Лево+50	1154		2542 2810 3448  0774 0516 0271						

Аналогично вычисляют высоты остальных точек на поперечнике и записывают их в колонку 11 таблицы 2 в строку напротив соответствующей промежуточной точке. Полученные высоты точек поперечника используют для построения поперечного профиля.

**4 Вычисление элементов и пикетажа главных точек круговой кривой.** По пикетажному значению вершины угла поворота, указанному в пикетажном журнале ( $ВУП = ПК2 + 20,00$ ) и вычисленному в исходных данных углу поворота трассы ( $\gamma_{пр}$ ) и радиусу круговой кривой ( $R = 600$  м) необходимо определить остальные элементы круговой кривой и рассчитать пикетажное значение главных точек круговой кривой (НК, СК, КК).

Элементы круговой кривой (Т, К, Б, Д) выбирают из таблиц для разбивки кривых или вычисляют по формулам. Например, если угол поворота трассы равен  $\gamma_{пр} = 14^{\circ}15'$ , а радиус  $R = 600$  м, то элементы круговой кривой будут равны: Т = 75,00 м; К = 149,23 м; Б = 4,67 м; Д = 0,77 м.

При вычислении элементов кривой по формулам значения тригонометрических функций берут с точностью до пяти знаков после запятой, а величину  $\pi = 3,14159$ .

Пикетажные значения главных точек круговой кривой начала кривой (НК), середины кривой (СК) и конца кривой (КК) вычисляют с контролем в таблице 3 по формулам:

$$\begin{aligned} \text{ПК НК} &= \text{ПК ВУП} - T; & \text{Контроль:} \\ \text{ПКСК} &= \text{ПК НК} + K/2; & \text{ПК КК} &= \text{ПК ВУП} + T - D; \\ \text{ПК КК} &= \text{ПК НК} + K. & \text{ПК СК} &= \text{ПК ВУП} - D/2. \end{aligned}$$

Например, для указанных выше элементов кривой получим:

Т а б л и ц а 3 – Расчет пикетажных значений главных точек кривой

Расчет		Контроль	
Формулы	Результаты вычислений	Формулы	Результаты вычислений
ВУП	ПК2 + 20,00	ВУП	ПК2 + 20,00
- T	- 75,00	+ T	+ 75,00
НК	ПК1 + 45,00	Σ	ПК2 + 95,00
+ K	ПК1 + 49,23	- D	- 0,77
КК	ПК2 + 94,23	КК	ПК2 + 94,23
НК	ПК1 + 45,00	ВУП	ПК2 + 20,00
+ K/2	+ 74,62	- D/2	- 0,38
СК	ПК2 + 19,62	СК	ПК2 + 19,62

Расхождение между пикетажными значениями конца кривой (КК) и середины кривой (СК), полученных при их расчете и контроле, допускается не более 0,01–0,02 м, за счет ошибок округлений.

**5 Определение дирекционных углов и длин прямолинейных участков трассы.** Определив пикетажные значения начала и конца кривой, можно вычислить длины прямолинейных участков трассы (рисунок 6).

Длину первого прямого участка трассы ( $\Pi_1$ ) вычисляют по формуле

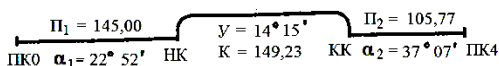


Рисунок 6 – Прямые и кривые участки трассы

$$\Pi_1 = \text{ПК НК} - \text{ПК0}.$$

Например, для указанного выше примера

$$\Pi_1 = \text{ПК1} + 45,00 - \text{ПК0} = 145,00 \text{ м}.$$

Длину второго прямого участка трассы ( $\Pi_2$ ) определяют по формуле

$$\Pi_2 = \text{ПК4} - \text{ПК КК}.$$

Например, для указанного выше примера

$$\Pi_2 = \text{ПК4} - \text{ПК2} + 94,23 = 400 \text{ м} - 294,23 \text{ м} = 105,77 \text{ м}.$$

Контролем правильности вычислений является равенство

$$\Sigma\Pi + \Sigma K = L_{\text{общ}},$$

где  $\Sigma\Pi$ ,  $\Sigma K$  – суммы прямых и кривых участков трассы;

$L_{\text{общ}}$  – общая длина трассы.

Например, для данного примера  $\Sigma\Pi = 145,00 + 105,77 = 250,77$  м;  
 $\Sigma K = 149,23$ ;  $L_{\text{общ}} = 400$  м. Контроль:  $250,77 + 149,23 = 400$  м.

Дирекционные углы прямолинейных участков трассы

$$\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} \pm y,$$

где  $\alpha_{\text{посл}}$  и  $\alpha_{\text{пред}}$  – дирекционные углы последующего и предыдущего прямого участка трассы;

$y$  – угол поворота трассы.

В приведенной формуле со знаком плюс берут правые углы поворота трассы, а со знаком минус – левые. Например, дирекционный угол начального направления трассы  $\alpha_1 = \alpha_{\text{нач.}} = 22^\circ 52'$  выбирают из исходных данных.  $U_{\text{пр}} = 14^\circ 15'$  – правый угол поворота. Тогда дирекционный угол второго прямого участка трассы

$$\alpha_2 = \alpha_1 + U = 22^\circ 52' + 14^\circ 15' = 37^\circ 07'.$$

Длины прямолинейных участков трассы и их дирекционные углы записывают на продольном профиле. Длины прямых участков показывают над осевой линией в графе «План линии». Если прямых участков на трассе больше двух, то в конце вычислений дирекционных углов проверяют контрольное равенство по формуле

$$\alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}} = \Sigma U_{\text{прав}} - \Sigma U_{\text{лев}},$$

где  $\alpha_{\text{кон}}$  и  $\alpha_{\text{нач}}$  – дирекционные углы конечного и начального направления трассы;

$\Sigma U_{\text{прав}}$  и  $\Sigma U_{\text{лев}}$  – сумма правых и левых углов поворота трассы.

Дирекционные углы записывают в графу «План линии» под горизонтальной чертой.

## 6 Составление продольного профиля участка трассы дороги.

Продольный профиль трассы составляют на листе миллиметровой бумаги формата А3 в масштабах: горизонтальный – 1:2000, вертикальный – 1:200. Для составления продольного профиля трассы вначале вычерчивают сетку профиля. Для этого от нижнего края листа миллиметровой бумаги отложить расстояние 15 см и провести по утолщенной горизонтальной линии миллиметровки, начиная с левого края, линию условного горизонта длиной 25 см. Затем в соответствии с указанными размерами в миллиметрах (рисунок 7) провести горизонтальные линии, отделяющие графы сетки профиля.

Выполнить подписи наименований граф сетки. Отделить названия граф сетки вертикальной линией на расстоянии 5 см от левого края листа.

Вертикальную линию продлить выше линии условного горизонта на 8–10 см и вычертить на ней шкалу вертикального масштаба толщиной 1 мм со штриховкой через 1 см.

В принятом вертикальном масштабе 1:200 (в 1 см – 2 м) расписать вертикальную шкалу таким образом, чтобы расстояние между линией условного горизонта и наименьшей фактической отметкой было не менее 5 см.

Заполнение граф сетки ведут в следующей последовательности.

1 Заполняют графы «Пикеты», «Километры» и «Расстояния». В графе «Пикеты» через 100 м в горизонтальном масштабе 1:2000 (1 см – 20 м) подписывают номера пикетов, начиная с ПК0, слева направо через каждые 5 см (ПК0, 1, 2, 3, 4). При этом положение начального и конечного реперов № 40 и 41 отмечают вдоль вертикального масштаба на ПК0 и ПК4. В графе «Километры» ставят на ПК0 кружок диаметром 5 мм, отмечая нулевой километр.

В графе «Расстояния» показывают положение плюсовых точек и целых пикетов вертикальными линиями, которые продлевают в графу «Ординаты». Затем в графе «Расстояния» указывают расстояние от плюсовых точек до ближайших пикетов. Сумма вписанных расстояний в пределах одного пикета должна быть равна 100 м.

2 Заполняют графу «Фактические отметки». Для этого выписывают в нее высоты пикетов и плюсовых точек из журнала нивелирования трассы с округлением до 0,01 м. Подписи высот расположить напротив соответствующей ординаты.

3 По полученным фактическим отметкам наносят точки продольного профиля. При построении профиля проводят ординаты выше линии условного горизонта, на которых в принятом вертикальном масштабе откладывают фактические отметки земли (учитывая, что для М 1:200 1 мм на миллиметровой бумаге соответствует 0,2 м). Нанесенные точки соединяют прямыми линиями, получая продольный профиль земли участка трассы дороги.

4 По данным пикетажного журнала заполняют графу «Ситуация», где у оси трассы, изображенной в виде прямой линии, наносят ситуацию дорожной полосы в условных топографических знаках. На основе геологических изысканий заполняют графу «Грунты». При этом на участке трассы от ПК0 до ПК3 наносят суглинок, а от ПК3 до ПК4 отмечают песчаный грунт.

5 В графе «План линии» наносят прямые и кривые участки трассы. Для этого, используя данные пикетажных значений начала и конца кривой, откладывают в масштабе 1:2000 точки НК и КК относительно ближайших пикетов. При угле поворота трассы вправо криволинейный участок трассы условно показывают дугами 5 мм вверх от осевой линии, а при угле поворота

влево – дугами 5 мм вниз от осевой линии. Внутри условного обозначения дуг кривых указывают все элементы кривых (*V, R, T, K, Д, Б*). В точках начала и конца кривой показывают расстояния до них от ближайших пикетов.

6 В соответствии с техническими условиями методом последовательных проб наносят проектную линию бровки земляного полотна железной дороги или верха покрытия автодороги таким образом, чтобы уклоны проектной линии не превышали 0,020 (20 ‰), и объемы земляных работ были бы минимальны при соблюдении их баланса. При этом необходимо предусмотреть, чтобы уклоны проектной линии были положительные, отрицательные и нулевые.

После нанесения проектной линии графически определяют отметки точек перегиба, по которым вычисляют уклон проектной линии, используя формулу

$$i = (H_2 - H_1) / d,$$

где  $H_2$  и  $H_1$  – отметки соответственно последующей и предыдущей точек перегиба проектной линии;

$d$  – расстояние между точками перегиба.

Например, для продольного профиля на рисунке 7 на участке от ПК2 до ПК3  $H_1 = 105,00, H_2 = 104,00, d = 100$  м. Тогда уклон  $i = (104,00 - 105,00)/100 = -0,01 = 10 ‰$ .

Вычисленные уклоны записывают в соответствующую графу «Уклоны», в которой проводят в точках перегиба ординаты, а по диагонали показывают направление уклонов (при положительном уклоне линию проводят снизу вверх, при отрицательном – сверху вниз, а для горизонтальных участков (с нулевым уклоном) проводят горизонтальную линию. Над проведенными линиями записывают уклоны в тысячных долях (промиллях), а под линией записывают в метрах расстояние, на котором действует данный уклон.

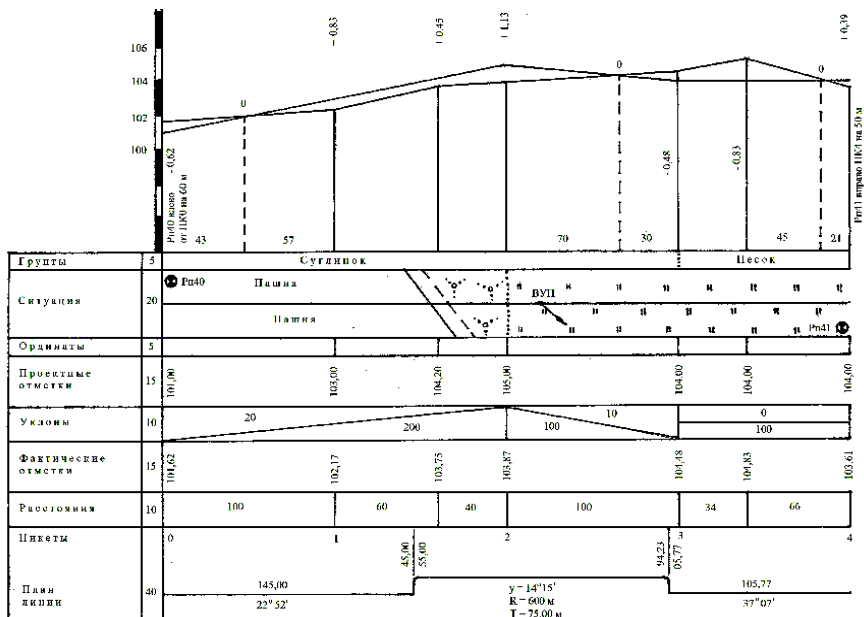


Рисунок 7 – Продольный профиль трассы М<sub>г</sub> 1 : 2000, М<sub>в</sub> 1 : 200

7 Получив уклоны проектной линии, вычисляют по ним проектные отметки промежуточных пикетов и плюсовых точек по формуле

$$H_{\text{посл}} = H_{\text{пред}} + id,$$

т. е. проектная отметка последующей точки равна проектной отметке предыдущей точки плюс произведение уклона линии на горизонтальное расстояние между точками. Например, на участке трассы от ПК1 до ПК2

$$\begin{aligned} H_{\text{ПК2}} &= H_{\text{ПК1}} + id = 103,00 + 0,020 \cdot 100 = 105,00 \text{ м;} \\ H_{\text{ПК1+60}} &= H_{\text{ПК1}} + id = 103,00 + 0,020 \cdot 60 = 104,20 \text{ м.} \end{aligned}$$

Контролем правильности вычисления проектных отметок является получение отметки точки перегиба, взятой при вычислении уклона. Допускается расхождение в проектной отметке точки перегиба не более 0,03 м.

Заключительным контролем элементов продольного профиля, общей длины трассы и проектных отметок является проверка выполнения следующих равенств:

$$L_{\text{общ}} = \Sigma\Pi + \Sigma\text{К} = \Sigma L_{\text{пл}} + \Sigma L_{\text{укл}}; \quad \Sigma h = H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}},$$

где  $L_{\text{общ}}$  – общая длина трассы;

$\Sigma\Pi$  и  $\Sigma\text{К}$  – суммы прямых и кривых участков трассы соответственно;

$\Sigma L_{\text{пл}}$  и  $\Sigma L_{\text{укл}}$  – сумма длин горизонтальных и наклонных участков трассы;

$\Sigma h$  – алгебраическая сумма превышений вдоль проектной линии трассы;

$H_{\text{кон}}$  и  $H_{\text{нач}}$  – проектные отметки конечной и начальной точек трассы.

Заключительный контроль элементов продольного профиля и общей длины трассы обычно выполняют в табличной форме (таблица 4). Пример расчета показан для рисунка 7.

Т а б л и ц а 4 – Контроль элементов участка трассы и продольного профиля

Длина участков трассы				Уклоны		Превышения		Отметки
прямых	кривых	горизонтальные участки	наклонные участки	+	-	+	-	



145,00	149,23	100	200	0,020		4,00		$H_{\text{кон}} = 104,00$
105,77			100		0,010		1,00	$H_{\text{нач}} = 101,00$
250,77	149,23	100	300	0,020	0,010			$H_{\text{кон}} - H_{\text{нач}} =$ $= + 3,00$
$L_{\text{общ}} = 400 \text{ м}$		$L_{\text{общ}} = 400 \text{ м}$						$\Sigma h = + 3,00$

8 Для обеспечения производства земляных работ при строительстве дороги на каждом пикете и плюсовой точке профиля вычисляют рабочие отметки (высоты насыпи или глубины выемки) по формуле

$$a_i = H_{\text{пр}} - H_{\text{факт}},$$

где  $a_i$  – рабочая отметка в данной точке;

$H_{\text{пр}}$  и  $H_{\text{факт}}$  – соответственно проектные и фактические отметки на данной точке.

Например, рабочая отметка на ПК0 (см. рисунок 7)  $a_0 = 101,00 - 101,62 = -0,62 \text{ м}$ , а на ПК1  $-a_1 = 103,00 - 102,17 = +0,83 \text{ м}$ .

Рабочая отметка со знаком плюс выражает величину насыпи, и ее записывают над проектной линией (на расстоянии 1–3 см). Рабочая отметка со знаком минус выражает величину выемки, и ее записывают под проектной линией также на расстоянии 1–3 см на одном уровне.

9 Точки, в которых пересекается на профиле проектная и фактическая линии, называют точками нулевых работ, так как в них рабочая отметка равна нулю. Над точкой нулевых работ синим цветом записывают отметку, равную нулю, и проводят из нее (синим цветом) пунктирную линию до линии условного горизонта. Затем аналитически рассчитывают расстояния от нее до ближайших пикетов или плюсовых точек ( $x_1$  и  $x_2$  на рисунке 8) по формулам

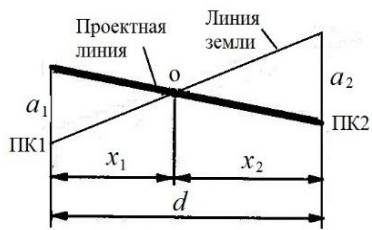


Рисунок 8 – Точка нулевых работ

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

где  $x_1$  и  $x_2$  – расстояния до точки нулевых работ соответственно от заднего и переднего пикета или плюсовой точки;

$|a_1|$  и  $|a_2|$  – рабочие отметки, взятые по модулю на этих пикетах или плюсовых точках;

$d$  – расстояние между пикетами или плюсовыми точками, между которыми находится точка нулевых работ.

Вычисление расстояний  $x_1$  и  $x_2$  контролируют по формуле  $x_1 + x_2 = d$ . Значения расстояний вычисляют с точностью до 0,1 м, а на продольный профиль записывают синим цветом, округляя до целых метров справа и слева от

пунктирной линии, опущенной из точки нулевых работ. Например, на продольном профиле расстояния до точки нулевых работ между пикетами ПК1 и ПК2 составят:  $x_1 = 0,62 \cdot 100 / (0,62 + 0,83) = 42,8$  м;  $x_2 = 0,83 \cdot 100 / (0,62 + 0,83) = 57,2$  м.

Контроль:  $x_1 + x_2 = 42,8 + 57,2 = 100$  м.

Продольный профиль трассы оформляют в следующих цветах:

- красным – все проектные данные (проектную линию, уклоны, проектные и рабочие отметки, план линии, ось трассы в графе «Ситуация») и расположение начального и конечного реперов на трассе;

- синим – точки нулевых работ, расстояния до них от пикетов или плюсовых точек и пунктирную линию из точки нулевых работ;

- черным – все остальные линии и обозначения.

Продольный профиль вычерчивают карандашом, шариковой или гелиевой ручкой. Пример оформления продольного профиля участка трассы дороги показан на рисунке 7).

**7 Составление поперечного профиля.** Поперечный профиль составляют на листе миллиметровой бумаги в масштабах: горизонтальный – 1:1000, а вертикальный – 1:100 (желательно на том же листе, где располагается продольный профиль трассы).

На поперечном профиле заполняют две графы – «Расстояния» и «Фактические отметки земли». Данные для заполнения этих граф берут из пикетажного журнала и журнала нивелирования поперечника на ПК0. Для построения поперечного профиля внизу под графой «Расстояния» подписывают номер пикета, на котором разбит поперечник (ПК0). Затем от этой точки откладывают расстояния в горизонтальном масштабе 1:1000 (в 1 см – 10 м), указанные в пикетажном журнале вправо и влево от оси трассы дороги до точек поперечника. Для приведенного поперечника эти расстояния равны: вправо – П26, П38, П50 и влево от оси трассы – Л10, Л30, Л50.

Проводят в полученных точках графы «Расстояния» вертикальные линии и подписывают в этой графе расстояния между соседними точками на поперечнике. Например, справа от ПК0 подписаны расстояния 26 м ( $38 - 26 = 12$  м;  $50 - 38 = 12$  м). Аналогично подписаны расстояния слева от ПК0.

В графу «Отметки земли» выписывают высоты соответствующих точек на поперечнике из журнала нивелирования поперечника, округляя их до 0,01 м. Затем оцифровывают вертикальную шкалу поперечного профиля в масштабе 1:100 (в 1 см – 1 м), отступая от линии условного горизонта не менее 3 см до самой низкой отметки поперечного профиля.

По фактическим отметкам земли откладывают по вертикальному масштабу соответствующие высоты точек на поперечнике и соединяют полученные точки ломаной линией, получая при этом поперечный профиль трассы. Над поперечным профилем подписывают его название и указывают масштабы его построения. Оформляют поперечный профиль черным цветом. Пример оформления поперечного профиля показан на рисунке 9.

**8 Построение схематического чертежа круговой кривой.** Чертеж круговой кривой строят на листе миллиметровой или чертежной бумаги (формат А4) в масштабе 1:1000. Для его построения используют вычисленные элементы круговой кривой для заданного угла поворота трассы ( $\gamma$ ) и радиуса  $R = 600$  м и таблицу «Расчет пикетажных значений главных точек кривой» (начало кривой – НК; середины кривой – СК и конца кривой – КК). Чертеж кривой строят в следующей последовательности. На листе бумаги выбирают точку (НК), и из нее проводят горизонтальную линию, на которой откладывают в масштабе 1:1000 величину тангенса (Т) кривой. При этом получают точку «Вершина угла поворота» (ВУП). Продлевают пунктирной линией горизонтальное направление, и с помощью транспортира откладывают от него на точке (ВУП) угол поворота трассы ( $\gamma$ ). Вдоль полученного направления откладывают величину тангенса и получают точку «Конец кривой» (КК). Проводят на ВУП линию, которая делит угол ( $180^\circ - \gamma$ ) пополам, и вдоль этой линии откладывают величину биссектрисы круговой кривой (Б), получая при этом точку середины кривой (СК). Затем в точках НК и КК проводят пунктиром линии, перпендикулярные к направлению тангенсов, на которых подписывают величину радиуса круговой кривой ( $R = 600$  м). Записывают на чертеже кривой пикетажные значения НК, СК и КК, а также указывают числовые величины элементов кривой ( $\gamma$ ,

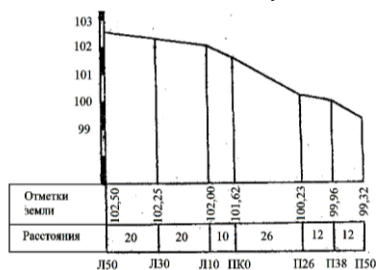


Рисунок 9 – Поперечный профиль на ПК0

числовые значения оформляют черным цветом. Пример оформления чертежа круговой кривой показаны на рисунке 10.

При сдаче контрольной работы «Техническое нивелирование участка трассы дороги» студент представляет следующие материалы:

$R, T, K, B$ ).

Из точки НК проводят через точку СК до точки КК дугу окружности, которая является элементом длины кривой (К) и оформляют ее красным цветом. Все остальные элементы на чертеже круговой кривой и соответствующие их

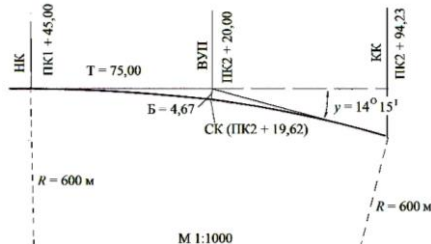


Рисунок 10 – Схема круговой кривой

1 Задание на контрольную работу с обработанными журналами нивелирования трассы дороги, журнал нивелирования поперечника и расчетом пикетажных значений главных точек кривой.

2 Продольный профиль трассы с результатами расчетов по нанесению на нем проектной линии дороги.

3 Поперечный профиль трассы.

4 Схематический чертеж круговой кривой с указанием размеров элементов и пикетажа главных точек круговой кривой.

### Лабораторная работа № 3

#### РАЗБИВОЧНЫЙ ЧЕРТЕЖ ДЛЯ ПЕРЕНЕСЕНИЯ ПРОЕКТА ЗДАНИЯ В НАТУРУ

**Цель работы** – закрепить теоретические знания по математическим расчетам при инженерно-геодезическом проектировании переноса сооружения на местность согласно его проекту способом полярных координат.

**Подготовка к работе** – изучить теоретический материал по перенесению сооружений в натуру планового положения точек.

Основными способами вынесения в натуру планового положения точек являются:

1 *Способ линейной засечки.* Положение точки  $P$  находят, откладывая одновременно два проектных расстояния  $d_1$  и  $d_2$  от пунктов сети  $A$  и  $B$  (рисунок 1, *а*). Способ удобен, когда для отложения расстояний пользуются мерными приборами (рулетками, лентами), а расстояния  $d_1$  и  $d_2$  не превышают длины мерного прибора.

2 *Способ прямой угловой засечки.* На местности, на опорных пунктах  $A$  и  $B$  теодолитом откладывают углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (рисунок 1, *б*). В пересечении двух направлений – сторон построенных углов – находят положение точки  $P$ . Способ применяют, например, при выносе на строящуюся опору моста ее центра. Установив на берегу в пунктах  $A$  и  $B$  теодолиты, откладывают от линии  $AB$  углы  $\beta_1$  и  $\beta_2$ , в результате чего ориентируют трубы на проектное положение центра опоры  $P$ . На опоре по указаниям наблюдателей с берега находят и закрепляют его положение.

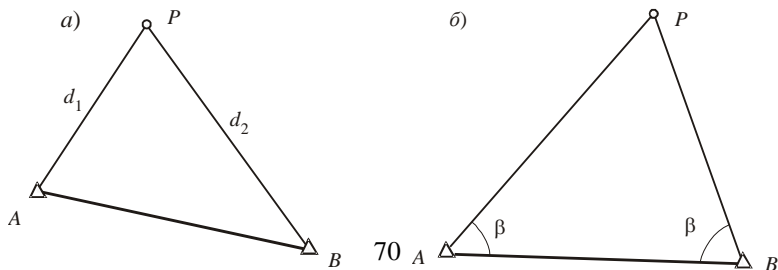


Рисунок 1 – Вынос на местность точек:

*a* – способом линейной засечки; *б* – способом прямой угловой засечки

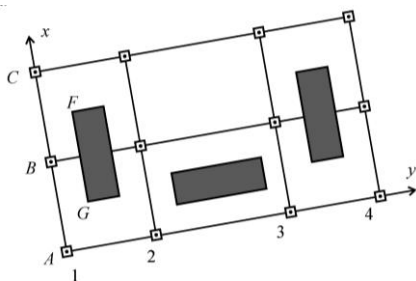
3 *Способ прямоугольных координат.* Его применяют, когда на местности закреплены координатные оси, например, линии строительной сетки. Для вынесения в натуру угла здания *F* (рисунок 2, *a*) вычисляют приращения координат от пункта строительной сетки *B1* до проектной точки *F* (см. рисунок 2, *б*):

$$\Delta x_F = x_F - x_{B1} \text{ и } \Delta y_F = y_F - y_{B1},$$

затем одно из приращений откладывают по линии сетки, а другое – перпендикулярно ей.

4 *Способ створной засечки.* Его используют, если на местности построена строительная сетка. Для определения положения точки *G* (см. рисунок 2, *б*) по двум сторонам строительной сетки откладывают отрезки  $\Delta x_G$ , по двум другим сторонам – отрезки  $\Delta y_G$ . Положение точки *G* определяется пересечением двух створов, для чего через зафиксированные на сторонах сетки точки натягивают две монтажные проволоки, показанные на рисунке штриховыми линиями. Обычно одним способом при вынесении точки на местность не ограничиваются. Для контроля вынос точки повторяют иным способом или тем же способом, но с использованием других геодезических пунктов.

*a)*



*б)*

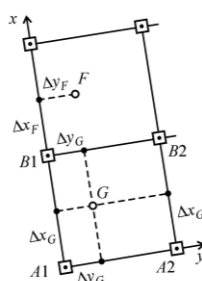


Рисунок 2 – Строительная сетка:

*a* – схема; *б* – вынос на местность точек способами прямоугольных координат и створов

5 *Способ полярных координат.* Положение проектной точки на местности находят путем построения на геодезическом пункте угла  $\beta$  и отложения горизонтального расстояния *d* (рисунок 3). Проектные значения разбивочных элементов (угла  $\beta$  и расстояния *d*) вычисляют по проектным координатам точки и известным координатам пункта *A*. Способ полярных координат нашел особенно широкое применение с появлением электронных тахеометров, позволяющих одним прибором одновременно отложить и проектный угол  $\beta$ , и расстояние *d*.

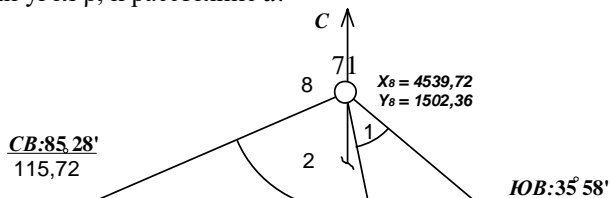


Рисунок 3 – Схема разбивки здания полярным способом

### **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

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 (см. рисунок 3).

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

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

На схеме разбивки показывается минимальное число основных точек – точки опорной геодезической сети, от которых будет производиться разбивка, а также все значения величин, которые необходимы в процессе работы, включая контрольные.

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

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

### **МАТЕРИАЛЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ**

- 1 Бланк задания.
- 2 Линейка.
- 3 Циркуль-измеритель.
- 4 Инженерный калькулятор.

- 5 Геодезический транспортир.  
6 Карандаш простой.

### ПОРЯДОК 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 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 1. решается обратная геодезическая задача двумя вариантами, используя формулы:

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

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

Таблица 1–Решение обратной геодезической задачи

Обозначения	Вычисления	Обозначения	Вычисления
1) $Y_A$	1371,40	2) $X_A$	4460,00
3) $Y_8$	1502,36	4) $X_8$	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°39'36"
10) $\sin \alpha$	- 0,85410	9) $\alpha_{8-A}$	238°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°39'36"
10) $d_{8-A}$	153,33	14) $\alpha_{8-A}$	238°39'36"

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.

Второй вариант рассчитывается по теореме Пифагора. Начинается расчет возведением в квадрат приращения координат с нахождением их суммы и 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 1–4:

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

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

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

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

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

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

Согласно рисунку 3 рассчитывается  $ВД = \sqrt{AB^2 + BC^2} = \sqrt{60^2 + 25^2} = 65 \text{ м}$ ,

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

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:  $\angle 1 = 94^\circ 37' 36''$ ;  $\angle 2 = 26^\circ 48' 24''$ ;  $\angle 3 = 85^\circ 22' 26''$ ;  $\angle 4 = 184^\circ 37' 34''$ ;  $d = 153,33 \text{ м}$ ,  $ВД = 65 \text{ м}$ ;  $ВК = 152,83 \text{ м}$ .

## К о н т р о л ь н а я   р а б о т а   № 4

### Т Е О Д О Л И Т Н А Я   С Ъ Ъ М К А

**Цель работы** – закрепить теоретические знания и приобрести практические навыки математической обработки полевых измерений, вычисления координат и составления плана участка теодолитной съёмки в масштабе 1:2000.

**Исходные данные.** Для съёмки участка местности по его границам проложен замкнутый теодолитный ход (рисунок 1), в котором измерены внутренние, правые по ходу, горизонтальные углы и длины линий (сторон).



Второй вариант рассчитывается по теореме Пифагора. Начинается расчет возведением в квадрат приращения координат с нахождением их суммы и 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.

Т а б л и ц а 1 – **Результаты полевых измерений**

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

Например, у студента шифр № 550.

1) Расчет дирекционного угла.

Номер шифра составляет количество минут. Необходимо его значение разделить на 60 (количество минут в градусе), в результате целая часть будет являться значением градуса, а остаток – минутами:

$$\begin{array}{r} 550/60 \\ \underline{54} \quad 9^\circ \\ 10' \end{array} \quad N = 9^\circ 10'$$

Тогда по условию задания  $\alpha_{1-2} = 220^\circ 12' + N = 220^\circ 12' + 9^\circ 10' = 229^\circ 22'$ .

2) 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 значения  $N = 5,5$  м. Тогда по условию задания

$$X_1 = 1864,73 + N = 1870,23 \text{ м}; \quad Y_1 = 4326,41 + N = 4331,91 \text{ м}.$$

## 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

75

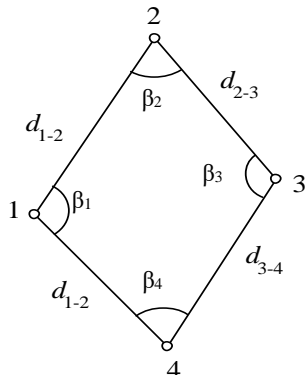


Рисунок 1 – Схема теодолитного хода

изображения на нем рельефа. Чаще всего теодолитная съемка выполняется на участках с равнинным рельефом и сложной ситуацией, с помощью теодолита и мерных приборов (лент, рулеток) или дальномера. Она нужна для составления крупномасштабных контурных планов внутриквартальной застройки городов, населенных пунктов в сельской местности, внутризаводских территорий, железнодорожных станций, подъездных путей промышленных предприятий, для получения горизонтального (контурного) плана местности. На участке, подлежащем съемке, создают геодезическое плановое съемочное обоснование проложением разомкнутых или замкнутых (в виде полигонов) теодолитных ходов или системы ходов с узловыми точками. Внутри полигонов при необходимости прокладывают диагональные ходы.

Теодолитные ходы (рисунок 1) по точности делят на 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). При необходимости сгущение съемочной сети может быть выполнено путем определения координат дополнительных точек засечками – полярной, линейной, угловой, опирающимися на пункты проложенных ранее теодолитных ходов.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Вычислить среднее значение горизонтального угла на точке 3 основного хода в журнале измерений.

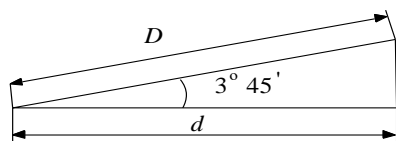


Рисунок 2 – Определение горизонтального проложения

Определить горизонтальные проложения для линии, имеющей угол наклона. Результаты измерения длины линии  $D$  между станциями 1–2 составляют  $304,91$  м, угол наклона –  $3^{\circ}45'$  (рисунок 2) необходимо

вычислить расстояние  $d$  – горизонтальное проложение, которое рассчитывается по формуле

$$d = D \cos v, \quad (1)$$

где  $D$  – измеренное расстояние, м;

$v$  – угол наклона.

Подставив численные значения в формулу (1), получим

$$d = 304,91 \cos 3^\circ 45' = 304,25 \text{ м.}$$

**1 Уравнивание углов теодолитного хода.** Математическая обработка результатов полевых измерений ведётся в специальной ведомости вычисления координат точек теодолитного хода (таблица 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 1.

Т а б л и ц а 2 – В е д о м о с т ь н а ч и с л е н и я к о о р д и н а т з а м к н у т о г о т е о д о л и т н о г о х о д а

Номер	Измеренный угол $\beta$	Исправленный угол $\beta_n$	Дирекционный угол $\alpha$	Румб $r$	Вычисленные приращения				Исправленные приращения				Координаты				
				Длина линии $d$	$\pm$	$\Delta X$	$\pm$	$\Delta Y$	$\pm$	$\Delta X_n$	$\pm$	$\Delta Y_n$	$\pm$	$X$	$\pm$	$Y$	
1	2	3	4	5	6		7		8		9		10		11		
1	+0,5 128°04,5'	128°05'	(212°07')														
			172,50		+0,07		+0,02										
	+0,5 25°26,5'	25°27'	212°07'	ЮЗ:32°07'	-	146,10	-	91,71	-	146,03	-	91,69		+	2370,37	-	2370,37
3	164°09,0'	164°09'	06°40'	СЗ:06°40'	+	99,93	+	11,68	+	99,97	+	11,69		+	2224,34	-	2462,06
			22°31'	СВ:22°31'	+	124,62	+	51,66	+	124,67	+	51,68		+	2324,31	-	2450,37
4	+0,5 42°18,5'	42°19'	160°12'	ЮВ:19°48'	-	78,64	+	28,31	-	78,61	+	28,32		+	2448,98	-	2398,37
															+	2370,37	-
1	-				$\sum \Delta X = +224,55$ $\sum \Delta Y = +91,65$ ; $\sum \Delta X_n = 0$ ; $\sum \Delta Y_n = 0$ ; $\sum \Delta X = -224,74$ $\sum \Delta Y = 91,71$ .												
				$\sum d = 491,60$	$f_x = -0,19$ $f_y = -0,06$ ; $f_d = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(0,19)^2 + (0,06)^2} = 0,20$ м; $f_{отн} = \frac{f_d}{\sum d} = \frac{0,20}{491,60} = \frac{1}{2460} \leq \frac{1}{2000}$ .												

$$\sum \beta_n = 359^\circ 58,5';$$

$$\sum \beta_r = 360^\circ 00,0';$$

$$f_{\beta} = -0^\circ 01,5';$$

$$f_{\beta_{отн}} = \pm 1' \sqrt{n} = \pm 1' \sqrt{4} = 2,0';$$

Затем подсчитывают практическую сумму измеренных углов  $\Sigma\beta_{\text{пр}}$  и сравнивают её с теоретическим значением  $\Sigma\beta_{\text{т}}$ , вычисляемым по формуле

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

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

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

$$f_{\beta} = \Sigma\beta_{\text{пр}} - \Sigma\beta_{\text{т}} = \Sigma\beta_{\text{пр}} - 180^\circ(n - 2). \quad (3)$$

Например, в замкнутом четырёхугольнике ( $n = 4$ ) практическая сумма измеренных углов  $\Sigma\beta_{\text{пр}} = 359^\circ58'$ . Теоретическая сумма углов составит  $\Sigma\beta_{\text{т}} = 180^\circ(n - 2) = 180^\circ(4 - 2) = 360^\circ00'$ . Тогда невязка  $f_{\beta} = 359^\circ58' - 360^\circ00' = -2'$ .

Полученную невязку сравнивают с допустимым значением, подсчитываемым по формуле

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1'\sqrt{n}, \quad (4)$$

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.

$$V_{\beta} = -f_{\beta} / n. \quad (5)$$

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

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

$$\beta_{\text{исп}} = \beta_i + V_{\beta}. \quad (6)$$

Сумма исправленных углов должна равняться теоретическому значению (для  $n = 4$ ,  $\Sigma\beta_{\text{т}} = 360^\circ00'$ ).

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

$$\alpha_{\text{посл}} = \alpha_{\text{пред}} + 180^\circ - \beta_{\text{исп}}, \quad (7)$$

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

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

*Например*, если исходный дирекционный угол стороны 1–2  $\alpha_{1-2} = 212^\circ 07'$ , то дирекционный угол следующей стороны составит

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_{2\text{исп}}; \quad \alpha_{2-3} = 212^\circ 07' + 180^\circ - 25^\circ 27' = 366^\circ 40' - 360^\circ = 6^\circ 40';$$

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_{3\text{исп}}; \quad \alpha_{3-4} = 6^\circ 40' + 180^\circ - 164^\circ 09' = 22^\circ 31'.$$

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

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{4-1} + 180^\circ - \beta_{\text{исп}}. \quad (8)$$

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 2).

**3 Вычисление румбов.** 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 3. *Например*, если дирекционный угол линии  $\alpha_{1-2} = 212^\circ 07'$  (III четверть), то значение румба этой линии будет  $r_{1-2} = 212^\circ 07' - 180^\circ$ , или  $r_{1-2} = \text{ЮЗ:}32^\circ 07'$  (см. таблицу 2, гр. 5).

**Т а б л и ц а 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	$0-90^\circ$	СВ	$r = \alpha$	+	+
II	$90-180^\circ$	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$	-	+
III	$180-270^\circ$	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$	-	-
IV	$270-360^\circ$	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$	+	-

**4 Вычисление приращений координат.** Приращения координат вычисляют по формулам

$$\Delta X = d \cos \alpha; \Delta Y = d \sin \alpha \quad (9)$$

или

$$\Delta X = d \cos r; \Delta Y = d \sin r, \quad (10)$$

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.

При вычислениях по формулам (9), (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 3. Например, при вычислении приращений координат для стороны 1–2, дирекционный угол которой равен  $212^\circ 07'$  (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 приращения координат занесены соответственно в гр. 6 и 7 (таблица 2).

### 5 Уравнивание приращений координат замкнутого теодолитного хода.

Невязки в приращениях координат  $f_x$  и  $f_y$  для замкнутого теодолитного хода определяют по формулам

$$f_x = \Sigma \Delta X; f_y = \Sigma \Delta Y. \quad (11)$$

Для этого в гр. 6 и 7 ведомости подсчитывают сумму приращений координат по оси  $X$  и  $Y$  со знаками плюс и 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:

$$f_d = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}; \quad (12)$$

$$f_{\text{отн}} = f_d / \Sigma d, \quad (13)$$

где  $\Sigma d$  – периметр теодолитного хода.

Относительная невязка должна быть равна  $1 / 2000$ . 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.

$$V_{xi} = \frac{-f_x d_i}{\sum d_i}; \quad (14)$$

$$V_{yi} = \frac{-f_y d_i}{\sum d_i}; \quad (15)$$

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

$d_i$  – горизонтальное проложение  $i$ -й стороны.

Вычисленные поправки округляют до 0,01 м и записывают со своим знаком над соответствующим приращением координат в гр. 6 и 7 (см. таблицу 2). Например,

$$V_{xi} = [ -(-0,19) \cdot 172,50 ] : 491,60 = +0,07 \text{ м};$$

$$V_{yi} = [ -(-0,06) \cdot 172,50 ] : 491,60 = +0,02 \text{ м}.$$

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

$$\sum V_{xi} = -f_x; \quad \sum V_{yi} = -f_y. \quad (16)$$

Например (см. таблицу 2, гр. 6), по оси  $X$   $\sum V_{\Delta x} = 0,07 + 0,04 + 0,05 + 0,03 = +0,19$ ;  $-f_x = -(-0,19) = +0,19$ .

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 учётом знаков обоих:

$$\Delta X_{\text{исп.}i} = \Delta X_i + V_{xi}; \quad \Delta Y_{\text{исп.}i} = \Delta Y_i + V_{yi}. \quad (17)$$

Например, для стороны 1–2 исправленные приращения будут

$$\Delta X_{\text{исп}} = -146,10 + 0,07 = -146,03 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{\text{исп}} = -91,71 + 0,02 = -91,69 \text{ м}.$$



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

$$\sum \Delta X_{\text{исп}} = 0; \quad \sum \Delta Y_{\text{исп}} = 0. \quad (18)$$

**6 Вычисление координат точек теодолитного хода.** Вычисленные по шифру студента исходные координаты точки 1 ( $X_1$  и  $Y_1$ ) записывают в гр. 10 и 11, в строку против точки 1 (см. таблицу 2.), Координаты других точек вычисляют последовательно по формулам

$$X_{\text{посл}} = X_{\text{пред}} + \Delta X_{\text{исп}}; \quad Y_{\text{посл}} = Y_{\text{пред}} + \Delta Y_{\text{исп}}, \quad (19)$$

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

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

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

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

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

Тогда координаты точки 3 будут:

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

Окончательным контролем правильности произведенных вычислений является повторное получение координат исходной точки 1 по формулам (19), используя координаты точки 4 и приращения координат  $\Delta X_{4-1 \text{ исп}}$ ,  $\Delta Y_{4-1 \text{ исп}}$ . Например (см. таблицу 2):

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

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

Вычисленные координаты  $i$ -й точки заносят в гр. 10 и 11, в строку, соответствующую номеру  $i$ -й точки (см. таблицу 2). Затем приступают к построению плана теодолитной съёмки.

**7 Составление и оформление плана теодолитной съёмки.** План теодолитной съёмки составляют на листе чертёжной бумаги размером 30x30 см в масштабе 1 : 2000 в такой последовательности:

а) построение поперечного масштаба (при отсутствии масштабной линейки (рисунок 8);

б) построение координатной сетки (см. рисунок 7);

в) нанесение вершин теодолитного хода по их координатам (см. рисунок 7);

г) нанесение на план ситуации местности согласно абрису (см. рисунки 3–6) и оформление плана участка в условных знаках (см. рисунок 8).



Рисунок 3 – Абрис линии 1–2

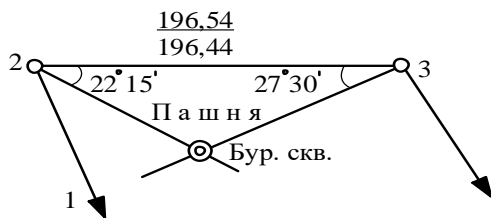


Рисунок 4 – Абрис линии 2–3

Съемка озера с точки 3

№	Угол	Расстояния
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

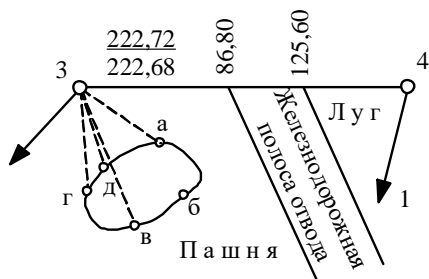


Рисунок 5 – Абрис линии 3–4



Рисунок 6 – Абрис линии 4-4

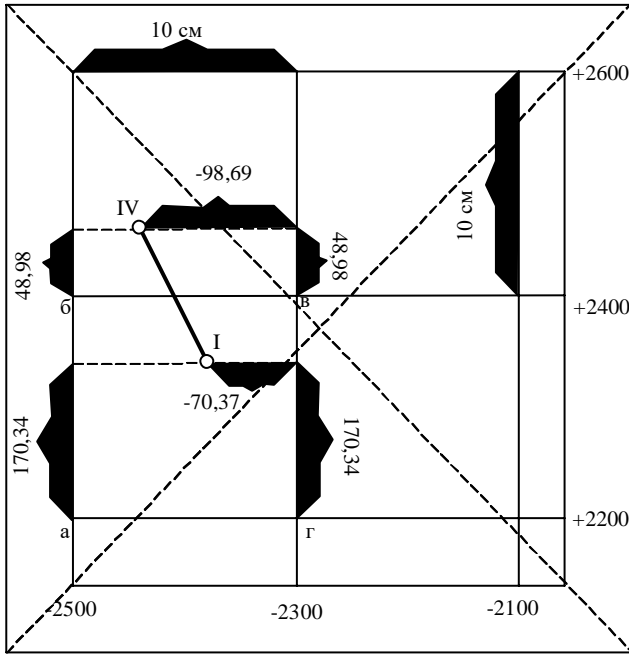


Рисунок 7 – Построение координатной сетки и нанесение точек теодолитного хода с помощью измерителя и масштабной линейки

Рассмотрим методику составления плана теодолитной съёмки.

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 соединяют наклонными прямыми (см. рисунок 8), получая, таким образом, нормальный поперечный масштаб. Каждому отрезку на диаграмме поперечного масштаба в заданном численном масштабе 1 : 2000 соответствует определённый 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. Подъём по наклонной линии на 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 8 отмечено расстояние  $a - б$ , равное 93,20 м.

б) **Построение координатной сетки.** Координатную сетку строят в виде квадратов со стороной 10 см при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки (поперечного масштаба). Для этого на листе чертёжной бумаги проводят карандашом (толщиной линий 0,1 мм) две диагонали (см. рисунок 7). От точки их пересечения на проведенных линиях откладывают равные расстояния в направлениях каждого из четырёх 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 м. Оцифровку производят с таким расчётом, 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. При отрицательных ординатах оцифровка сетки по оси  $Y$  возрастает по абсолютной величине справа налево (см. рисунок 7).

в) **Нанесение на план точек теодолитного хода.** Точки теодолитного хода наносят на план по координатам их вершин. Для этого предварительно определяет, в каком квадрате находится точка хода, сообразуясь с её координатами и координатами вершин сетки. Например, на рисунке 7 точка  $I$  находится в квадрате  $a, б, в, г$ . Для её построения вдоль линий  $a, б$  и  $г, в$  откладывают циркулем-измерителем по масштабной линейке (поперечному масштабу) разность абсцисс точки  $I$  и соответствующей линии сетки, т.е.

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

Соединяют полученные точки линией и вдоль неё откладывают значение разности ординат точки и линии сетки, т.е.

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

Полученную точку накалывают и обводят кружком диаметром 1,5 мм. Аналогично производят построение следующей точки теодолитного хода. Правильность построения точек контролируют путём 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 8).

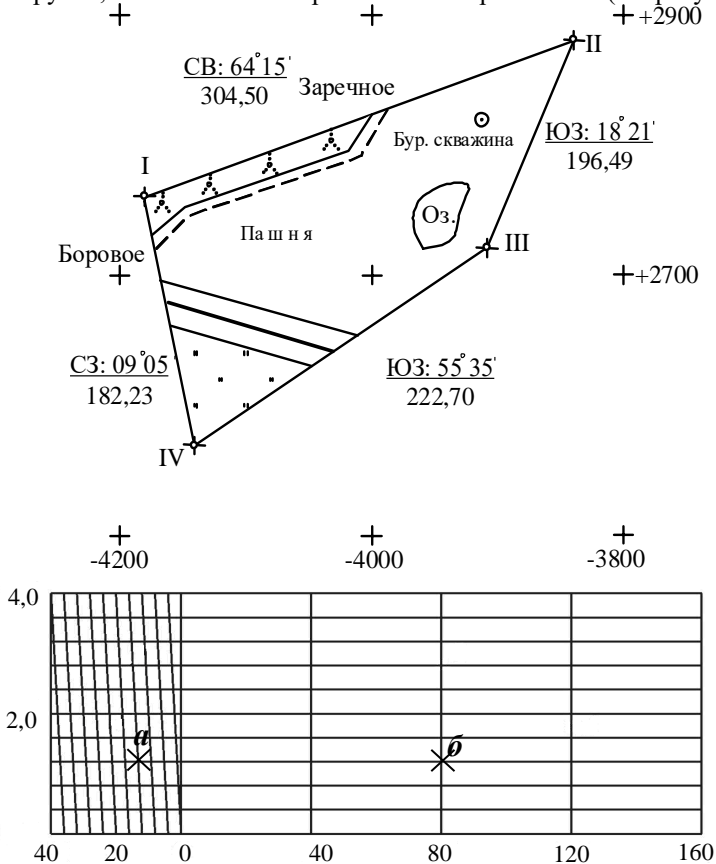


Рисунок 8 – План участка теодолитной съемки с поперечным масштабом

Для выявления грубых ошибок построения сторон теодолитного хода целесообразно при помощи транспортира определять их румбы и сравнивать полученные значения с имеющимися в гр. 5 ведомости (см. таблицу 2).

### 8 Нанесение на план ситуации местности и оформление плана.

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

*Способ прямоугольных координат.* Его 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  $y$ ). Перпендикуляры более указанных значений подкрепляются линейными засечками, длина которых не должна превышать длины мерного прибора. Расстояния измеряют рулеткой или лентой (см. рисунок 3).

*Способ створов.* Частный случай способа прямоугольных координат. В этом случае координата  $Y = 0$  (см. рисунки 3, 5, 6).

*Способ угловой засечки.* Применяют при съемке удаленных или недоступных объектов, где невозможно производить непосредственное измерение расстояний (см. рисунок 4). Для определения положения снимаемой точки измеряют два угла, примыкающих к базису. Базисом может быть сторона либо 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  $30$  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 – мерной лентой, стальной рулеткой, оптическим дальномером или электронным тахеометром.

Для определения положения точки  $a$  озеро измеряют горизонтальный угол  $\beta$  и расстояние  $d$  (по рейке) (см. рисунок 4).

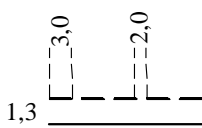
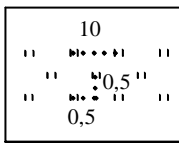

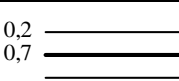
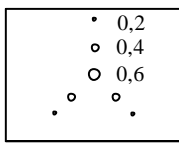
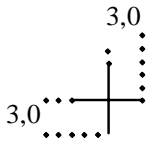
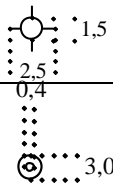
Результаты выполненных в ходе съемки измерений записывают в полевой журнал. Одновременно составляют *абрис* – схематический чертеж, на котором в произвольном масштабе показывают расположение пунктов съемочной сети и снимаемых объектов, характеристики снимаемых объектов и результаты измерений.

Ситуацию (контур местности) наносят на план от вершин и сторон теодолитного хода по результатам измерений, представленных в абрисах на рисунках 3–6. 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  $1 : 2000$ . План оформляют в туши или в карандаше.

Вспомогательные построения на плане не показывают. Толщина линий на плане не должна превышать 0,2 мм. Координатную сетку в виде пересечения координатных линий, а также береговую линию озера показывают зелѐным цветом, а площадь озера закрашивают бледно-синим цветом.

Условные знаки, необходимые для оформления плана, представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Образец некоторых условных знаков для масштаба плана 1:2000

Название условных знаков	Вид изображения 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	
<i>Примечание</i> – Береговые линии рек и озер изображаются зеленым, площади водоемов – бледно-синим цветами.	

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Курс инженерной геодезии : учеб.-метод. пособие. Ч. I / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2010. – 144 с.
- 2 Курс инженерной геодезии : учеб.-метод. пособие. Ч. II / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2011. – 186 с.
- 3 Инженерная геодезия : учеб.-метод. пособие для студ. трансп. спец. / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 310 с.
- 4 **Подшивалов, В.П.** Инженерная геодезии : учеб. для студ. вузов по строит. спец. / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск : Выш. шк. 2011. – 463 с.
- 5 Инженерная геодезия : учеб. для студ. негеодезических вузов / Д. Ш. Михелев [и др.]; под ред. проф. Д. Ш. Михелева. – М. : АСАДЕМА, 2004. – 456 с.
- 6 Практикум по инженерной геодезии / Е. К. Атрошко [и др.]. – Гомель : БелГУТ, 2005. – 55 с.
- 7 Инженерная геодезия (с основами геоинформатики) : учеб. для студ. вузов ж.-д. трансп. / С. И. Матвеев [и др.]; под общ. ред. проф. С. И. Матвеева. – М. : ГОУ «УМЦ ЖД», 2007. – 554 с.

Учебное издание

*АТРОШКО Евгений Кузьмич*  
*МАРЕНДИЧ Валентин Борисович*  
*ДРАЛОВА Ирина Петровна*

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИИ

Учебно-методическое пособие

Редактор И. И. Э в е н т о в  
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать 15.09.2016 г. Формат 60x84  $\frac{1}{16}$ .  
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 5,05. Тираж 100 экз.  
Зак. № . Изд. № 94.



Издатель и полиграфическое исполнение:  
Белорусский государственный университет транспорта.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,  
распространителя печатных изданий  
№ 1/361 от 13.06.2014.  
№ 2/104 от 01.04.2014.  
Ул. Кирова, 34, 246653, Гомель