

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ,
НАУКИ И КАДРОВОЙ ПОЛИТИКИ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
ОРДЕНОВ ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

П. В. Другаков, А. А. Титюркина

ГЕОДЕЗИЯ

В двух частях

Часть 1

*Рекомендовано учебно-методическим объединением
в сфере высшего образования Республики Беларусь
по образованию в области сельского хозяйства
в качестве учебно-методического пособия
для студентов учреждений образования,
обеспечивающих получение общего высшего образования
по специальности 6-05-0532-03 Землеустройство и кадастры*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2026

УДК 528(075.8)

ББК 26.12я73

Д76

*Рекомендовано методической комиссией
землеустроительного факультета 25.11.2024 (протокол № 3)
и Научно-методическим советом Белорусской государственной
сельскохозяйственной академии 26.12.2024 (протокол № 5)*

Авторы:

кандидат технических наук, доцент *П. В. Другаков*;
ассистент *А. А. Титюркина*

Рецензенты:

кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры
почвоведения и геоинформационных систем
Белорусского государственного университета *Д. А. Чиж*;
главный инженер УП «Проектный институт Витебскгипрозем»
В. В. Миронович

Другаков, П. В.

Д76

Геодезия : в 2 ч. Ч. 1 : учебно-методическое пособие /
П. В. Другаков, А. А. Титюркина. – Горки : Белорус. гос. с.-х.
акад., 2026. – 130 с.

ISBN 978-985-882-860-8.

Изложены краткие теоретические сведения и представлен комплекс лабораторных работ по геодезии. Приведены варианты заданий и образцы их выполнения.

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение общего высшего образования по специальности 6-05-0532-03 Землеустройство и кадастры.

УДК 528(075.8)

ББК 26.12я73

ISBN 978-985-882-860-8 (ч. 1)

ISBN 978-985-882-859-2

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2026

ВВЕДЕНИЕ

Геодезия – одна из профилирующих дисциплин в подготовке инженеров в области землеустройства и земельного кадастра. Она служит основой для изучения: фотограмметрии и дистанционного зондирования Земли, геоинформационных систем и технологий, геодезического обеспечения землеустроительных и кадастровых работ, межхозяйственного и внутрихозяйственного землеустройства, земельного кадастра, организации и устройства территории сельских населенных пунктов и других специальных курсов.

Данное учебно-методическое пособие разработано в соответствии с действующей учебной программой дисциплины «Геодезия» для специальности «землеустройство и кадастры» с целью закрепления теоретического курса и приобретения практических навыков при самостоятельном выполнении лабораторных работ и прохождении учебной геодезической практики. Изложение материала в пособии отражает накопленный учебно-методический опыт преподавания этой дисциплины на кафедре геодезии и фотограмметрии учреждения образования «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия».

Пособие состоит из двух частей. Главное внимание в содержании первой части уделено работе с топографическими картами и планами, поверкам и юстировкам современных геодезических приборов, построению профилей и нивелированию поверхностей. Во второй части рассматриваются вопросы создания геодезических сетей, выполнения топографических съемок, математической обработки результатов геодезических измерений, автоматизации геодезических работ.

Изложение материала в пособии построено таким образом, чтобы максимально облегчить самостоятельную работу студентов при изучении практических основ геодезии.

Применению учебно-методического пособия для указанных целей должно предшествовать изучение соответствующих разделов учебных пособий по дисциплине «Геодезия» [1–5].

Лабораторная работа 1. ИЗУЧЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И КАРТ

Цель: приобрести практические навыки по изучению топографических планов и карт и решению задач по ним.

Основные теоретические положения по данной работе, которые необходимо освоить перед ее выполнением, изложены в приведенной в конце методического пособия литературе [1, 2].

Лабораторная работа включает пять заданий:

- изучение масштабов планов и карт;
- определение прямоугольных и географических координат заданных точек на карте;
- определение номенклатуры топографических карт;
- изучение содержания топографических планов и карт;
- ориентирование.

Для всех заданий, связанных с числовым решением, приведены данные в тридцати вариантах и пояснения к их решению. Выполненные задания каждый студент сдает на проверку преподавателю в недельный срок после завершения их выполнения.

Задание 1.1. Изучение масштабов планов и карт

Цель: изучить масштабы топографических планов и карт, научиться пользоваться поперечным масштабом, измерять на картах и планах горизонтальные отрезки с требуемой точностью.

Решение задач по определению длин линий на планах и картах

Масштабом называется отношение длины линии на карте или плане к горизонтальному проложению соответствующей линии на местности. Выражение масштаба может быть численным (1:50 000), именованным (в 1 см 500 м) и поперечным (линейным).

Решение задач выполняется на основании соотношения (1.1), показывающего, во сколько раз горизонтальное проложение линии на местности (S_m) уменьшено при нанесении на план (рис. 1.1):

$$\frac{1}{M} = \frac{S_n}{S_m} = \frac{1}{S_m : S_n}, \quad (1.1)$$

где $S_{\text{п}}$ – длина отрезка на плане;

$S_{\text{м}}$ – горизонтальное проложение линии на местности.

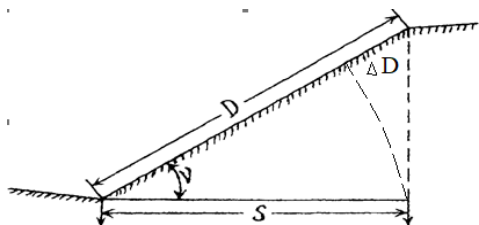


Рис. 1.1. Проектирование физической линии (D) на плоскость горизонта (S)

Горизонтальное проложение линии вычисляется по следующим формулам:

$$S_{\text{м}} = D \cos v \quad (1.2)$$

или

$$S_{\text{м}} = D - \Delta D, \quad (1.3)$$

$$\Delta D = 2D \sin^2 v / 2, \quad (1.4)$$

где D – длина наклонной линии местности;

v – угол наклона линии местности к горизонту.

Задача 1. Длина линии на местности измерена дважды, при этом получены результаты D' и D'' . Угол наклона ее к горизонтальной плоскости равен v , на плане длина линии равна величине $S_{\text{п}}$. (Значения величин D' , D'' , $S_{\text{п}}$ и v приведены по вариантам в табл. 1.1.)

Вычислить:

- среднее значение измеренной длины линии $D_{\text{ср}}$;
- горизонтальное проложение линии на местности $S_{\text{м}}$;
- численный масштаб плана 1:М.

Таблица 1.1. Значения D' , D'' , $S_{\text{п}}$ и v по вариантам

Показатель	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D' (м)	125,15	210,28	152,40	312,06	617,40	370,18	149,65	210,02	507,00	501,30
D'' (м)	125,21	210,36	152,32	311,92	617,20	370,06	149,57	209,92	507,30	501,90
v	2°10'	3°15'	2°30'	3°00'	4°10'	1°50'	2°45'	5°05'	2°00'	4°20'
$S_{\text{п}}$ (см)	6,25	4,02	1,52	6,23	2,46	18,50	2,99	20,91	2,03	1,02

Продолжение табл. 1.1

Показатель	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
D' (м)	100,80	310,05	50,24	97,84	84,40	485,40	385,95	680,20	48,20	89,95
D'' (м)	100,74	309,91	50,18	97,78	84,46	485,60	384,97	679,90	48,26	90,02
ν	2°25'	2°40'	3°10'	5°35'	2°40'	3°38'	2°18'	1°55'	2°12'	4°15'
S_n (см)	5,03	15,48	10,01	9,74	16,87	9,69	1,54	1,36	4,82	17,95

Окончание табл. 1.1

Показатель	Вариант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
D' (м)	308,10	585,40	278,00	68,15	354,16	301,04	54,16	584,10	68,18	305,62
D'' (м)	307,90	585,60	278,16	68,11	354,20	300,92	54,20	583,80	68,24	305,51
ν	1°50'	3°35'	2°55'	2°58'	4°15'	3°00'	4° 16'	4°15'	5°35'	5°52'
S_n (см)	2,05	2,34	5,55	1,36	17,70	15,03	27,01	11,65	13,58	1,22

Задача 2. Длина линии на плане масштаба 1:М равна S_n (значения S_n и М по вариантам приведены в табл. 1.2). Определить горизонтальное проложение этой линии на местности S_m .

Таблица 1.2. Значения S_n и М по вариантам

Показатель	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_n (см)	4,17	3,21	2,18	5,57	6,02	7,24	8,45	9,17	1,93	2,80
М	2 000	1 000	5 000	500	200	25 000	10 000	2 000	5 000	1 000

Продолжение табл. 1.2

Показатель	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S_n (см)	3,41	5,09	6,21	7,18	2,14	10,16	21,05	4,18	0,58	6,85
М	200	500	1 500	50 000	100	10 000	5 000	2 000	500	15 000

Окончание табл. 1.2

Показатель	Вариант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S_n (см)	8,11	9,42	11,93	3,92	9,23	5,49	1,67	7,85	5,87	6,26
М	25 000	100	50 000	2 000	1 000	10 000	500	200	1 000	5 000

Задача 3. Горизонтальное проложение линии на местности соответствует S_m (значения S_m и M даны по вариантам в табл. 1.3). Вычислить длину этой линии S_n на плане масштаба 1: M .

Таблица 1.3. Значения S_m и M по вариантам

Показатель	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_m (м)	125,41	127,80	58,69	75,18	98,31	430,18	380,25	360,11	457,10	85,12
M	2000	1000	500	200	2000	10000	5000	1000	2000	100

Продолжение табл. 1.3

Показатель	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S_m (м)	100,40	645,41	86,95	67,59	157,84	48,59	85,94	367,51	684,10	845,50
M	500	25 000	2 000	1 000	5 000	100	200	10 000	25 000	50 000

Окончание табл. 1.3

Показатель	Вариант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S_m (м)	320,12	125,14	240,10	89,95	95,64	270,09	68,45	325,04	675,48	321,39
M	15 000	5 000	2 000	1 000	500	2 000	100	15 000	25 000	10 000

Измерение длин линий с применением поперечного масштаба

Задача 4. Построить на бумаге четыре треугольника произвольных размеров. Вершины треугольников отметить наколами иглой и обвести кружками диаметром 1,0 мм. Пользуясь масштабной линейкой и измерителем, определить длины сторон треугольников, считая, что первый треугольник изображен на плане масштаба 1:2 000; второй – 1:5 000; третий – 1:10 000; четвертый – 1:25 000.

Для того чтобы по поперечному масштабу измерить или отложить отрезок заданной длины, в масштабе карты определяют величину его основания. По цифровым подписям линий, на которых располагаются иглы измерителя, определяется количество целых оснований (AB), десятые (av) и сотые доли ($a'v'$) основания. Так, основание, равное 2 см на карте масштаба 1:25 000, соответствует 500 м местности ($AB = 500$ м местности; для масштаба 1:5 000 – 100 м. Например, нужно отложить расстояние 96,87 м в масштабе 1:2 000. Так как в этом случае 1 см на плане соответствует 20 м на местности, то большое основание равно 40 м, малое – 4 м. Следовательно, поднимаясь на одно деление вверх,

будем увеличивать длину отрезка линии на 0,4 м. Берем измерителем два основания ($40 \text{ м} \cdot 2 = 80 \text{ м}$), остается 16,8 м. Отодвигаем левую иглу на 4 малых деления ($4 \text{ м} \cdot 4 = 16 \text{ м}$), остается 0,8 м. Перемещаем обе иглы вверх на два деления: ($0,4 \cdot 2 = 0,8$) $80 + 16 + 0,8 = 96,8$.

На рис. 1.2 данному расстоянию соответствует отрезок AN .

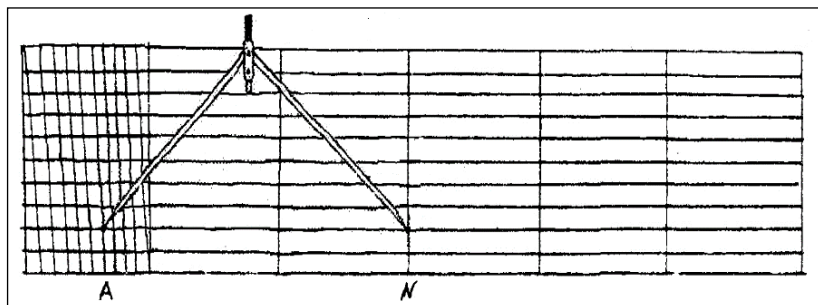


Рис. 1.2. Измерение длины линии по поперечному масштабу

Пример 1. Раствор измерителя равен 3 основаниям, 6 десятым и 7 сотым основания. Измерение проводилось по карте масштаба 1:25 000. Длина основания поперечного масштаба – 2 см. Следовательно, одно основание в данном масштабе составляет 500 м. Таким образом, длина линии будет равна: $S = 3 \cdot AB + 6 \cdot ab + 7 \cdot a'b'$, $S = 3 \cdot 500 \text{ м} + 6 \cdot 50 \text{ м} + 7 \cdot 5 \text{ м} = 1\,835 \text{ м}$.

Пример 2. Отложить на карте масштаба 1:10 000 отрезок, равный 654 м. Основание поперечного масштаба равно 2 см, что в масштабе карты составляет 200 м. Тогда на карте отрезок, соответствующий 654 м ($654 \text{ м} : 200 \text{ м} = 3,27$) будет равен 3 основаниям, 2 десятым и 7 сотым основания.

Вычисление графической точности масштабов

Задача 5. Определить графическую точность масштабов 1:500; 1:1 000; 1:2 000; 1:5 000; 1:10 000; 1:25 000; 1:50 000; 1:100 000.

Точность графических построений характеризуется величиной 0,1 мм. Этот отрезок называется графической точностью масштаба (t), а расстояние на местности, соответствующее 0,1 мм на карте, – предельной точностью масштаба:

$$t = 0,1M. \quad (1.5)$$

Например, предельная точность масштаба 1:10 000 составляет 1 м.

Задание 1.2. Определение прямоугольных и географических координат заданных точек на карте

Цель: приобрести практические навыки определения прямоугольных и географических координат точек на топографических картах.

Прежде чем приступить к выполнению задания, следует ознакомиться с зарамочным оформлением карт, приведенным оформлением топографических карт, расположение элементов которого представлено на рис. 1.3. Следует добавить, что легенда для карт может находиться справа от картографического изображения или снизу, в зависимости от масштаба.

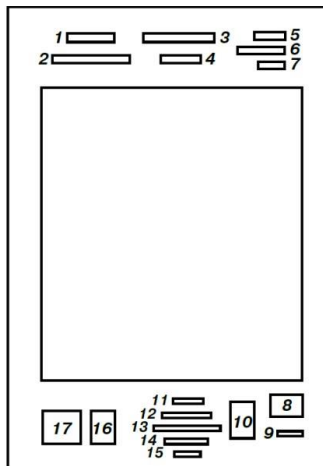


Рис. 1.3. Расположение элементов зарамочного оформления карт масштабов 1:10 000–1:500 000: 1 – система координат; 2 – название республики и области, территория которых изображена на данном листе карты; 3 – наименование ведомства, подготовившего и издавшего карту; 4 – название наиболее значительного населенного пункта; 5 – гриф карты; 6 – номенклатура листа карты (цифровая и буквенно-цифровая); 7 – год издания карты; 8 – год съемки или составления и исходные материалы, по которым составлена карта; 9 – исполнители; 10 – шкала заложений; 11 – численный масштаб; 12 – величина масштаба; 13 – линейный масштаб; 14 – высота сечения; 15 – система высот; 16 – график ориентирования; 17 – данные о магнитном склонении, сближении меридианов и годовом изменении магнитного склонения

Определение прямоугольных координат заданных точек

Задача 6. Определить прямоугольные координаты трех точек, заданных на топографической карте. Данные занести в табл. 1.4.

Для определения прямоугольных координат заданной точки 1 первоначально определяют координаты юго-западного угла квадрата (X_0 , Y_0), в котором находится определяемая точка, выражая их значения в метрах. Например, на рис. 1.4 по подписям километровой сетки можно определить координаты юго-западного квадрата, в котором находится точка 1. Они равны: $X_0 = 6\,067\,000$ м; $Y_0 = 4\,311\,000$ м.

Далее из заданной точки 1 опускают перпендикуляры на стороны квадрата, измеряют их длину в масштабе карты и получают значения приращений координат ΔX и ΔY . Приращения координат искомой точки 1 равны: $\Delta X = 378$ м; $\Delta Y = 542$ м.

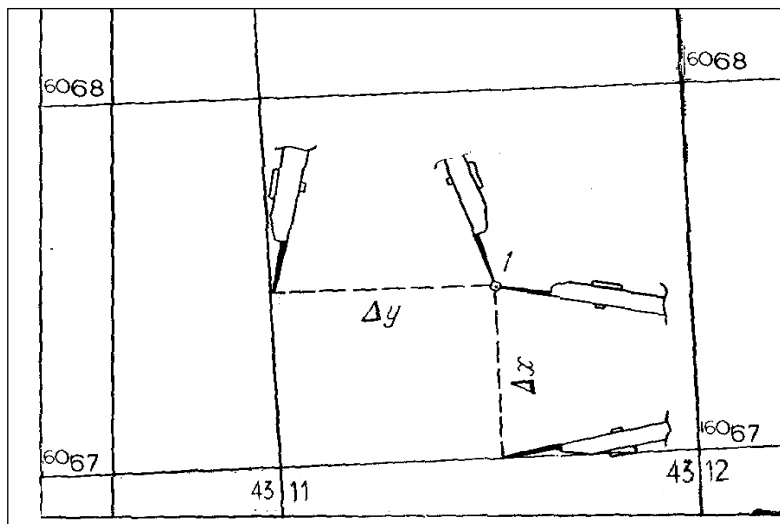


Рис. 1.4. Определение прямоугольных координат заданной на карте точки

Затем по формулам вычисляют прямоугольные координаты искомой точки (X_1 , Y_1):

$$X_1 = X_0 + \Delta X, \quad (1.6)$$

$$Y_1 = Y_0 + \Delta Y. \quad (1.7)$$

С учетом численных значений они будут равны:

$$X_1 = 6\,067\,000 + 378 = 6\,067\,378 \text{ м},$$

$$Y_1 = 4\,311\,000 + 542 = 4\,311\,542 \text{ м}.$$

После определения координат трех точек необходимо измерить расстояния между ними, а также по координатам точек вычислить приращения координат и длины линий:

$$\Delta x_i = X_{i+1} - X_i;$$

$$\Delta y_i = Y_{i+1} - Y_i;$$

$$S_{\text{выч}} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}.$$

Результаты измерений и расчетов представить в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Определение прямоугольных координат

Номер точки	Координаты, м		Приращение координат, м		$S_{\text{изм}}, \text{ м}$	$S_{\text{выч}}, \text{ м}$
	X	Y	Δx	Δy		
1	6 067 378	4 311 542				
			+858	+626	1 062	1 062,09
2	6 068 236	4 312 168				
			-1 112	+584	1 256	1 256,03
3	6 067 124	4 312 752				
			+254	-1 210	1 730	1 729,95
1	6 067 378	4 311 542				

Определение географических координат заданных точек

Задача 7. Определить географические координаты точек, заданных на топографической карте.

Для определения географических координат точек используют минутную рамку и подписи широты и долготы углов внутренней рамки, которая представляет собой отрезки дуг меридианов и параллелей (рис. 1.5). Минутные отрезки разделены точками на 6 частей, величина которых составляет 10".

Например, на рис. 1.5 прямыми линиями соединены одноименные минутные деления значений широты (41' и 42') и долготы (05' и 06'). Таким образом выделится одноминутная трапеция. Далее через определяемую точку *N* проводят меридиан *AB* и параллель *CD*, после чего определяют их градусную величину. Так, на рис. 1.4 широта ближай-

шей к точке N южной параллели $B_0 = 54^\circ 41'$, а долгота западного меридиана $L_0 = 18^\circ 05'$. Отрезки ΔB и ΔL – приращения географических координат в секундах ($''$). Чтобы определить значения ΔB и ΔL , необходимо измерить длину одномоментных отрезков меридиана AB и параллели CD , а также отрезки AN и CN , соответствующие интервалам ΔB и ΔL .

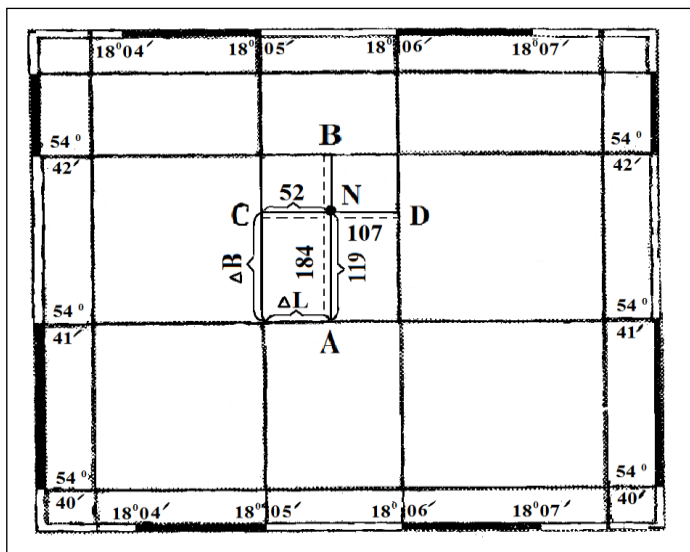


Рис. 1.5. Определение географических координат

Так, если отношения

$$\frac{AN}{AB} = \frac{\Delta B}{60''} \quad \text{и} \quad \frac{CN}{CD} = \frac{\Delta L}{60''}, \quad (1.8)$$

Тогда

$$\Delta B'' = \frac{AN \cdot 60''}{AB} \quad \text{и} \quad \Delta L'' = \frac{CN \cdot 60''}{CD}. \quad (1.9)$$

Далее по формулам вычисляют географические координаты искомой точки:

$$B_N = B_0 + \Delta B, \quad (1.10)$$

$$L_N = L_0 + \Delta L. \quad (1.11)$$

Пример. Пусть линия $AN = 119$ мм, $AB = 184$ мм, $CN = 52$ мм, а линия $CD = 107$ мм, при этом $B_0 = 54^\circ 41'$, $L_0 = 18^\circ 05'$. Тогда географические координаты искомой точки:

$$B_N = 54^\circ 41' + \frac{119 \cdot 60''}{184} = 54^\circ 41'38,5''$$

и

$$L_N = 18^\circ 05' + \frac{52 \cdot 60''}{107} = 18^\circ 05'30,5''.$$

Задание 1.3. Определение номенклатуры топографических карт

Цель: изучить систему разграфки и номенклатуры топографических карт, определить номенклатуру топографических карт по заданным географическим координатам точки.

Задача 8. Определить номенклатуру листов карт масштаба 1:10 000 и 1:2 000, на которых расположена точка с геодезическими координатами B и L . (Значения B и L по вариантам даны в табл. 1.5.) Решение пояснить графическими построениями:

- вычертить трапецию с полученной номенклатурой;
- подписать градусные обозначения меридианов и параллелей, ограничивающих трапеции карт указанных масштабов;
- определить долготы осевых меридианов соответственно шести- и трехградусной зон, в которых находится рассматриваемая точка.

Таблица 1.5. Значения B и L по вариантам

Показатель	Вариант					
	1	2	3	4	5	6
B	$54^\circ 28'18''$	$56^\circ 28'25''$	$54^\circ 00'13''$	$55^\circ 00'13''$	$53^\circ 18'10''$	$55^\circ 27'12''$
L	$30^\circ 18'10''$	$30^\circ 29'15''$	$31^\circ 05'10''$	$36^\circ 07'18''$	$32^\circ 00'21''$	$34^\circ 05'19''$

Продолжение табл. 1.5

Показатель	Вариант					
	7	8	9	10	11	12
B	$53^\circ 17'19''$	$52^\circ 01'28''$	$53^\circ 25'05''$	$55^\circ 05'47''$	$50^\circ 18'27''$	$52^\circ 01'31''$
L	$33^\circ 06'28''$	$35^\circ 26'19''$	$30^\circ 51'19''$	$31^\circ 21'49''$	$32^\circ 18'19''$	$33^\circ 16'17''$

Продолжение табл. 1.5

Показатель	Вариант					
	13	14	15	16	17	18
<i>B</i>	53°19'51"	56°18'49"	49°51'02"	56°19'48"	57°29'31"	55°00'11"
<i>L</i>	34°18'45"	30°19'01"	39°18'05"	30°16'10"	29°18'10"	28°59'47"

Продолжение табл. 1.5

Показатель	Вариант					
	19	20	21	22	23	24
<i>B</i>	58°44'10"	52°11'18"	54°21'09"	50°18'45"	51°19'22"	50°28'35"
<i>L</i>	33°18'40"	31°46'11"	30°42'00"	35°11'27"	31°17'51"	38°00'09"

Окончание табл. 1.5

Показатель	Вариант					
	25	26	27	28	29	30
<i>B</i>	53°19'40"	57°10'00"	56°35'18"	49°11'02"	48°19'15"	55°29'10"
<i>L</i>	30°14'28"	32°45'19"	33°51'10"	35°10'11"	36°18'00"	30°49'51"

Осевыми меридианами 6-градусных зон являются меридианы, кратные 3°, но не кратные 6° (рис. 1.6). Для удобства расчетов по определению номенклатуры листов карт в табл. 1.6 приведены размеры листов разных масштабов.

Таблица 1.6. Размеры листов топографических карт

Масштаб	Размеры листов	
	по параллели	по меридиану
1:1 000 000	6°	4°
1:500 000	3°	2°
1:200 000	1°	0°40'
1:100 000	0°30'	0°20'
1:50 000	0°15'	0°10'
1:25 000	0°07'30"	0°05'
1:10 000	0°03'45"	0°02'30"
1:5 000	0°01'52,5"	0°01'15"
1:2 000	0°00'37,5"	0°00'25"

Осевыми меридианами 3-градусных зон являются все меридианы, кратные 3°. Следовательно, осевым меридианом зоны, в которой находится точка с долготой *L*, будет ближайший меридиан, удовлетворяющий этим условиям. Пользуясь рис. 1.6, необходимо найти по координатам *B* и

L трапецию масштаба 1:1 000 000 и установить номер ряда и колонны, в которых она расположена.

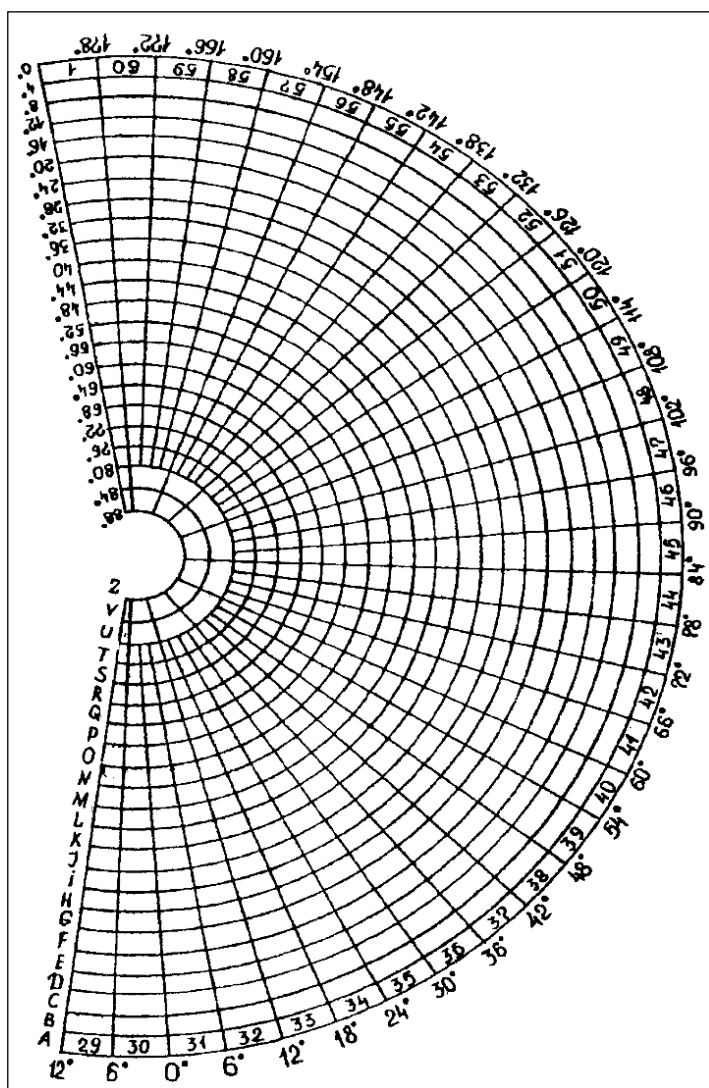


Рис. 1.6. Схема разграфки земной поверхности меридианами и параллелями

Дальнейшую разграфку для перехода к листам масштаба 1:10 000 и 1:2 000 осуществить, как показано на рис. 1.7–1.10.

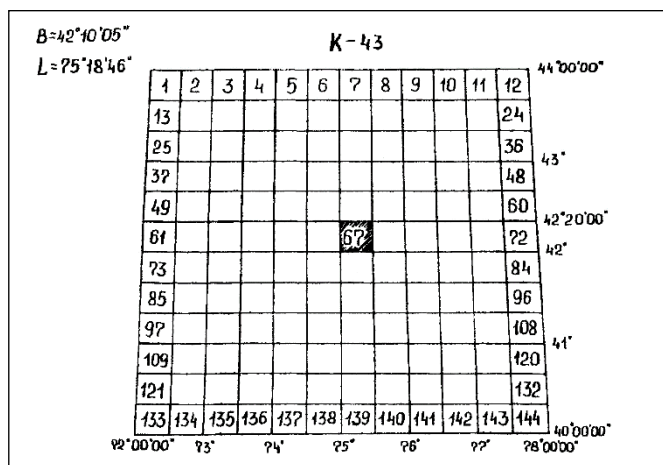


Рис. 1.7. Разграфка трапеции масштаба 1:1 000 000

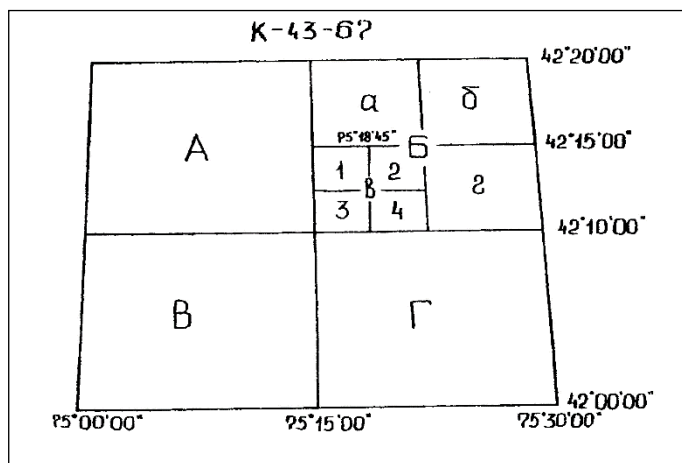


Рис. 1.8. Разграфка трапеции масштаба 1:100 000

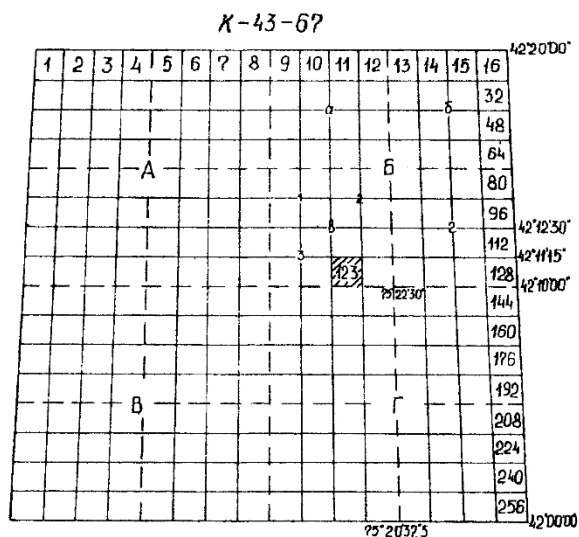


Рис. 1.9. Разграфка трапеции масштаба 1:100 000

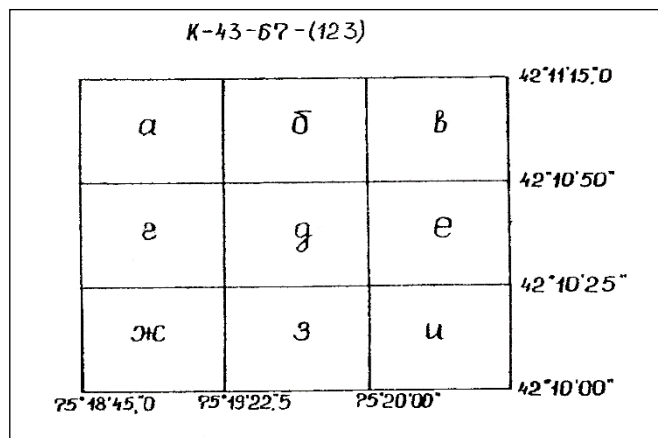


Рис. 1.10. Разграфка трапеции масштаба 1:5 000

Полученную номенклатуру листа топографической карты подписывают сверху трапеции, внизу указывают масштаб.

Задание 1.4. Изучение содержания топографических планов и карт

Цель: изучить основные и специальные условные знаки топографических планов и карт, усвоить сущность изображения рельефа на топографических картах и научиться решать задачи с горизонталями.

Задача 9. Изучить основные и специальные условные знаки топографических планов и карт. Привести примеры масштабных, немасштабных, линейных и пояснительных условных знаков.

Масштабные условные знаки отображают объекты, размеры которых на планах и картах соответствуют по масштабу размерам на местности. Они ограничены контуром в виде сплошных линий. Внутри контура масштабных условных знаков ставятся заполняющие значки.

Немасштабные условные знаки отображают объекты, размеры которых не могут быть выражены в принятом масштабе из-за их малой протяженности. В таких случаях используют стандартные значки, размеры которых не соответствуют величинам, получаемым при выражении в масштабе действительных размеров элементов ситуации.

Линейные условные знаки отображают вытянутые объекты: реки, ручьи, дороги (железные, шоссейные, грунтовые, временные), линии связи, линии электропередачи и т. д.

К *пояснительным условным знакам* относятся дополнительные пояснения масштабных или немасштабных условных знаков. Это различные подписи, числовые и другие характеристики, а также окраска.

Задача 10. Изучить изображение рельефа горизонталями:

- изобразить ими основные формы рельефа: гору, котловину, хребет, ложину, седловину;
- найти эти формы рельефа на планах и картах;
- научиться читать рельеф на карте, находить сплошные горизонталы, утолщенные и полугоризонталы, определять высоты горизонталей.

Изучение изображения рельефа горизонталями необходимо начать с выяснения понятия высоты сечения рельефа (h – расстояние между смежными горизонталями по высоте) и заложения горизонталей (a – расстояние между двумя смежными горизонталями в плане).

Горизонталы на карте можно рассматривать как проекции сечения местности уровнями поверхностями, проведенными на определенных высотах h (рис. 1.11).

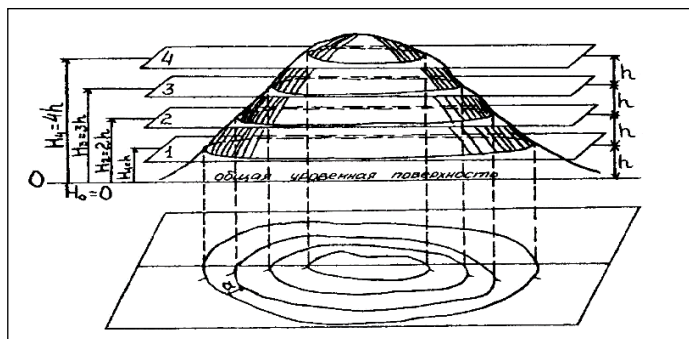


Рис. 1.11. Принцип изображения рельефа горизонталями

Задача 11. Для небольшого участка реки отграничить водосборную площадь линиями водоразделов. Определить для хребта линию водораздела, а для лощины – линию водослива (тальвега).

Отграничение водосборной площади выполняется нахождением линии от заданной точки, которая ведется от горизонтали к горизонтали по кратчайшему расстоянию (минимальное заложение – линия максимального уклона). Линия водораздела для участка должна замыкаться в исходной точке (рис. 1.12).

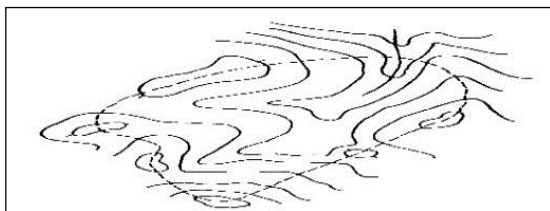


Рис. 1.12. Отграничение на карте площади водосбора

Задача 12. Определить высоту указанной на карте точки.

Если искомая точка лежит на горизонтали, тогда высота этой точки будет равна высоте горизонтали. Поэтому высота точки *A* (рис. 1.13) будет равна:

$$H_A = 180 + 5,0 = 185 \text{ м.}$$

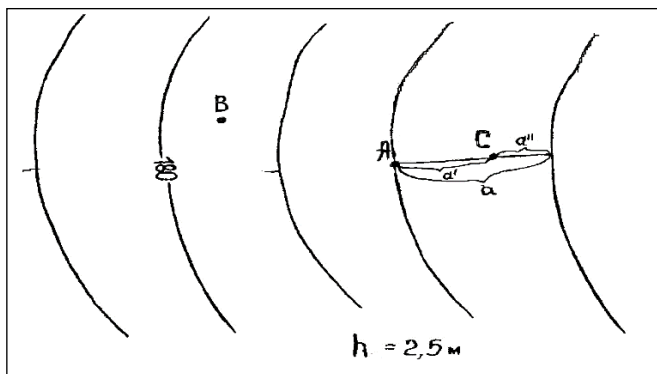


Рис. 1.13. Определение высоты точки, лежащей на горизонтали и между горизонталями

Например, точка B лежит точно между двумя смежными горизонталями (рис. 1.13), тогда высота этой точки

$$H_B = 180 + \frac{2,5}{2} = 181,25 \text{ м.}$$

Высота точки C , лежащей между горизонталями, определяется следующим образом. Сначала определяются превышения между точкой C и соседними горизонталями по формулам:

$$h' = \frac{a'}{a} h, \quad (1.12)$$

$$h'' = \frac{a''}{a} h. \quad (1.13)$$

При этом значения a , a' , a'' измеряются на плане или карте в миллиметрах, а контролем вычисления будет выражение

$$h' + h'' = h. \quad (1.14)$$

Высота точки C (см. рис. 1.13) вычисляется по формуле

$$H_C = H_A + h'. \quad (1.15)$$

Задача 13. Определить уклон и угол наклона для указанной на карте линии.

Угол наклона линии, лежащей между двумя смежными горизонталями, определяется по масштабу заложений (см. рис. 1.13), а уклон – по формуле

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{h}{a}, \quad (1.16)$$

где h – высота сечения рельефа;

a – заложение горизонталей.

Для приведенного на рис. 1.14 примера угол наклона равен $3,3^\circ$. При этом уклон $i = \operatorname{tg} 3,3^\circ$.

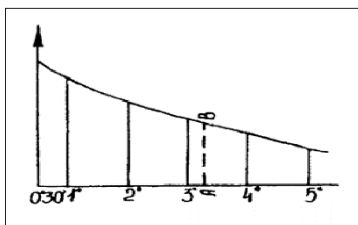


Рис. 1.14. Определение угла наклона по масштабу заложений

Уклон измеряется в промилле, при этом $1\text{‰} = 0,001$. Так, уклон линии BC (см. рис. 1.13), пересекающий несколько горизонталей, определяется по формуле

$$i_{BC} = \frac{H_C - H_B}{S_{BC}}, \quad (1.17)$$

где H_C, H_B – абсолютные высоты точек C и B ;

S_{BC} – расстояние между точками B и C .

Например, если

$$H_C = 186,66 \text{ м}; \quad H_B = 181,25 \text{ м}; \quad S_{BC} = 1\,256 \text{ м},$$

тогда уклон линии BC (см. рис. 1.13)

$$i_{BC} = \frac{186,66 - 181,25}{1\,000} = 0,00541 \approx 0,005 = 5\text{‰}.$$

Результаты решения задачи 13 рекомендуется внести в табл. 1.7.

Таблица 1.7. **Определение высот точек и уклонов**

Номер точки	Высота точки, м	Превышение, м	Расстояние, м	Уклон		
				тыс. ед.	%	‰
A	185,00					
		–3,75	1 062	–0,00 353	–0,353	–3,53
B	181,25					
		5,41	1 256	0,00 431	0,431	4,31
C	186,66					
		–1,66	1 730	–0,00 096	–0,096	–0,96
A	185,00					

Задача 14. Между двумя точками на топографической карте или плане запроектировать линию с заданным уклоном.

Указанная задача возникает при проектировании дорог и других линейных сооружений. Условие, поставленное для отрезков, можно записать следующим образом:

$$i \leq i_0, \quad (1.18)$$

где i – проектный уклон;

i_0 – заданное значение проектного уклона.

В соответствии с формулой (1.16) имеем

$$i_0 \leq \frac{h}{a}. \quad (1.19)$$

Определим величину заложения, при которой будет удовлетворяться рассматриваемое требование (1.18):

$$a \geq \frac{h}{i} \quad \text{или} \quad a \geq a_0. \quad (1.20)$$

При решении вначале находим

$$a_{0(1)} = \frac{h_1}{i_0}, \quad (1.21)$$

где $h_1 = H_1 - H_2$;

$a_{0(1)}$ – минимальное значение отрезка линии между точкой A и горизонталью 1.

Далее берем это расстояние в масштабе плана измерителем, ставим одну его ножку в точку *A* (рис. 1.15), второй делаем засечку на горизонтали 1. Если ножка циркуля не будет доставать до горизонтали 1, то проводим линию по кратчайшему направлению. Затем по формуле (1.21) вычисляем и откладываем его значение от уже полученной точки 1 до горизонтали 2, затем – до горизонтали 3.

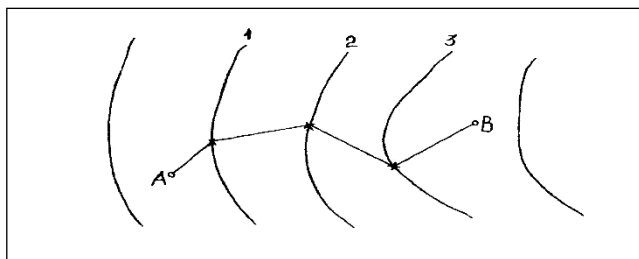


Рис. 1.15. Проведение линии заданного уклона по карте с горизонталями

Минимальное значение линии между горизонталью 3 и точкой *B* находим по формуле

$$a_{o(2)} = \frac{h_2}{i_o}, \quad (1.22)$$

где $h_2 = H_2 - H_3$.

Если расстояние между уже отмеченной точкой на горизонтали 3 и точкой *B* будет меньше $a_{o(2)}$ (см. рис. 1.14), то положение точек на предыдущих горизонталях нужно изменить без нарушения требования (1.21).

Результаты решения задачи 14 также рекомендуется внести в табл. 1.7.

Задача 15. Построить профиль по линии, проведенной на топографической карте и пересекающей не менее 4–5 горизонталей.

Построение профиля выполняют на миллиметровой бумаге. Для построения на бумаге подготавливают профильную сетку из граф, как показано на рис. 1.16. Причем для наглядности выражения рельефа горизонтальный масштаб увеличивают в два раза, а вертикальный берут в 10 раз крупнее. Высоту условного горизонта на профиле выбирают равной целому числу метров с таким расчетом, чтобы ее значение было меньше минимальной отметки на 5–6 м.

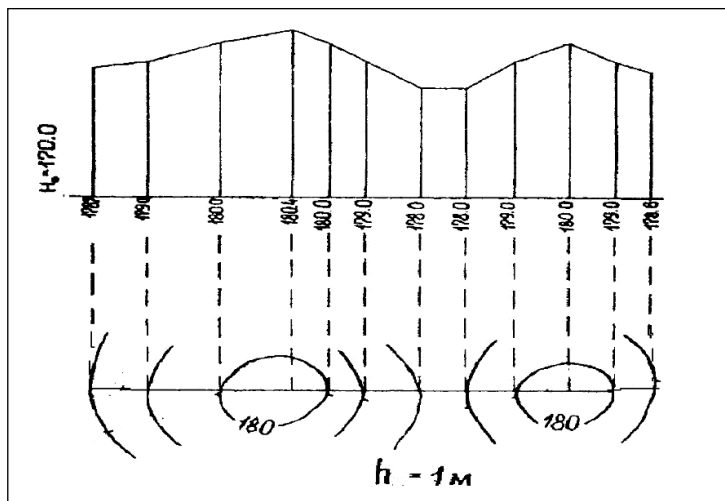


Рис. 1.16. Построение продольного профиля по горизонталям топографической карты

Производим построение всех точек пересечений линий AB с горизонталями. Горизонтальные расстояния необходимо писать горизонтально, высотные (высоты) – вертикально в соответствующих графах. При этом каждая точка в плане строится путем откладывания в принятом масштабе соответствующей длины по оси горизонтального расстояния и по высоте от линии условного горизонта.

Задание 1.5. Ориентирование

Цель: научиться определять углы направлений на топографических картах, усвоить приемы зависимости между дирекционными углами, истинными и магнитными азимутами.

Задача 16. Сориентировать топографическую карту по буссоли. Установить отсчет a по северному концу магнитной стрелки. При ориентировании топографической карты нулевой диаметр буссоли совместить с линией координатной сетки. (Значения склонения магнитной стрелки δ и сближения меридианов γ листа карты приведены в табл. 1.8.)

Таблица 1.8. Значения δ и γ по вариантам

Показатель	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ	$-3^{\circ}18'$	$+4^{\circ}29'$	$+3^{\circ}21'$	$+1^{\circ}16'$	$-2^{\circ}17'$	$+3^{\circ}47'$	$-6^{\circ}19'$	$+2^{\circ}17'$	$+3^{\circ}14'$	$-6^{\circ}29'$
γ	$+2^{\circ}10'$	$+1^{\circ}17'$	$-2^{\circ}17'$	$+0^{\circ}59'$	$-0^{\circ}46'$	$-1^{\circ}18'$	$+0^{\circ}48'$	$-1^{\circ}25'$	$+0^{\circ}19'$	$-1^{\circ}18'$

Продолжение табл. 1.8

Показатель	Вариант									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
δ	$+1^{\circ}29'$	$+4^{\circ}16'$	$-3^{\circ}18'$	$-2^{\circ}41'$	$+3^{\circ}31'$	$+1^{\circ}28'$	$-4^{\circ}29'$	$+3^{\circ}16'$	$-1^{\circ}28'$	$+4^{\circ}16'$
γ	$-2^{\circ}01'$	$+1^{\circ}27'$	$+0^{\circ}46'$	$+0^{\circ}29'$	$-2^{\circ}05'$	$+0^{\circ}59'$	$+0^{\circ}47'$	$-1^{\circ}47'$	$+3^{\circ}48'$	$-2^{\circ}31'$

Окончание табл. 1.8

Показатель	Вариант									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
δ	$+3^{\circ}27'$	$-5^{\circ}18'$	$+6^{\circ}18'$	$-3^{\circ}48'$	$+2^{\circ}43'$	$-1^{\circ}46'$	$+3^{\circ}23'$	$+4^{\circ}45'$	$-7^{\circ}50'$	$+6^{\circ}19'$
γ	$+1^{\circ}16'$	$-0^{\circ}59'$	$+1^{\circ}29'$	$+0^{\circ}37'$	$-3^{\circ}16'$	$+2^{\circ}11'$	$-0^{\circ}56'$	$+0^{\circ}36'$	$+1^{\circ}35'$	$+0^{\circ}45'$

Для ориентирования топографической карты по буссоли необходимо повернуть ее так, чтобы ось магнитной стрелки совпадала с изображением на карте магнитного меридиана, проходящего через данную точку. Для этого необходимо задать на буссоли отсчет по северному концу магнитной стрелки, который учитывает сближение меридианов и склонение магнитной стрелки:

$$\alpha = -\gamma + \delta. \quad (1.23)$$

При этом буссоль необходимо приложить параллельно осевому меридиану или линиям координатной сетки, которые ему параллельны (рис. 1.17, а). На топографических картах это показывается на графике ориентирования (или можно прочертить направление истинных меридианов). В этом случае карту можно ориентировать по истинному меридиану (рис. 1.17, б).

При этом ориентирование выполняют следующим образом: прикладывают грань коробки ориентир-буссоли к направлению истинного меридиана в данной точке и поворачивают карту до тех пор, пока от-

счет по северному концу магнитной стрелки не покажет склонение, по величине и знаку соответствующее данной точке (рис. 1.17, б).

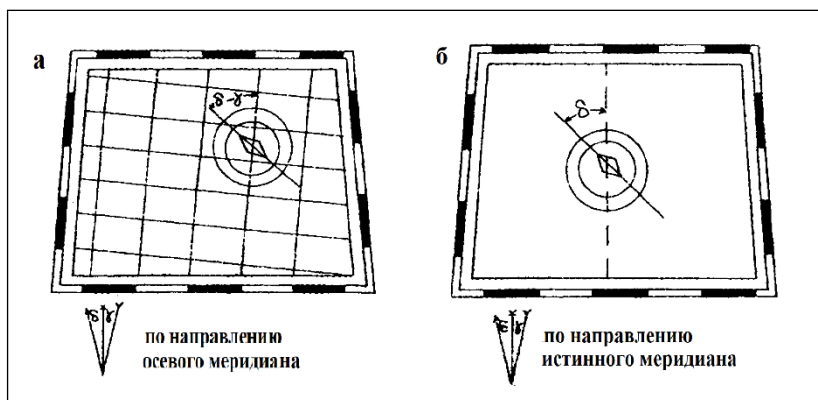


Рис. 1.17. Ориентирование топографической карты с помощью буссоли по направлению: а – осевого меридиана зоны; б – истинного меридиана

Задача 17. Уяснить понятия дирекционного угла α , истинного азимута $A_{и}$, магнитного азимута $A_{м}$, сближения меридианов γ и склонения магнитной стрелки δ .

Задача 18. Для двух линий, проведенных из одной точки на топографической карте:

- измерить геодезическим транспортиром дирекционные углы;
- вычислить по дирекционным углам правый и левый углы, заключенные между линиями;
- установить по номерам точек направления линий начала и конца;
- вычислить истинный и магнитный азимуты, а также румбы линий.

Дирекционным углом называется угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана до заданной линии ориентирования. Значение этого угла измеряется транспортиром на топографической карте (рис. 1.18, 1.19, 1.20).

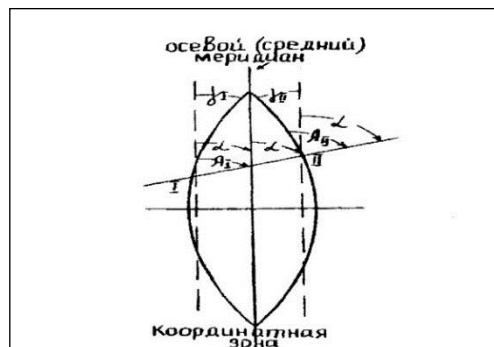


Рис. 1.18. Геометрическое изображение дирекционного угла, сближения меридианов, истинного азимута в координатной зоне

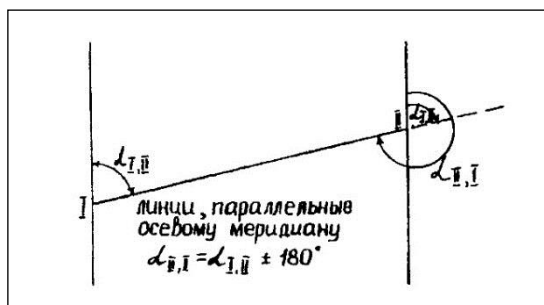


Рис. 1.19. Схема взаимосвязи прямых и обратных дирекционных углов

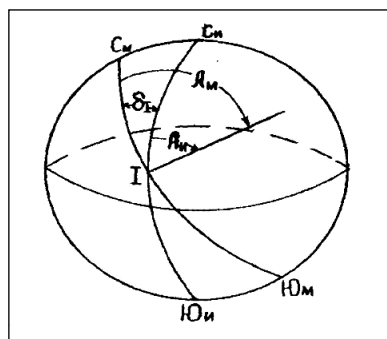


Рис. 1.20. Схема связи истинных и магнитных азимутов

Перевычисление дирекционного угла в истинный и магнитный азимуты осуществляется по формулам:

$$A_{и} = \alpha + \gamma, \quad (1.24)$$

$$A_{м} = A_{и} - \delta. \quad (1.25)$$

Внутренний угол β , заключенный между двумя линиями, равен разности их дирекционных углов (рис. 1.21).

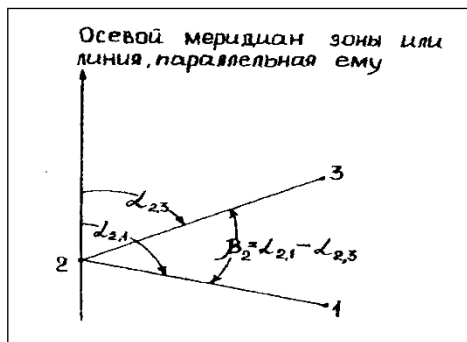


Рис. 1.21. Схема определения внутренних углов через дирекционные углы сторон

Обозначение угла (правый или левый) зависит от направления перехода по точкам. Значение внутреннего правого угла определяется по формуле

$$\beta_{2 \text{ пр}} = \alpha_{2-1} - \alpha_{2-3} \quad (1.26)$$

и левого угла – по формуле

$$\beta_{2 \text{ лев}} = \alpha_{2-3} - \alpha_{2-1}. \quad (1.27)$$

При переходе от прямого дирекционного угла к обратному используют зависимость

$$\alpha_{обр} = \alpha_{пр} \pm 180^\circ. \quad (1.28)$$

При переходе от прямых к обратным истинным азимутам $A_{и}$ используют зависимость

$$A_{иобр} = A_{ипр} - \gamma_{пр} + \gamma_{обр} \pm 180^\circ. \quad (1.29)$$

Результаты измерений и расчетов рекомендуется привести в табличной форме (табл. 1.9).

Таблица 1.9. Ориентирование линий

Номер точки	Дирекционный угол		Румб r	γ	δ	A_n	A_m	β
	прямой $\alpha_{пр}$	обратный $\alpha_{обр}$						
A								66
	36	216	СВ:36			38°12'	34°02'	
B								63
	153	333	ЮВ:27	2°12'	4°10'	155°12'	151°02'	
C								51
	282	102	СЗ:78			284°12'	280°02'	
A								

Лабораторная работа 2. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕОДОЛИТОВ

Цель:

1. Изучить устройство технических теодолитов Т30, 2Т30, 2Т30П исходя из принципа измерения горизонтальных и вертикальных углов.
2. Научиться устанавливать теодолит в рабочее положение, визировать на точки и снимать отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам.
3. Выполнить поверки теодолита.
4. Выполнить исследования теодолита.
5. Измерить горизонтальный, вертикальный углы, расстояние по нитяному дальномеру.

2.1. Изучение устройства теодолитов

Основное назначение теодолитов – измерение горизонтальных и вертикальных углов, расстояний по нитяному дальномеру.

2.1.1. Классификация теодолитов по их точности

В соответствии с ГОСТ 10529-96 теодолиты подразделяются на следующие группы:

- высокоточные Т1, Т05, $m_\beta = 1,5''$;
- точные Т2, Т5, $m_\beta = 1,5'' \div 10''$;

- технические Т15, Т30, Т60, $m_p \geq 10''$.

В зависимости от конструктивных особенностей следует различать теодолиты следующих исполнений:

К – с компенсатором углов наклона;

П – со зрительной трубой с прямым изображением;

М – маркшейдерские;

А – автоколлимационные.

В настоящее время выпускаются теодолиты 3-го и 4-го поколений: 3Т2КП, 3Т2КА, 3Т5КП, 4Т30 и их модификации.

Литера Т означает название прибора – теодолит. Числа 1, 2, 5, 15 и т. д. характеризуют точность измерения угла одним приемом (в секундах).

В связи с совершенствованием конструкций теодолитов различают их поколения, которые обозначаются цифрой перед маркой. Например, если теодолит имеет марку 2Т30КП, то это означает следующее:

цифра 2 перед маркой – второе поколение выпуска;

Т30 – теодолит технический с точностью измерения угла одним приемом 30'';

К – наличие компенсатора в приборе;

П – наличие прямого изображения в приборе.

Выполнение данной лабораторной работы ориентировано в основном на изучение технических теодолитов типа Т30, 2Т30КП.

2.1.2. Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов

Горизонтальным углом β_0 (рис. 2.1) является ортогональная проекция двух вертикальных плоскостей Z_1 и Z_2 , проходящих через направления сторон AB и AC физической поверхности Земли, на горизонтальную плоскость P .

Для измерения горизонтального угла необходимо в точке O разместить горизонтальный круг с градусными делениями. При этом отвесная линия AA_1 должна проходить через центр круга O . Сняв отсчеты c и b по горизонтальному кругу, соответствующие следам сечения плоскостей Z_1 и Z_2 на нем, найдем значение горизонтального угла:

$$\beta_0 = c - b. \quad (2.1)$$

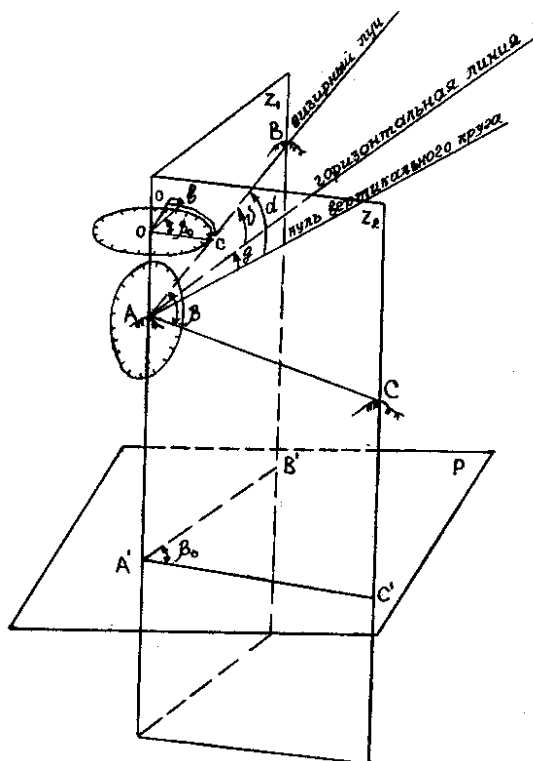


Рис. 2.1. Принцип измерения горизонтальных и вертикальных углов

Угол наклона (вертикальный угол) – это угол v (рис. 2.1) между линией AB в точке A и ее проекцией на горизонтальную плоскость, который находится в вертикальной плоскости Z_1 . Для его измерения по вертикальному кругу теодолита необходимо зафиксировать отсчет a по отсчетному индексу алидады вертикального круга, визируя на точку B . Тогда угол наклона v определится следующим образом:

$$v = a - MO, \quad (2.2)$$

где MO – ошибка, возникающая в результате несовпадения нулевого деления алидады вертикального круга с линией горизонта.

Для измерения дальномерных расстояний в зрительной трубе теодолита имеются дальномерные нити (нитяной дальномер).

2.1.3. Основные части теодолита

Исходя из принципа измерения горизонтального угла и угла наклона теодолит имеет следующие основные части (рис. 2.2): горизонтальный круг 1, состоящий из лимба с горизонтальными делениями, центр которого размещается на одной отвесной линии с вершиной измеряемого угла, и алидады, представляющей собой внутренний круг как опору для визирного приспособления, которая может вращаться в отвесной плоскости для последовательного совмещения визирного луча со сторонами измеряемого угла; цилиндрический уровень 2, с помощью которого лимб приводится в горизонтальное положение; зрительная труба 3 для наведения теодолита на точки; вертикальный круг 4, состоящий из лимба и алидады, причем лимб вертикального круга неподвижно скреплен с осью вращения зрительной трубы; цилиндрический уровень 5 при вертикальном круге, по которому задается горизонтальная линия (см. рис. 2.1). Теодолит также имеет отсчетное приспособление (штриховой или шкаловой микроскоп).

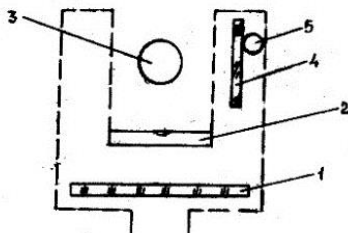


Рис. 2.2. Схема теодолита:
1 – горизонтальный круг;
2 – цилиндрический уровень;
3 – зрительная труба;
4 – вертикальный круг;
5 – цилиндрический уровень
при вертикальном круге

Лимб. В современных оптических теодолитах установлены стеклянные лимбы. Штрихи на плоскость лимба наносятся напылением металла по лаку. Ширина штрихов – 0,002 мм. При установке лимба добиваются совмещения центра с осью вращения. Несовпадение центров приводит к погрешностям в измерении углов. Аналогично изготавливается и вертикальный круг.

Цилиндрический уровень. Состоит из ампулы, оправы, регулирующего (исправительного) устройства (рис. 2.3). Ампула заполняется этиловым эфиром или этиловым спиртом.

Незаполненная часть ампулы образует пузырек. Цилиндрический уровень имеет рабочую поверхность 1 определенной кривизны. Центр 2 рабочей поверхности называют нуль-пунктом.

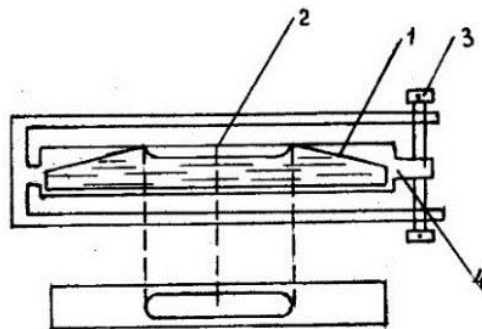


Рис. 2.3. Цилиндрический уровень:
1 – рабочая поверхность; 2 – нуль-пункт;
3 – винты; 4 – конец ампулы

В теодолитах Т60, Т30, 2Т30 ампула с оправой соединяется заливкой гипсом. Регулирующее (исправительное) устройство цилиндрического уровня выполняется в виде винтов 3, вращением которых можно поднимать или опускать один конец ампулы 4.

Зрительная труба. В геодезических приборах используются трубы с внутренней фокусировкой. При изучении устройства зрительной трубы следует выделить следующие ее элементы: объектив 1, окуляр 2 и сетку нитей 3 (рис. 2.4). Их взаимное расположение позволяет видеть увеличенное, мнимое, обратное изображение $A''B''$ предмета AB . Такое изображение можно получить, если: а) предмет AB находится за фокусом объектива $F_{об}$; б) изображение предмета AB должно попадать между фокусом $F_{ок}$ и оптическим центром O окуляра. В трубах с внутренней фокусировкой такое положение достигается наличием телеобъектива, состоящего из объектива и двояковогнутой линзы 4, которая перемещается внутри трубы между объективом и сеткой нитей. Вращением кремальеры сетка нитей устанавливается в окулярном колене 5 между точками $F_{ок}$ и O . Она награвирована на специальном стекле. Исправительными винтами 1 (рис. 2.5), установленными в окулярном колене, сетка нитей может передвигаться в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Зрительные трубы некоторых теодолитов, например 2Т30П, дают увеличенное, мнимое, прямое изображение предмета.

Для получения резкого изображения предмета вращают кремальеру зрительной трубы, а для установления четкого изображения сетки нитей – диоптрийное кольцо.

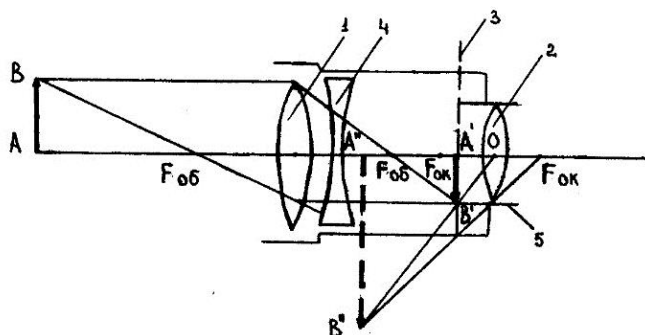


Рис. 2.4. Ход лучей в зрительной трубе:
1 – объектив; 2 – окуляр; 3 – сетка нитей; 4 – двояковогнутая линза;
5 – окулярное колено

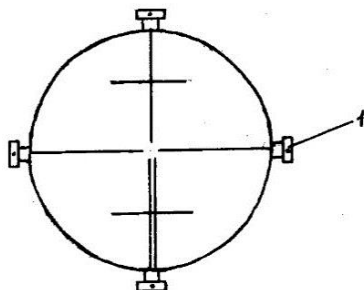


Рис. 2.5. Сетка нитей:
1 – исправительные винты

Закрепительные, наводящие и подъемные винты. Для обеспечения стационарного положения основных частей теодолита имеются закрепительные винты (рис. 2.6) лимба 1, алидады 2 и трубы 3. Для придания плавности движению основных частей при наведении теодолита на точку используются наводящие винты (рис. 2.7) лимба 4, алидады 5 и трубы 6. Внизу теодолита находится треугольная подставка с тремя подъемными винтами 13 (рис. 2.7). Под ними установлена специальная пластина – трегер 15, через которую с помощью станового винта теодолит крепится к штативу.

На рис. 2.6 и 2.7 показаны теодолиты 2ТЗ0 и 2ТЗ0П, отличающиеся от ТЗ0 (рис. 2.8) лишь наличием уровня 8 (рис. 2.7) при трубе и шкалового микроскопа.

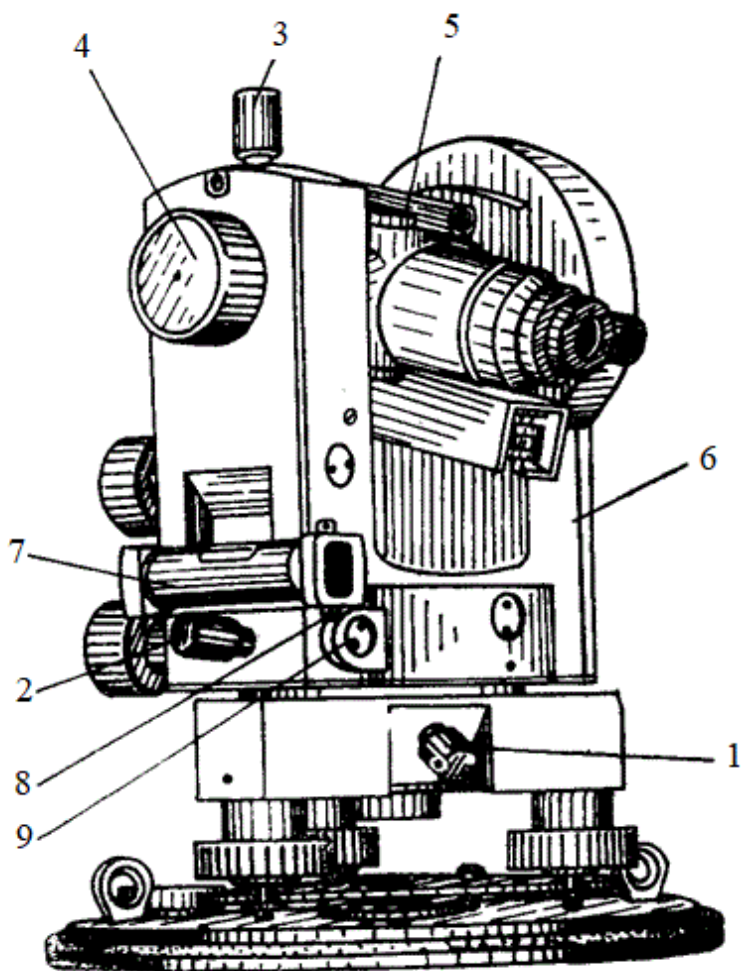


Рис. 2.6. Теодолит 2Т30: 1 – закрепительный винт лимба;
 2 – закрепительный винт алидады; 3 – закрепительный винт
 трубы; 4 – кремальера; 5 – визир; 6 – колонка;
 7 – уровень при алидаде; 8 – юстировочный винт;
 9 – гильза

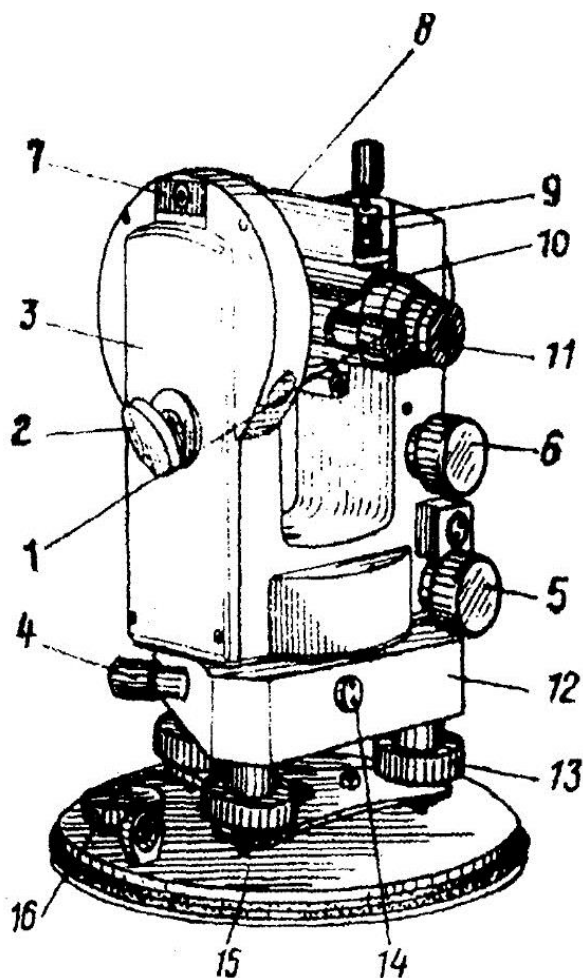


Рис. 2.7. Теодолит 2Т30П: 1 – окуляр микроскопа;
 2 – зеркало подсветки; 3 – боковая крышка;
 4 – наводящий винт лимба; 5 – наводящий винт алидады; 6 – наводящий винт трубы; 7 – посадочный паз для буссоли; 8 – уровень при трубе;
 9 – юстировочная гайка; 10 – колпачок;
 11 – диоптрийное кольцо окуляра; 12 – подставка;
 13 – подъемные винты; 14 – втулка; 15 – трегер;
 16 – крышка

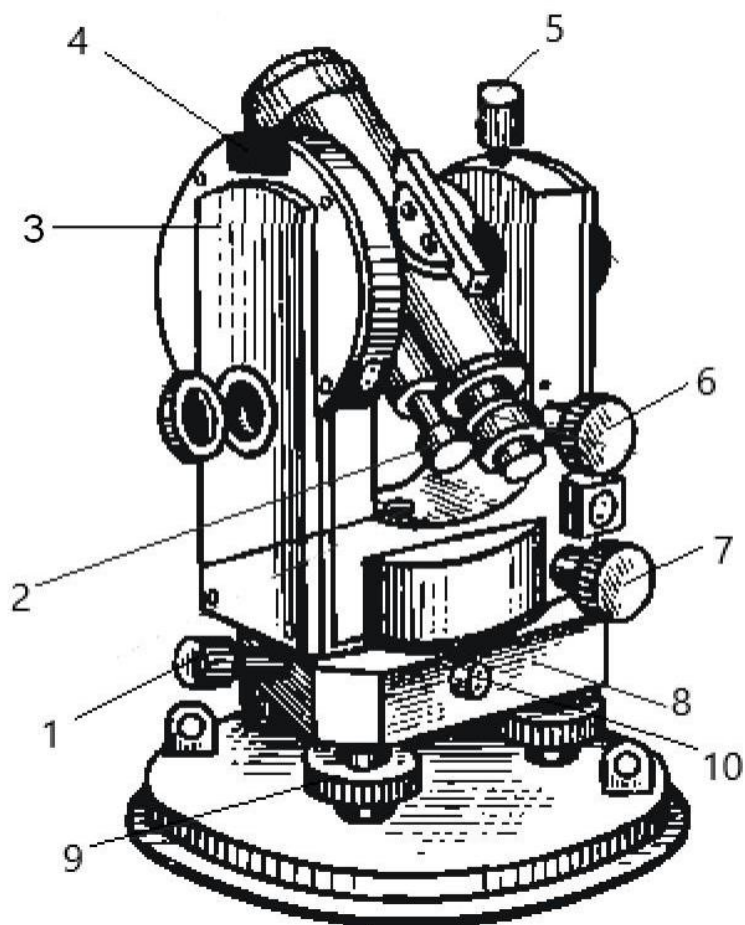


Рис. 2.8. Теодолит Т30: 1 – наводящий винт лимба;
 2 – окуляр микроскопа; 3 – боковая крышка;
 4 – посадочный паз для буссоли;
 5 – закрепительный винт трубы; 6 – наводящий винт
 трубы; 7 – наводящий винт алидады; 8 – подставка;
 9 – подъемные винты подставки; 10 – втулка

2.1.4. Отсчетные приспособления теодолитов

Существует несколько видов отсчетных приспособлений. Необходимо изучить следующие: штриховой микроскоп (теодолиты Т30, Т60), шкаловой микроскоп (теодолиты серий Т5, 2Т30, 2Т30П).

Вид поля зрения штрихового микроскопа показан на рис. 2.9.

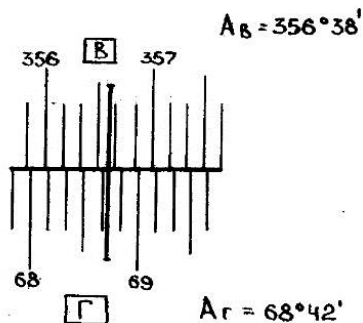


Рис. 2.9. Штриховая система отсчетов

Цена деления лимба в теодолите Т30 составляет $10'$. Отсчет снимают следующим образом: считают число градусов, стоящее левее отсчетного штриха, затем считают количество делений от этого градусного деления до штриха. В данном случае отсчет по горизонтальному кругу равен $68^{\circ}42'$, по вертикальному – $356^{\circ}38'$.

Вид поля зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30 показан на рис. 2.10. В поле зрения видны градусные деления лимба и шкала, цена деления которой равна $5'$.

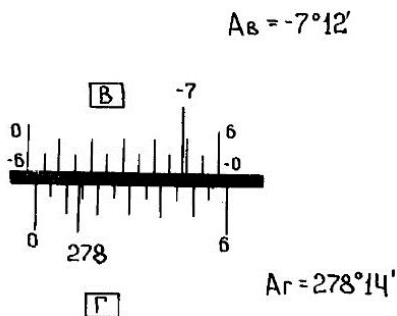


Рис. 2.10. Шкаловая система отсчета в теодолите 2Т30

Отсчет снимают следующим образом: вначале определяют градусное деление, перекрываемое шкалой, после этого с точностью до 1' снимают отсчет минут по шкале. В данном примере отсчет по горизонтальному кругу равен $278^{\circ}14'$, по вертикальному он составляет $-7^{\circ}12'$.

При отсчитывании по вертикальному кругу следует отличать отрицательные деления шкалы от положительных. В приведенном примере положительные возрастают слева направо, а отрицательные – наоборот.

2.1.5. Общий осмотр теодолита

В процессе общего осмотра необходимо выявить повреждения механических и оптических деталей, проверить четкость изображения, установку уровней и исправительных винтов, освещение отсчетной системы. Проверить удобство и правильность уложения прибора в упаковочный ящик. Осмотреть замки ящика и приспособления для его переноски, а также проверить маркировку теодолита и упаковки. По паспорту проверить комплектность теодолита и соответствие ему съемных деталей (буссоли, осветителя, светофильтра и т. д.). После этого необходимо оценить работоспособность подвижных частей теодолита. При этом путем опробования проверить работу подъемных, зажимных и наводящих винтов, выявить их люфты и плавность хода, деформации, изломы.

Проверить работоспособность фокусирующей системы объектива и окуляра трубы, отсчетного приспособления и оптического центрира, если им необходимо пользоваться, а также устойчивость штатива, при необходимости подтянуть винты его головки и закрепительные винты.

Не прилагать значительных усилий к вращающимся частям теодолита!

2.2. Приведение теодолита в рабочее положение

Перед выполнением измерений теодолит с помощью станowego винта прикрепляют к штативу. После этого приводят прибор в рабочее положение. Для этого выполняется центрирование прибора над точкой и горизонтирование. Центрирование выполняют с помощью нитяного отвеса. Нитяной отвес крепят снизу к крюку на корпусе теодолита или станомом винте. После этого штатив располагают так, чтобы отвес проектировался на точку, над которой производят центрирование. Точность центрирования составляет 10 мм.

Горизонтирование прибора, или приведение лимба в горизонтальное положение, выполняют следующим образом. Открепляют алидаду и устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов (рис. 2.11, *а*). Вращением этих винтов в разные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт. После этого поворачивают алидаду на 90° и вращением третьего подъемного винта (рис. 2.11, *б*) приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Эти операции повторяют 2–3 раза до тех пор, пока при любом положении алидады и уровня соответственно его пузырек не будет отклоняться от нуль-пункта более чем на 1–2 деления.



Рис. 2.11. Схема горизонтирования прибора

2.3. Основные оси и проверки теодолита

2.3.1. Основные оси

Ось вращения прибора ZZ_1 (рис. 2.12), называемая главной осью, при измерении угла должна совпадать с линией отвеса, проходящей через вершину угла.

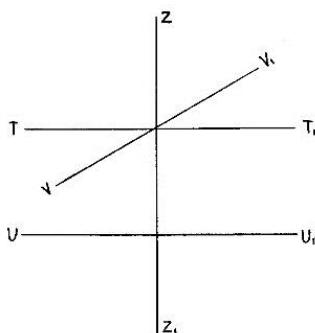


Рис. 2.12. Схема осей прибора

Ось цилиндрического уровня UU_1 при измерениях должна занимать горизонтальное положение. Этой осью является касательная к внутренней поверхности ампулы уровня в точке нуль-пункта. Приведение оси цилиндрического уровня в горизонтальное положение обеспечивает отвесное положение оси вращения прибора.

Ось вращения зрительной трубы TT_1 – геометрическое место точек самого цилиндра трубы.

Визирная ось зрительной трубы VV_1 – прямая, соединяющая перекрестие сетки нитей и оптический центр объектива.

2.3.2. Поверки теодолита

Каждая поверка теодолита состоит из трех частей. Первая часть – геометрическое условие, которое выражает требование, предъявляемое к взаимному расположению осей теодолита. Вторая часть – проверка этого условия. Третья часть – исправление выявленных нарушений геометрического условия.

Поверка 1. Ось цилиндрического уровня UU_1 должна быть перпендикулярна оси вращения прибора ZZ_1 . Для проверки этого условия уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов. Вращением их в разные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт (рис. 2.13, *а*). В это время ось уровня займет горизонтальное положение. Если уровень невыверен, то плоскость лимба наклонится к плоскости горизонта на некоторый угол α . После этого алидаду с уровнем поворачивают на 180° (рис. 2.13, *б*). Если пузырек уровня отклонится от нуль-пункта не более чем на одно-два деления, то считают, что условие выполнено. В противном случае, т. е. когда угол наклона оси уровня к горизонту, составляющий 2α , будет соответствовать большему числу делений отклонений пузырька, выполняют исправление. Для исправления пузырек приводят к нуль-пункту на половину делений отклонения (рис. 2.13, *в*) подъемными винтами теодолита, а на остальную половину – юстировочными винтами уровня. В это время ось уровня и плоскость лимба станут взаимно параллельными и займут горизонтальное положение.

Поверку выполняют до тех пор, пока не будет выполнено геометрическое условие. Образец записи результатов выполнения поверки приведен в табл. 2.1.

Таблица 2.1. Поверка уровня теодолита

Номер определения	Число делений отклонения пузырька
1	3
2	2

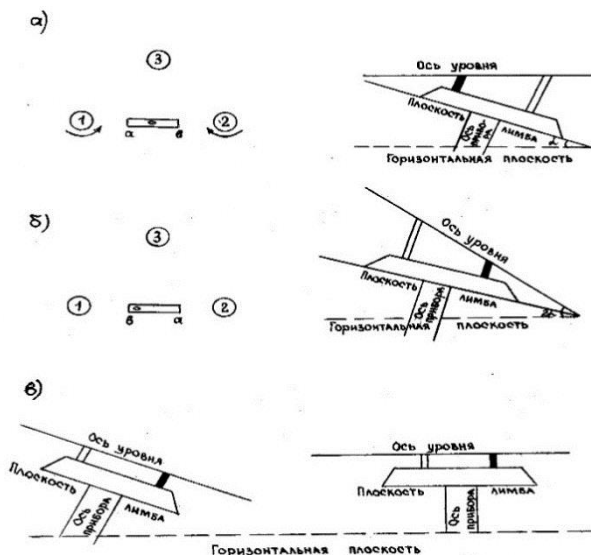


Рис. 2.13. Порядок выполнения первой проверки теодолита

Проверка 2. Визирная ось зрительной трубы VV_1 должна быть перпендикулярна оси вращения зрительной трубы TT_1 . Для проверки этого условия наводят трубу на удаленную и хорошо видимую точку B местности при определенном положении вертикального круга и снимают отсчет по горизонтальному кругу. Пусть вначале вертикальный круг 1 (рис. 2.14) находится справа от трубы, т. е. это будет положение «круг право» (КП). Угол неперпендикулярности визирной оси 2 и оси вращения трубы 3 обозначим через C . Такой же угол C будет между осью вращения трубы 3 и прямой 4, перпендикулярной визирной оси и проходящей через центр круга O .

После снятия отсчета КП трубу наводят на ту же самую точку B при круге лево (КЛ) (рис. 2.15) и снимают отсчет по горизонтальному кругу при КЛ. Сравнивая рис. 2.14 и 2.15, находим, что

$$\text{КП} - (\text{КЛ} \pm 180^\circ) = 2C. \quad (2.3)$$

Если $2C < 2t$, где t – точность прибора, то считается, что геометрическое условие данной проверки выполнено¹. В противном случае

¹Если в уравнении (2.3) $\text{КЛ} < 180^\circ$, то $2C = \text{КП} - (\text{КЛ} + 180^\circ)$.

необходимо делать исправление. Здесь же отметим, что формула (2.3) справедлива в том случае, если отсутствует эксцентриситет алидады горизонтального круга. В общем случае $2C$ следует определять дважды.

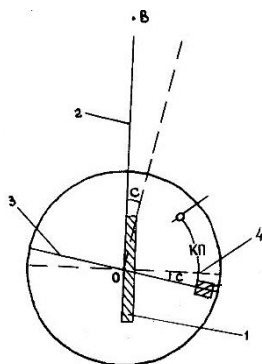


Рис. 2.14. Выполнение второй поверки теодолита при положении КП

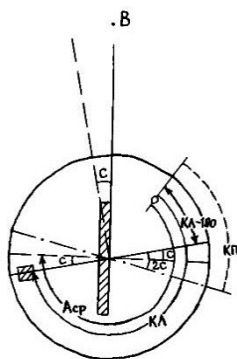


Рис. 2.15. Выполнение второй поверки теодолита при КЛ

При втором определении лимб необходимо переставлять примерно на 180° . Тогда

$$2C = \frac{КП_1 - (КЛ_1 \pm 180^\circ) + КП_2 - (КЛ_2 \pm 180^\circ)}{2}.$$

Полученное значение будет свободно от влияния эксцентриситета. Поэтому его берут для исправления прибора.

Как следует из рис. 2.14, необходимо визирную ось 2 повернуть на угол C . Чтобы это сделать, необходимо сам теодолит повернуть на этот угол.

В результате отсчетное приспособление переместится в отсчет A_{cp} (см. рис. 2.15):

$$A_{cp} = КЛ + C \quad (2.4)$$

или с учетом формулы (2.3)

$$A_{cp} = \frac{КЛ + КП \pm 180^\circ}{2}. \quad (2.5)$$

Такого отсчета достигают путем вращения наводящего винта алидады. При этом труба сойдет с точки B . Вращением горизонтальных исправительных винтов сетки нитей 1 (см. рис. 2.5) при ослабленных вертикальных перемещают перекрестие сетки обратно в точку B . Результаты выполнения поверки записывают в табл. 2.2.

Таблица 2.2. Поверка визирной оси теодолита

Номер определения	КП	КЛ	$2C$	A_{cp}	$2C_{cp}$
1	$6^\circ 10'$	$186^\circ 08'$	$+2'$	$186^\circ 09'$	$+2'$
2	$7^\circ 29'$	$187^\circ 27'$	$+2'$	$187^\circ 28'$	
3	$12^\circ 15'$	$192^\circ 14'$	$+1'$		

Расхождение в определении $2C$ не должно превышать $1'$ для теодолитов Т30 и 2Т30. Поверку и юстировку повторяют до тех пор, пока $2C$ не станет меньше $1'$. Значения отсчетов после юстировки (исправления) записывают в табл. 2.2.

Поверка 3. Ось вращения трубы $ТТ_1$ должна быть перпендикулярна оси вращения прибора² ZZ_1 . Для проверки этого условия наводят зрительную трубу теодолита на высокорасположенную точку в стене здания при определенном положении круга. Точку B берут на расстоянии 30–50 м под углом 45° . При этом положении круга движением трубы вниз переводят крест сетки нитей на горизонтально лежащую нивелирную рейку или миллиметровую линейку и снимают по ней отсчет n_1 (рис. 2.16) в перекрестии сетки нитей. Переводят трубу через

²Нарушение этого условия связано с неравенством подставок зрительной трубы.

зенит и при втором положении круга наводят теодолит на эту же точку B . Переводя движением трубы перекрестие сетки с этой точки на нивелирную рейку, снимают по ней отсчет n_2 .

Если разница отсчетов $n_2 - n_1$ не превосходит 5–7 мм для указанных расстояний $d = 30\text{--}50$ м, то условие считают выполненным. В противном случае теодолит исправляют в мастерской. Поверку выполняют 2 раза. Результаты выполнения поверки записывают в табл. 2.3.

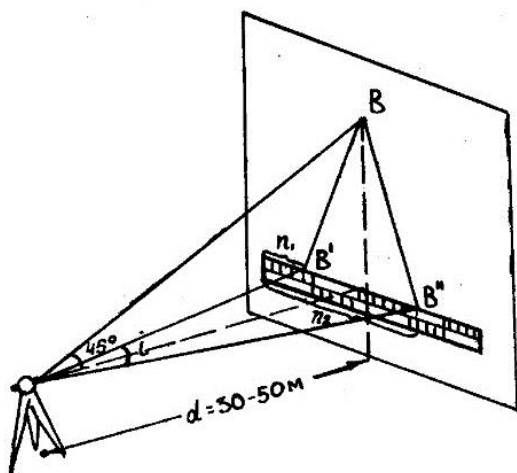


Рис. 2.16. Выполнение третьей поверки теодолита

Таблица 2.3. Поверка оси вращения зрительной трубы теодолита

Номер определения	n_1 , мм	n_2 , мм	d , м	$n_2 - n_1$, мм
1	1 025	1 031	40,0	6
2	2 016	2 021	40,0	5

Отметим, что допуск на разницу отсчетов $n_2 - n_1$ рассчитывают по формуле

$$i = \frac{(n_2 - n_1)}{d} \cdot 3,438, \quad (2.6)$$

где i – угол, опирающийся на отрезок $B'B''$ (см. рис. 2.16), мин;

n_1, n_2 – отсчеты, снятые по рейке, мм;

d – расстояние от прибора до рейки, м.

При расчете максимальное значение i берется равным точности прибора. Для теодолита Т30 $i = 0,5'$.

В аудиторных условиях эту поверку можно выполнять следующим образом. На определенном расстоянии от теодолита располагают нитяной отвес. При этом нить отвеса выбирают такой длины, чтобы верхняя часть ее находилась под вертикальным углом $30-45^\circ$, а нижняя – примерно на линии горизонта. Крест сетки нитей трубы наводят на верхнюю часть нити отвеса. Затем трубу наклоняют вниз. Если при этом крест сетки нитей будет двигаться вдоль отвесной линии, то условие выполнено, если будет сходить с нее – нарушено. Исправление прибора проводится в мастерской поворотом эксцентриковой втулки в лагерах подставки.

Поверка 4. Горизонтальная нить NN_1 сетки нитей должна быть перпендикулярна оси вращения прибора ZZ_1 (рис. 2.17), а вертикальная – параллельна ей при горизонтальном положении трубы.

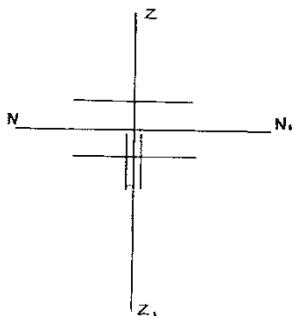


Рис. 2.17. Схема осей в четвертой поверке

Для проверки данного условия наводят на вертикально стоящую нивелирную рейку левый край объектива (рис. 2.18) и по горизонтальной нити снимают отсчет n_1 , а потом наводят правый край и снимают отсчет n_2 .

Если разница отсчетов $n_2 - n_1$ не превосходит по абсолютной величине 5–7 мм при расстояниях d , соответственно равных 30–50 м, то считают, что условие выполнено. В противном случае исправление сетки выполняют ее поворотом. Поверку повторяют два раза, результаты ее записывают в табл. 2.4.

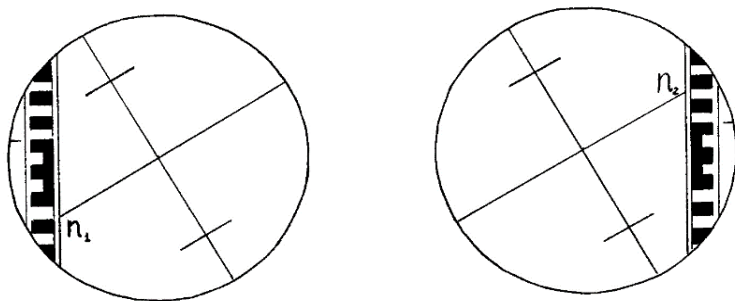


Рис. 2.18. Выполнение четвертой проверки теодолита

Таблица 2.4. Проверка сетки нитей теодолита

Номер определения	n_1 , мм	n_2 , мм	d , м	$n_2 - n_1$, мм
1	1213	1217	40	4
2	2712	2718	40	6

Для расчета допустимой разницы $n_2 - n_1$ применяют формулу (2.6), в аудиторных условиях эту проверку также можно выполнять с помощью отвеса. Для этого наводят перекрестие сетки нитей трубы на середину отвесной линии. Если вертикальная нить сетки нитей совпадает с нитью отвеса, то условие выполнено, если нет – нарушено. Исправление проводят поворотом сетки нитей до совпадения вертикальной нити с нитью отвеса.

2.4. Исследования теодолита

2.4.1. Определение цены деления уровня

Цена деления уровня – угол, на который отклонится ось уровня при смещении пузырька уровня на одно деление. Для определения цены деления уровня приводят теодолит в рабочее положение. Поворотом трубы добиваются отсчета 0° по вертикальному кругу. После этого наводят теодолит на нивелирную рейку, выставленную на расстоянии 50–60 м от прибора и снимают отсчет по рейке L_1 по средней нити (рис. 2.19, а). При этом один из подъемных винтов должен располагаться в направлении визирования (рис. 2.19, б). Вращением этого винта отклоняют пузырек на n (3–4) делений уровня и снимают второй отсчет по рейке L_2 (рис. 2.19, в).

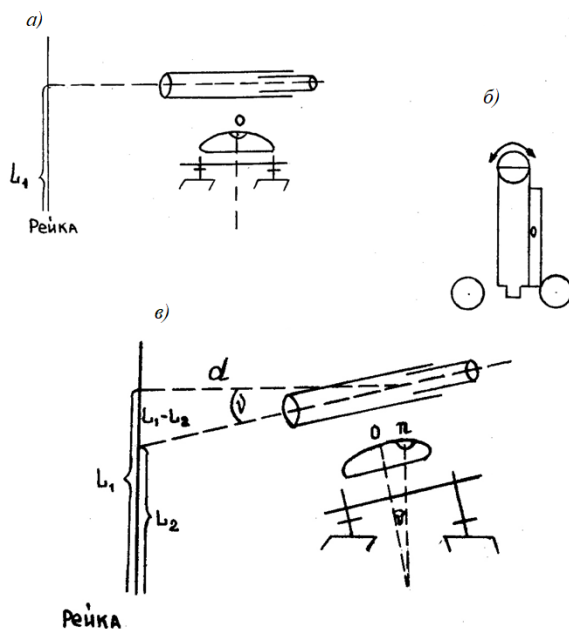


Рис. 2.19. Определение цены деления уровня

Цену деления определяют по формуле

$$\tau = \frac{v}{n} = \frac{(L_1 - L_2)}{d \cdot n} \cdot 206'', \quad (2.7)$$

где τ – цена деления уровня;

v – угол наклона визирной оси;

n – число делений отклонения пузырька уровня от середины;

L_1, L_2 – отсчеты по рейке, мм;

d – расстояние от теодолита до рейки, м.

Все данные записывают в табл. 2.5.

Таблица 2.5. Определение цены деления уровня

Номер определения	L_1 , мм	L_2 , мм	d , м	n	τ''	$\tau''_{\text{ср}}$
1	2 363	2 358	9	4	29	32
2	7 148	7 142	9	4	34	

При выполнении исследования в аудиторных условиях при $d = 7-9v$ расхождения между значениями τ не должны превышать 6". При этом n следует задавать равным 4. Расстояние d определяется по дальномерным нитям или измеряется рулеткой.

2.4.2. Определение увеличения трубы

Для определения увеличения трубы наводят ее на нивелирную рейку, расположенную на расстоянии 3–4 м от прибора, и снимают отсчеты по дальномерным нитям n_1 и n_2 . После этого проектируют дальномерные нити на ту же рейку, рассматриваемую невооруженным глазом, и снимают отсчеты по ним m_1 и m_2 (рис. 2.20).

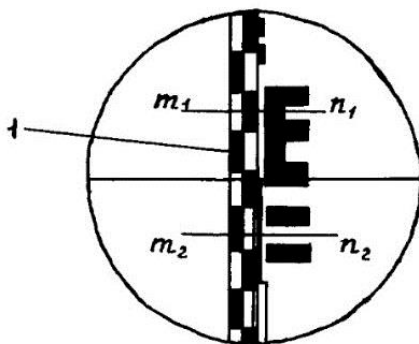


Рис. 2.20. Определение увеличения зрительной трубы: 1 – неувеличенное изображение рейки

Для проектирования дальномерной нити, визируя одним глазом, находят ее в окуляре. После этого, отступив примерно на 5 см назад, открывают второй глаз. В поле зрения трубы появляется неувеличенное изображение 1 рейки (см. рис. 2.20), по которому и снимают отсчет.

Увеличение трубы находят из выражения

$$V^x = \frac{m_1 - m_2}{n_1 - n_2}. \quad (2.8)$$

Необходимые данные при этом записывают в табл. 2.6.

Таблица 2.6. **Определение увеличения трубы**

№ опре- деления	n_1 , мм	n_2 , мм	m_1 , мм	m_2 , мм	V^X	$V^X_{\text{ср}}$
1	1 298	1 271	1 560	1 010	20,4	20,8
2	1 355	1 328	1 630	1 058	21,2	

Расхождение между значениями V^X , определенными дважды, не должно превышать 3^X .

2.4.3. Определение поля зрения трубы

Поле зрения трубы – это угол φ между краями диафрагмы сетки нитей, вершина которого находится в оптическом центре объектива (рис. 2.21).

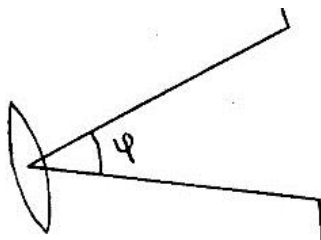


Рис. 2.21. Угол поля зрения зрительной трубы

Для определения угла φ наводят на точку A местности левый край поля зрения трубы (рис. 2.22, *а*) и снимают отсчет a_1 по горизонтальному кругу. После этого поворачивают алидаду и наводят на ту же точку правый край поля зрения (рис. 2.22, *б*) и снимают отсчет по горизонтальному кругу a_2 . Тогда поле зрения трубы определяют по формуле

$$\varphi = a_1 - a_2. \quad (2.9)$$

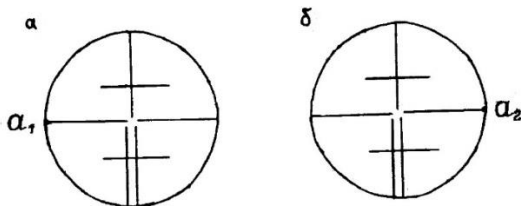


Рис. 2.22. Определение угла φ

Результаты измерений записывают в табл. 2.7.

Таблица 2.7. **Определение поля зрения трубы**

№ определения	a_1	a_2	φ	$\varphi_{\text{ср}}$
1	$68^{\circ}38'$	$70^{\circ}41'$	$2^{\circ}03'$	$2^{\circ}03,5'$
2	$78^{\circ}37'$	$80^{\circ}41'$	$2^{\circ}04'$	

Поле зрения определяют дважды. Расхождение между полученными значениями не должно превышать $2'$.

2.5. Измерение горизонтальных углов, вертикальных углов и расстояний

2.5.1. Измерение горизонтальных углов

Измерение горизонтальных углов выполняют способом полного приема.

Для измерения горизонтального угла β в точке 2 (рис. 2.23) устанавливают теодолит и приводят его в рабочее положение. При КП наводят зрительную трубу на точку 3 местности. При этом лимб должен быть закрепленным!

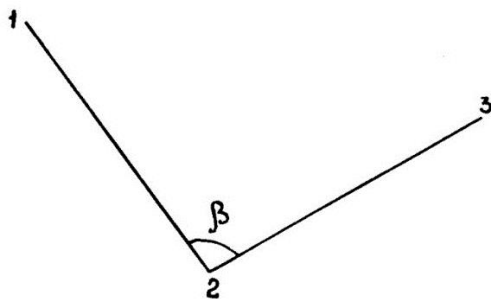


Рис. 2.23. Схема горизонтального угла

Наведение зрительной трубы на точку выполняют следующим образом. Открыв трубу и алидаду, наводят перекрестие оптического коллиматорного визира на точку. Изображение точки должно появиться в поле зрения трубы. Если его не видно, то необходимо вращением

кремальеры добиться четкого изображения предмета, а вращением окуляра установить четкое изображение сетки нитей. После этого, закрепив трубу и алидаду, наводящим винтом алидады, а потом и наводящим винтом трубы наводят перекрестие сетки нитей на заданную точку 3. Если в точке визирования стоит вежа, то перекрестие наводят на ее основание.

Снимают отсчет по горизонтальному кругу, например $321^{\circ}31'$ (табл. 2.8).

Таблица 2.8. Журнал измерения горизонтального угла

Наблюдатель: Якушев Н. С.						Записывал: Мальцев Н. И.						
Но- мера точек		Отсчеты по верньерам				Углы				Прямые, обратные, магнитные азимуты или румбы	Мера линии: 1-е изме- рение, 2-е изме- рение	Углы наклона
стояния	наблюдения	I		II	среднее	КП и КЛ		среднее				
		°	'	'		°	'	°	'			
	3	321	31			101	15					
	1	220	16									
2								101	15,5			
	3	166	41			101	16					
	1	65	25									

После этого открепляют алидаду и наводят зрительную трубу на точку 1. Снимают отсчет по горизонтальному кругу, например $220^{\circ}16'$. Разность отсчетов на точки 3 и 1 дает значение горизонтального угла, измеренного одним полуприемом. Его значение равно $101^{\circ}15'$ (см. табл. 2.8).

Прежде чем перейти к измерению угла при втором положении вертикального круга, необходимо лимб переставить на угол порядка 5° . Это делают в такой последовательности. Открепляют лимб и поворачивают теодолит (при закрепленной алидаде) в какую-либо сторону на угол, равный приблизительно 5° . Потом лимб закрепляют, открепляют алидаду и выполняют измерение угла при КЛ в той же последовательности.

Снимают отсчеты при наведении на точки 3 и 1, записывают в журнал (см. табл. 2.8) и вычисляют второе значение горизонтального

угла – $106^{\circ}16'$. Расхождение между значениями угла, полученными в полуприемах, не должно превышать двойной точности прибора, т. е. $2t = 1'$ для теодолита Т30.

Если расхождение допустимо, то вычисляют среднее значение угла. На этом заканчивают полный прием измерения.

2.5.2. Измерение углов наклона (вертикальных углов)

Порядок измерения углов наклона следующий. Зрительную трубу наводят на точку 3 при положении вертикального круга, например, КЛ. Предварительно необходимо привести в горизонтальное положение цилиндрический уровень при горизонтальном круге с помощью подъемных винтов. Снять отсчет КЛ по вертикальному кругу и записать его в журнал измерения углов (табл. 2.9).

Таблица 2.9. Журнал измерения вертикального угла

Наблюдал: Якушев Н. С.							Записывал: Мальцев Н. И.					
Номера точек		Отсчеты по верньерам				Углы				Прямые, обратные, магнитные азимуты или румбы	Мера линии: 1-е измерение, 2-е измерение	Углы наклона
стояния	наблюдения	I		II	среднее	КП и КЛ		среднее				
		°	'	'		°	'	°	'			
КЛ	3	6	31									+6°32'
2												
КП	3	173	27									+6°32'
$MO = \frac{КЛ + КП - 180^{\circ}}{2} = \frac{6^{\circ}31' + 173^{\circ}27' - 180^{\circ}}{2} = -0^{\circ}01'$												
$v = КЛ - MO = 6^{\circ}31' - (-0^{\circ}01') = +6^{\circ}32'$												
$v = MO + 180^{\circ} - КП = -0^{\circ}01' + 180^{\circ} - 173^{\circ}27' = +6^{\circ}32'$												

Например, при КЛ получен отсчет $6^{\circ}31'$. Поворачивают трубу через зенит и при втором положении круга наводят ее на ту же самую точку. Снимают отсчет по вертикальному кругу, например $173^{\circ}27'$. Вычисляют место нуля (МО) по формуле

$$MO = \frac{КЛ + КП - 180^{\circ}}{2} = \frac{6^{\circ}31' + 173^{\circ}27' - 180^{\circ}}{2} = -0^{\circ}01'$$

и дважды находят значение угла наклона:

$$v = \text{КЛ} - \text{МО} = 6^\circ 31' - (-0^\circ 01') = +6^\circ 32';$$

$$v = \text{МО} + 180^\circ - \text{КП} = -0^\circ 01' + 180^\circ - 173^\circ 27' = +6^\circ 32'.$$

Эти два значения должны быть одинаковыми между собой. На этом заканчивается полный прием измерения вертикального угла.

Если вертикальный угол измеряют теодолитом 2ТЗ0, то здесь методика такая же, как и при измерении теодолитом ТЗ0, но формулы вычислений другие:

$$\text{МО} = (\text{КП} + \text{КЛ}) / 2, \quad (2.10)$$

$$v = \text{МО} - \text{КП}, \quad (2.11)$$

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}. \quad (2.12)$$

2.5.3. Измерение расстояний нитяным дальномером

Измерение проводят в следующем порядке. Наводят теодолит на нивелирную рейку так, чтобы труба занимала положение, примерно соответствующее наклону измеряемой линии. Снимают отсчеты по верхней n_1 и нижней n_2 дальномерным нитям. Расстояние вычисляют по формуле

$$D = (n_2 - n_1) \cdot 100. \quad (2.13)$$

В нашем случае (рис. 2.24) $n_1 = 1\,000$ мм, $n_2 = 1\,098$ мм, тогда $D = (1\,098 - 1\,000) \cdot 100 = 98 \cdot 100 = 9,8$ м. Результаты измерений записываются в табл. 2.10.

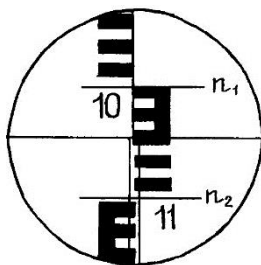


Рис. 2.24. Измерение расстояний нитяным дальномером

Таблица 2.10. Измерение расстояний нитяным дальномером

Точка стояния	Точка наведения	Отсчеты, мм		$n_2 - n_1$	Д, м
		n_1	n_2		
2	3	1 000	1 098	98	9,8

Лабораторная работа 3. ИЗУЧЕНИЕ ТОЧНЫХ ТЕОДОЛИТОВ

Цель:

1. Изучить устройство, основные исследования и поверки теодолитов 2Т5К, 3Т5КП, Т2, 2Т2, 3Т2КП, ДТ5.
2. Исследовать рен отсчетного приспособления и выполнить поверки одного из теодолитов по указанию преподавателя.
3. Измерить направления способом круговых приемов.

3.1. Устройство точных оптических теодолитов

Принципиальная схема точных теодолитов такая же, как и технических. Они включают следующие основные части:

- 1) рабочую меру (эталон), имеющую детали, нанесенные с высокой степенью точности (горизонтальный и вертикальный круги);
- 2) осевую систему, т. е. систему приспособлений для ориентирования прибора относительно отвесной линии в данной точке (основная ось, уровни);
- 3) визирное приспособление;
- 4) отсчетное приспособление.

Согласно ГОСТу теодолиты обозначают буквой «Т» и числом, соответствующим средней квадратической погрешности измерения угла одним приемом в лабораторных условиях. Цифра слева – номер модификации. Для теодолитов с компенсатором добавляется буква К, а с прямым изображением – буква П, например, 3Т2КП. Расшифровывается так: третья модель теодолита с точностью 2 с компенсатором и прямым изображением зрительной трубы.

Современные точные теодолиты изготавливаются со стеклянными угломерными кругами в виде кольца, на котором нанесены деления с оцифровкой по ходу часовой стрелки. Цена деления лимба у теодолитов 2Т5К и 3Т5КП составляет 1° , у теодолитов 3Т2КП и др. – $20'$. Также к точным теодолитам можно отнести и электронные теодолиты со средней квадратической погрешностью угловых измерений $2-5''$. К ним относят FET 110, FOIF DT-202, Atlas t5, DT-5 и др.

Электронные теодолиты не получили такого широкого распространения, как оптические, но на производстве широко используются электронные тахеометры, представляющие собой комбинацию электронного теодолита, лазерного дальномера и микроЭВМ. Технические характеристики оптических теодолитов приведены в табл. 3.1, а электронных – в табл. 3.2.

Таблица 3.1. Характеристики точных теодолитов

Основные параметры	3Т2КП	2Т5К	3Т5КП
Средняя квадратическая ошибка измерения угла	2	5	5
Увеличение зрительной трубы, крат, не менее	30	27,5	30
Диаметр свободного отверстия объектива зрительной трубы, мм, не менее		38	
Наименьшее расстояние визирования, м, не более	1,5	1,5	1,5
Диаметры кругов, мм, не более			
горизонтального	90	90	90
вертикального	90	72	90
Цена деления лимба, угловые минуты	20	60	60
Цена деления оптического микрометра, угловые секунды	1	60	60
Цена деления уровня (на 2 мм)			
При алидаде горизонтального круга	15	30	30
Масса теодолита, кг, не более	4,7	3,7	3,7
Диапазон работы компенсатора, угловые минуты	4	3,5	4
Точность компенсации, угловые секунды	1	2	2

Таблица 3.2. Технические характеристики электронных теодолитов

Параметры	Модель			
	DT5	FOIF DT-202	PENTAX ETH-302	TEO Dis ERT 5
1	2	3	4	5
Длина зрительной трубы, мм	155	—	—	—
Незатененная диафрагма объектива, мм	45	—	45	—
Увеличение, крат	30 [×]	30 [×]	30 [×]	30 [×]
Разрешающая способность, с	2,5	1	3	1
Минимальное расстояние фокусировки, м	1,3	1,0	1,35	1,1
Дисплей, кол-во	2	1	1	1
Угловое измерение, град	360	360	360	360
Максимальное чтение (по выбору)	5"/10"	1"	5"(1/5 выбор)	1"(5 выбор)
Точность (ДИН 18723), с	10	2	2	1
Чувствительность уровня, с/мм:				
плоский уровень	30 / 2		30 / 2	30 / 2
круглый уровень	8 / 2		8 / 2	8 / 2

1	2	3	4	5
Оптический отвес	—	—	Имеется	Лазерный
Увеличение, крат	3×		3×	
Диапазон фокусировки	От 0,5 м до ∞			
Электропитание	4×1,5 В АА батареи		4×АА батареи	4×АА батареи
Продолжительность работы, ч	15	8	22–28	20
Температурный диапазон, °С	От –20 до +50			
Масса, кг	4,8	4,8	4,6	5,2

Примечание. У всех моделей теодолитов зрительные трубы с прямым изображением.

Указанные теодолиты имеют цилиндрические вертикальные оси. Система осей неповторительная. У современных теодолитов наводящие и закрепительные устройства алидады и зрительной трубы соосны и снабжены механизмами закрепления куркового типа. Все точные теодолиты снабжены оптическими центрами, расположенными в алидадной части.

В качестве визирных приспособлений применяются зрительные трубы с внутренней фокусировкой. Для предварительного наведения на визирные цели имеются коллиматорные визиры. Зрительные трубы теодолитов 2Т5К, 2Т2 отличаются тем, что сетка нитей в них закреплена неподвижно. Устранение коллимационной ошибки достигается поворотом клинового кольца, укрепленного в корпусе трубы. У теодолитов 3Т5КП и 3Т2КП кроме клинового кольца имеются юстировочные винты сетки нитей.

В качестве отсчетных приспособлений в точных теодолитах используются оптические микрометры (3Т2КП) или шкаловые микроскопы (2Т5КП, 3Т5КП). Наиболее точным отсчетным приспособлением является оптический микрометр. Действие его основано на измерении доли деления лимба путем смещения изображения штрихов лимба специальными компенсаторами и измерения этого смещения с помощью шкалы микрометра.

Для изучения и запоминания основных частей конкретных марок теодолитов рекомендуется пользоваться приведенными рисунками и кратким описанием. Более обширные сведения о точных теодолитах,

оптические схемы и принцип действия оптических микрометров можно получить из литературных источников [11, 12].

Теодолиты 2Т5К (рис. 3.1) и 3Т5КП (рис. 3.2) предназначены для измерения углов в геодезических сетях сгущения, съемочных сетях, для производства тахеометрических съемок и других работ. Сверху теодолита вместо ручки можно устанавливать светодальномер СТ5 для измерения расстояния с высокой точностью.

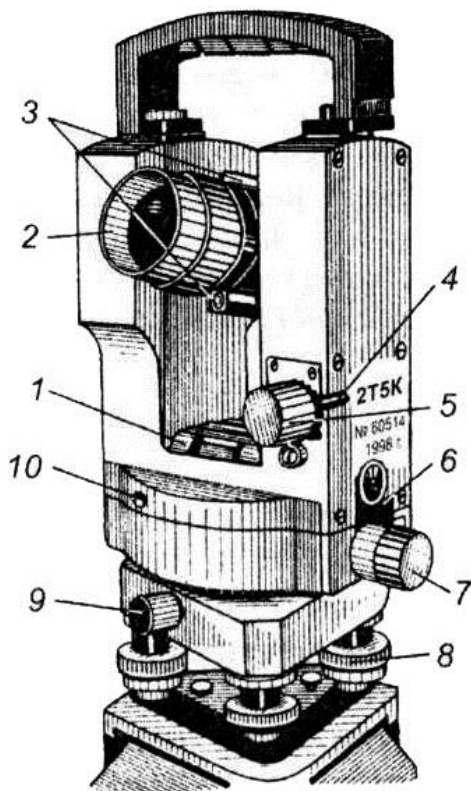


Рис. 3.1. Теодолит 2Т5К (общий вид): 1 – уровень; 2 – объектив; 3 – коллиматорный визир; 4 – зажимное устройство вертикального круга; 5 – наводящий винт вертикального круга; 6 – зажимное устройство горизонтального круга; 7 – наводящий винт горизонтального круга; 8 – подъемный винт; 9 – зажимной винт трегера (подставки); 10 – окно искателя горизонтального круга

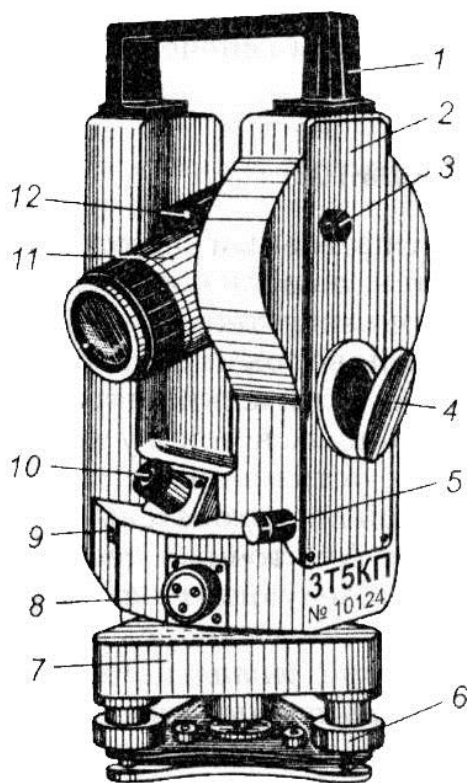


Рис. 3.2. Теодолит 3Т5КП (общий вид): 1 – ручка;
 2 – боковая крышка; 3 – пробка; 4 – зеркало; 5 – установочный винт;
 6 – подъемный винт; 7 – трегер (подставка); 8 – рукоятка перестановки
 горизонтального круга; 9 – окно искателя горизонтального круга;
 10 – окуляр оптического центрира; 11 – зрительная труба;
 12 – коллиматорный визир

Теодолиты снабжены маятниковыми компенсаторами с призмой, которые обеспечивают автоматическое приведение отсчетного индекса к горизонту при отклонении вертикальной оси от отвесного положения в пределах 3' (2Т5К) и 4' (3Т5КП).

Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла одним приемом составляет 5", а вертикального – 10". (После введения поправки за влияние эксцентриситета вертикального круга 5".)

Отсчетным приспособлением теодолитов 2Т5К и 3Т5КП служит шкаловой микроскоп, состоящий из равномерной шкалы и микроскопа. Шкала содержит 60 делений. Видимый размер шкалы соответствует одному градусному делению лимба, поэтому цена деления шкалы равна 1'. Отсчеты производятся с точностью до 0,1' по одной стороне горизонтального и вертикального кругов.

Оцифровка вертикального круга выполняется по секторам от 0 до 75° и от -0 до -75°, что упрощает измерение углов наклона. Поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т5К показано на рис. 3.3, а теодолита 3Т5КП – на рис. 3.4.

Шкала для отсчетов по вертикальному кругу имеет два ряда подписей. При отрицательных углах наклона перед градусными делениями стоит знак «-». У теодолита 2Т5К соответственно обозначены и деления шкалы. На рис. 3.3 отсчет по вертикальному кругу равен -0°34,2', по горизонтальному – 127°06,5'. У теодолита 3Т5КП по обе стороны шкал расположены математические символы «+» и «-». Во время измерения углов одна пара символов оказывается открытой, а другая – закрытой в зависимости от того, при каком положении круга производится измерение. Верхний знак относится к верхнему ряду цифр шкалы, а нижний – к нижнему.

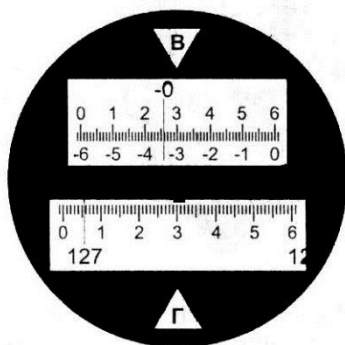


Рис. 3.3. Поле зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т5К

В поле зрения отсчетного микроскопа содержится информация о том, при каком положении теодолита произведен отсчет: Л (круг слева) или П (круг справа). Однако в обоих случаях отсчеты по величине и знаку будут соответствовать измеренному вертикальному углу.

(При измерениях теодолитом 2Т5К правильный знак будет при положении «круг лево».)

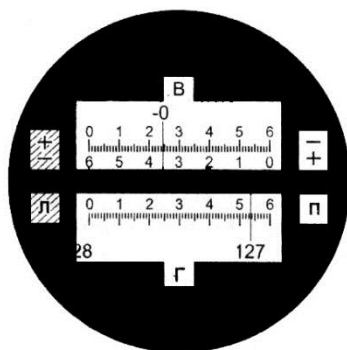


Рис. 3.4. Поле зрения шкалового микроскопа теодолита 3Т5КП

На рис. 3.4 отсчет по вертикальному кругу составляет $-0^{\circ}35,2'$, по горизонтальному $-127^{\circ}53,6'$.

В отличие от 2Т5К теодолит 3Т5КП снабжен устройством для точной установки отсчета по горизонтальному кругу.

Теодолиты 3Т2КП (рис. 3.5) используются при измерении углов в государственных сетях триангуляции и полигонометрии 3-го, 4-го классов, в сетях сгущения, в прикладной геодезии и других геодезических построениях. Точность измерения горизонтального угла одним приемом характеризуется средней квадратической ошибкой $3''$, для остальных $-2''$. Вертикальные углы (зенитные расстояния) измеряются со средней квадратической ошибкой $2,4''$.

Все точные теодолиты снабжены ориентир-буссолями и окулярными насадками. Последние применяются для удобства визирования на цели, расположенные под значительными углами к горизонту. Насадки снабжены откидными светофильтрами для визирования на Солнце. Для быстрой установки теодолита по заданному направлению имеются круги – искатели направлений.

Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 3Т2КП изображено на рис. 3.6. В верхней половине большого окошка видно изображение штрихов основной стороны круга, а в нижней – изображение противоположной ей стороны (горизонтальный круг имеет двойные штрихи). В малом окошке виден горизонтальный штрих-индекс и изображение штрихов шкалы микрометра.

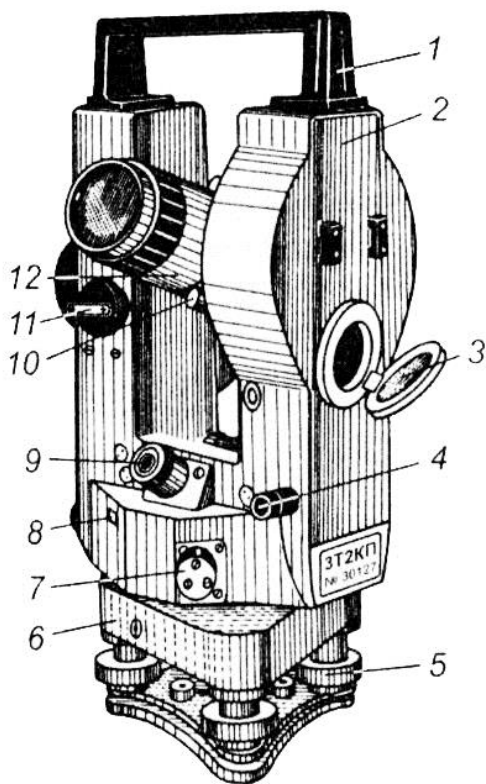


Рис. 3.5. Теодолит 3Т2КП: 1 – ручка; 2 – боковая крышка; 3 – зеркало; 4 – установочный винт; 5 – подъемный винт; 6 – подставка (трегер); 7 – рукоятка перестановки горизонтального круга; 8 – окно круга-искателя; 9 – окуляр оптического центрира; 10 – коллиматорный визир; 11 – рукоятка переключателя оптических каналов угломерных кругов; 12 – зрительная труба

Чтобы снять отсчет по кругу, необходимо вращением рукоятки микрометра совместить изображения верхних и нижних штрихов круга, расположив их на продолжении друг друга. Число градусов и десятки минут отсчитываются в верхнем окне. При этом берется та цифра десятков минут, которая стоит под цифрой градусов. Единицы минут следует отсчитывать в малом окошке по левому ряду цифр, десятки секунд – там же, но по правому ряду цифр. Секунды и их доли от-

считывают по неподвижному индексу, имея в виду, что каждое малое деление шкалы соответствует 1". Совмещение штрихов наблюдается в среднем окне. На приведенном рис. 3.6 отсчет по горизонтальному кругу теодолита 3Т2КП равен 17°25'25,9".

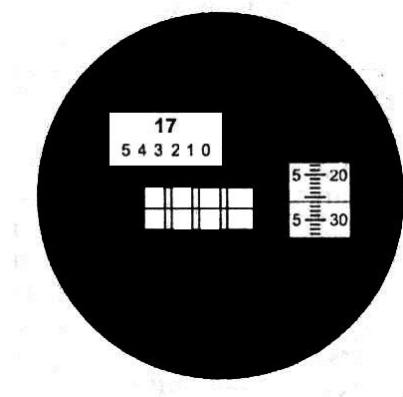


Рис. 3.6. Поле зрения теодолита 3Т2КП

Аналогично производится отсчет по вертикальному кругу. При этом ручка переключателя изображений кругов должна находиться в вертикальном положении. В отличие от горизонтального круга деления на вертикальном круге одинарные. Перед отсчетом необходимо приводить на середину пузырек уровня при алидаде вертикального круга.

Следует иметь в виду, что этими теодолитами обычно измеряют не углы наклона, а зенитные расстояния. Зенитное расстояние – это угол, отсчитываемый от верхнего конца отвесной линии до направления на данную точку. Оно дополняет угол наклона до 90°. Местом зенита MZ называется отсчет по вертикальному кругу при установке визирной оси трубы в отвесное положение объективом вверх и пузырька уровня при алидаде вертикального круга на середину.

Формулы для вычисления зенитных расстояний имеют вид:

$$Z = \frac{\text{Л} - \text{П} + 360^\circ}{2} ; \quad (3.1)$$

$$Z = \text{Л} - MZ ; \quad (3.2)$$

$$Z = MZ - \Pi ; \quad (3.3)$$

$$MZ = \frac{\Pi + \Pi - 360^\circ}{2}, \quad (3.4)$$

где Z – зенитное расстояние;

Π , Π – отсчеты по вертикальному кругу слева и справа;

MZ – место зенита.

При необходимости к MZ нужно прибавить 360° .

У электронных теодолитов используется система отсчета с оптико-электронным сканированием, позволяющая автоматизировать процесс угловых измерений и повысить приборную точность.

Электронные теодолиты позволяют накапливать результаты измерений в памяти прибора с последующей их передачей в ЭВМ. Это позволяет автоматизировать процессы измерений и обработки результатов.

В электронных теодолитах применяются два типа АЦП, отличающиеся методом получения информации об угле в виде электрических сигналов. Эти два метода получили название кодового и инкрементального. Последний часто называют цифровым или дигитальным.

При кодовом методе лимб, с которого считывается угловая величина, представляет собой кодовый диск. На нем нанесена система кодовых дорожек, состоящих из отдельных элементов типа «да – нет» (например, прозрачных и непрозрачных участков), обеспечивающих возможность создания сигналов 1 и 0 в двоичной системе при считывании. Расположение этих элементов таково, что они в определенном коде зашифровывают угловую величину. Каждая дорожка обычно соответствует определенному разряду в значении измеряемой угловой величины. При кодовом методе каждому угловому направлению (положению кодового диска) однозначно соответствует определенный кодированный выходной сигнал. Для считывания информации кодовый диск просвечивается световым пучком, который затем поступает на фотоприемное устройство, позволяющее получить на выходе различные комбинации электрических сигналов при изменении углового положения кодового диска. Таким образом, каждая комбинация соответствует определенному значению углового направления; далее электрические сигналы поступают в логические схемы обработки, осуществляющие декодирование и воспроизведение измеряемой величины в цифровом виде на табло.

На рис. 3.7 приведена принципиальная схема углового преобразователя электронного теодолита и показан измерительный кодовый диск.

Инкрементальный метод основан на использовании штрихового раstra – системы радиальных штрихов, наносимых на внешнем крае лимба или алидады через одинаковые интервалы. Плотность раstra может достигать сотен штрихов на 1 мм, что обеспечивает высокую точность измерений. Штрихи и интервалы между ними образуют последовательность элементов «да – нет», которые в этом случае называют инкрементами.

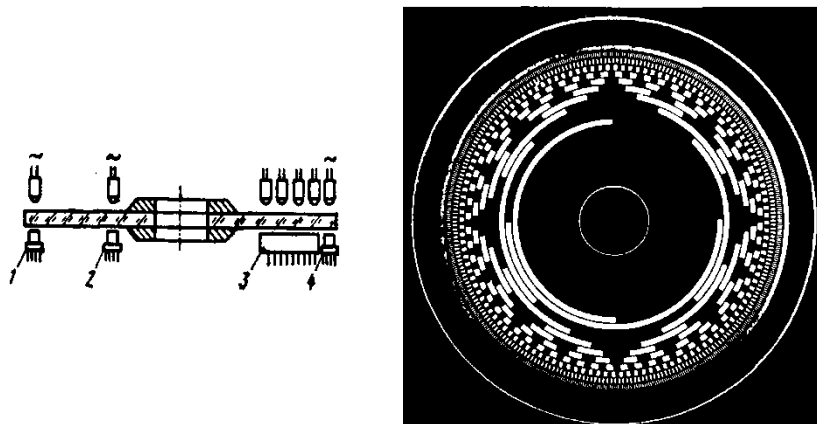


Рис. 3.7. Принципиальная схема углового преобразователя тахеометра и кодовый диск:

1, 4 – диаметрально расположенные считывающие системы точного отсчета (для устранения влияния эксцентриситета); 2 – считывающая система промежуточного (средней точности) отсчета; 3 – считывающая система грубого отсчета

Угол поворота такого растрового круга оценивается по количеству инкрементов, прошедших через фиксированную точку. Считывание производится оптическим методом и количество прошедших инкрементов выражается числом импульсов света, поступающих на фотоприемник.

При инкрементальном методе определяются изменения углового положения круга, т. е. измеряются углы. При кодовом методе измеряются направления, а углы вычисляются как разность направлений. Для повышения точности считывания углов в обоих методах применяют интерполяторы.

Микропроцессоры в электронных теодолитах осуществляют функции управления, контроля и вычислений. На табло могут выдаваться горизонтальные и вертикальные углы или зенитные расстояния.

В электронных теодолитах имеются микроЭВМ (микрокомпьютеры) и данные могут не только выдаваться на табло, но также регистрироваться в запоминающем устройстве, выводиться на внешний накопитель или сразу обрабатываться в соответствии с заложенными в память программами. Характеристики некоторых распространенных моделей теодолитов приведены в табл. 3.2, а внешний вид одного из них представлен на рис. 3.8.

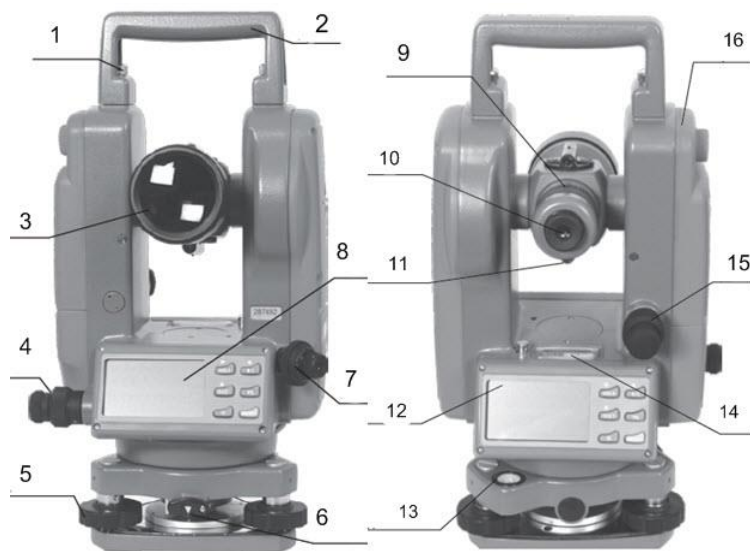


Рис. 3.8. Теодолит DT-5:

- 1 – винт ручки; 2 – ручка; 3 – объектив; 4 – наводящий и закрепительный винты алидады; 5 – подъемный винт; 6 – ручка-фиксатор трегера; 7 – оптический центр; 8 – экран 1; 9 – кремальера; 10 – окуляр; 11 – коллиматорный визир; 12 – экран 2; 13 – круглый уровень; 14 – цилиндрический уровень; 15 – наводящий и закрепительный винт трубы; 16 – аккумулятор

Внешний вид электронного теодолита в целом аналогичен оптическому теодолиту. Отличие связано с системой снятия отсчетов. У электронных теодолитов снятие отсчетов с кругов происходит в автоматизированном режиме. В связи с этим у них отсутствуют: зеркальце, иллюминатор круга-искателя, оптический микроскоп, но имеется панель управления. Панель управления включает дисплей и клавиатуру.

Для работы с электронным теодолитом после центрирования и горизонтирования его необходимо включить, нажав на кнопку ON. Перевести трубу через зенит. Если установка прибора выполнена верно (отсутствует наклон вертикальной оси), то на экране отобразится вертикальный угол. Если отображается надпись TILT, то необходимо горизонтировать прибор или выполнить поверки уровней и компенсатора с последующим горизонтированием прибора. Для установления начального нулевого отсчета необходимо навести зрительную трубу на первую измеряемую точку и нажать OSET.

Методика выполнения угловых измерений аналогична методике работы с оптическими приборами.

Для детального изучения конкретной марки теодолита необходимо использовать паспорт прибора.

3.2. Исследование теодолитов

Исследование теодолитов включает: внешний осмотр и опробование, определение увеличения и угла поля зрения трубы, цены деления уровня, коэффициента нитяного дальномера, определение средней квадратической ошибки совмещения изображения штрихов лимба, определение рена оптического микрометра или шкалового микроскопа, исследование эксцентриситета алидады.

Данное задание предусматривает выполнение внешнего осмотра и опробование теодолита, а также определение рена оптического микрометра или шкалового микроскопа. Определение средней квадратической ошибки совмещения изображений штрихов лимба необходимо сделать по данным исследований рена оптического микрометра.

Далее приведены методические указания по выполнению исследований, предусмотренных заданием.

3.2.1. Внешний осмотр и опробование

Двое студентов исследуют один из теодолитов.

В результате проведения внешнего осмотра необходимо установить соответствие теодолита следующим требованиям: полнота комплекта; отсутствие механических повреждений, влияющих на эксплуатационные свойства; чистота поля зрения отсчетного микроскопа, зрительной трубы и оптического центра, рабочих поверхностей угломерных кругов.

Опробование теодолита заключается в проверке взаимодействия узлов и устойчивости прибора на штативе.

Необходимо опробовать плавность вращения зрительной трубы, алидады горизонтального круга, наводящих винтов, кремальеры, диоптрийных колец окуляров зрительной трубы, микроскопа, оптического центра, подъемных винтов подставки, плавность движения окулярного колена центрира.

Необходимо также убедиться в работоспособности закрепительных винтов зрительной трубы, алидады горизонтального круга и подставки, механизма перевода горизонтального круга, компенсатора.

Для проверки подвижности маятника компенсатора и скорости его успокоения нужно слегка постучать по колонке теодолита, наблюдая изображение штрихов вертикального круга. Не позднее чем через 2 с после постукивания должна обеспечиваться возможность отсчитывания по вертикальному кругу.

Следует оценить четкость изображения штрихов лимба и отсчетных шкал в поле зрения микроскопа. Убедиться, что наилучшая их резкость достигается при одном положении окуляра без перефокусировки.

Для проверки устойчивости штатива и подставки теодолит нужно установить на штативе, вертикальную ось привести в отвесное положение и навести зрительную трубу на какой-либо предмет. Затем, приложив к головке штатива небольшое крутящее усилие в горизонтальной плоскости, сместить визирную ось с выбранной цели примерно на половину ширины биссектора. После снятия усилия вертикальный штрих сетки должен вернуться в исходное положение. Поверка проводится при крутящем усилии противоположного направления. Если условие не выполняется, то следует потуже затянуть крепежные винты ножек штатива в шарнирах головки и башмаках.

Добившись устойчивости штатива, нужно аналогичным способом проверить устойчивость подставки (крутящие усилия прилагать к ней). В случае смещения точки с перекрестия нитей следует подтянуть гайки регулировки хода подъемных винтов, но не применяя слишком больших усилий при их закреплении.

Результаты исследований необходимо отразить в отчете.

3.2.2. Определение рена шкалового микроскопа

Рен шкалового микроскопа теодолитов 2Т5КП, 3Т5КП находят по формуле

$$r = 60' - b_i, \quad (3.5)$$

где 60 – теоретическое число делений шкалы, соответствующее одному делению лимба;

b_i – фактическое число делений шкалы, укладывающееся в одном делении лимба.

Для определения рена нужно совместить нуль шкалы с каким-либо штрихом лимба и сделать отсчет b_i по правому концу шкалы (рис. 3.9).

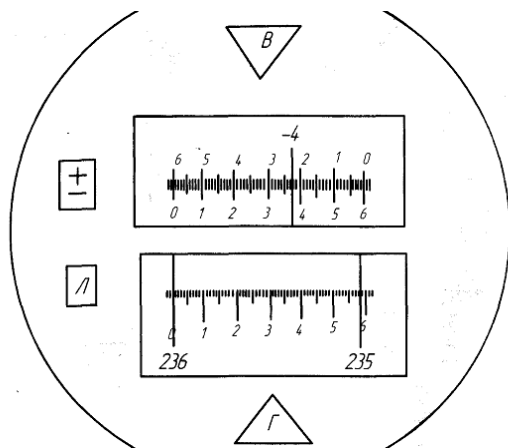


Рис. 3.9. Снятие отсчета b_i ($b_i = 58,5'$)

Измерения нужно выполнять на разных частях лимба через 45 или 60°. Из всех значений рена вычислить среднее. По абсолютной величине оно не должно превышать для указанных теодолитов 0,05'. Если $r_{\text{ср}} > 0,05'$, прибор юстируют в мастерской или вводят поправки в отсчеты, которые необходимо рассчитать по формуле

$$\delta = N \frac{r_{\text{ср}}}{60}, \quad (3.6)$$

где N – отсчет по шкале, мин.

Пример определения рена шкалового микроскопа теодолита 2Т5К приведен в табл. 3.3.

Таблица 3.3. Исследование рена шкалового микроскопа теодолита 2Т5К № 10341 (горизонтальный круг)

Установка алидады, град	Отсчет по шкале b_i	Рен $r = 60' - b_i$	Поправки за рен	
			Отсчет по шкале N	Поправка в отсчет
0	60,2	-0,2	10	-0,02
45	60,1	-0,1	20	-0,05
90	60,2	-0,2	30	-0,07
135	60,1	-0,1	40	-0,09
180	60,2	-0,2	50	-0,12
225	60,0	0,0	60	-0,14
270	60,2	-0,2	—	—
315	60,1	-0,1	—	—

По этим данным имеем:

$$\sum r = -1,1;$$

$$r_{\text{ср}} = \frac{\sum r}{n} = \frac{-1,1}{8} = -0,14 \text{ '}$$

3.3. Поверки точных теодолитов

У точных теодолитов проверяется выполнение следующих основных условий:

- 1) ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита;
- 2) ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси теодолита;
- 3) визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси теодолита;
- 4) горизонтальная ось должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита;
- 5) вертикальная нить трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси теодолита (горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна вертикальной оси теодолита);
- 6) визирная ось оптического центра должна совпадать с вертикальной осью теодолита;
- 7) компенсатор теодолита 2Т5К должен обеспечивать неизменный отсчет по вертикальному кругу при наклоне вертикальной оси теодолита в пределах $3'$.

Большинство поверок точных теодолитов выполняется так же, как и технических. Подробное описание первых пяти поверок, с которыми студенты уже знакомы, дано в методических указаниях по изучению технических теодолитов. Здесь необходимо обратить внимание на особенности выполнения третьей поверки теодолитов с односторонними отсчетными приспособлениями. Для выполнения поверки теодолит нужно установить в рабочее положение; навести крест сетки нитей на точку, которая расположена примерно на одной высоте с теодолитом, и взять отсчет $КП_1$ по горизонтальному кругу; перевести трубу через зенит, навести на ту же точку и взять отсчет $КЛ_1$; открепить теодолит в треножнике, повернуть на 180° , после чего повторить наведение и взять отсчет $КП_2$ и $КЛ_2$. Коллимационная ошибка, вычисляемая по формуле (3.7), не должна превышать двойной величины ошибки отсчета.

$$C = \frac{(КП_1 - КЛ_1 \pm 180^\circ) + (КП_2 - КЛ_2 \pm 180^\circ)}{4}. \quad (3.7)$$

Для ее устранения нужно вычислить исправленный отсчет $КЛ_2 + C$ и установить его на лимбе наводящим винтом алидады. В результате крест сетки нитей сойдет с выбранной точки. Открыв немного вертикальные винты сетки, боковыми юстировочными винтами нужно переместить сетку нитей до совпадения креста с точкой визирования. Поверку следует повторить и при необходимости уточнить юстировку, после чего умеренно затянуть вертикальные винты сетки.

Напомним, что у теодолитов 2Т2, 2Т5К сетка нитей отцентрирована и закреплена неподвижно. Устранение коллимационной ошибки достигается поворотом клинового кольца, расположенного посередине трубы, специальным ключом.

Поверку оптического центра, расположенного в алидадной части прибора, выполнить следующим образом. Теодолит установить на штативе или кронштейне, под ним закрепить листок бумаги и отметить на ней проекцию оси центра (центр кружка). Если условие выполнено, то при вращении алидады изображение отмеченной точки не должно выходить за пределы малой окружности. Юстировку производят путем перемещения окулярного колена центра в плоскости боковой крышки теодолита, делать это рекомендуется в присутствии преподавателя.

В теодолитах 2Т2, 2Т5К оптические центры юстируют только в мастерских.

Поверку компенсатора у теодолитов Т5К, 2Т5К выполнить следующим образом. Теодолит установить на штативе или кронштейне с расче-

том, чтобы один из подъемных винтов подставки располагался в направлении выбранной точки визирования. Привести ось вращения теодолита в отвесное положение, навести крест сетки нитей на точку и снять отсчет по вертикальному кругу.

Продолжая наблюдать в микроскоп, медленно вращать подъемный винт подставки до тех пор, пока не прекратится смещение изображения штриха вертикального круга относительно шкалы микроскопа. Взять второй отсчет по кругу. Разность отсчетов должна быть не менее $3'$. Аналогично проверить отклонение компенсатора в другую сторону, вращая винт в противоположном направлении. Если диапазон работы компенсатора окажется меньше $3'$, теодолит необходимо исправить в мастерской.

Затем нужно определить погрешность работы компенсатора: отгоризонтировать теодолит, навести зрительную трубу на цель и взять отсчет b_1 ; вращением подъемного винта, расположенного в коллимационной плоскости, уменьшить отсчет на $3'$, а вращением наводящего винта трубы навести перекрестие сетки нитей на цель и взять отсчет b_2 ; подъемным винтом подставки наклонить теодолит в противоположную сторону на $3'$ (увеличить отсчет b_1 на $3'$), навести зрительную трубу на цель и взять отсчет b_3 . Если условие выполнено, то все три отсчета должны быть одинаковыми. При расхождении более $0,1'$ теодолит юстируют в мастерской.

Аналогично проверяется компенсатор теодолита 3Т2КП. Более детальное выполнение этой поверки дается в паспорте прибора.

3.4. Измерение направлений способом круговых приемов

При выполнении задания в лабораторных условиях теодолит устанавливается на кронштейне и центрируется над имеющейся под ним точкой. Визирными целями служат марки, закрепленные на стенах. Двое студентов измеряют три направления четырьмя приемами, попеременно выполняя роль наблюдателя и помощника.

Измерение теодолитом Т2, 2Т2 или 3Т2КП произвести в такой последовательности. Центрировать теодолит над точкой 35 (рис. 3.10) и привести в рабочее положение. При круге лево зрительной трубы навести на начальную (левую) точку 37. Установить отсчет по шкале микрометра на $1-2'$ больше 0, а отсчет по лимбу – 0° . Открепить алидаду, навести ее последовательно на точки 52, 96, 4 и снять отсчеты по кругу-искателю. В последующем эти отсчеты используются для

быстрого отыскания точек визирования. Повернуть алидаду 1–2 раза по часовой стрелке и снова навести на точку 37. (Окончательное наведение на точку всегда делать ввинчиванием наводящего винта!)

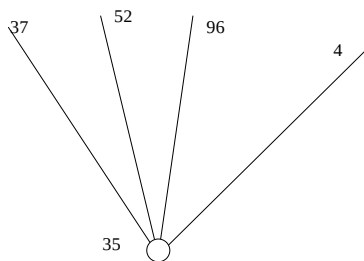


Рис. 3.10. Схема расположения точек

Барabanом микрометра точно совместить изображение делений лимба и снять отсчет. Несколько повернув барабан против часовой стрелки, снова совместить деления лимба и сделать второй отсчет по шкале микрометра. При окончательном совмещении штрихов барабан оптического микрометра следует вращать только по ходу часовой стрелки. Из двух отсчетов взять среднее. Затем, оставляя лимб закрепленным и вращая алидаду по ходу часовой стрелки, нужно визировать последовательно на точки 52, 96, 4, 37, снимать по два отсчета и записывать их в журнал (табл. 3.4).

Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление (точка 37) в начале и конце полуприема не должно превышать установленных допусков. По действующим инструкциям для указанных теодолитов этот допуск составляет 8". В данном случае незамыкание горизонта при круге лево составило +6,5".

Описанные действия составляют первый полуприем. Для выполнения второго полуприема нужно перевести трубу через зенит, повернуть алидаду против часовой стрелки 2–3 раза, навести на начальную точку 37 и снять отсчет по лимбу. Результат ($180^{\circ}02'02,1''$) записать ниже последнего отсчета при круге лево. Затем, вращая алидаду против хода часовой стрелки, визировать последовательно на точки 4, 96, 52, 37. При этом запись отсчетов вести снизу вверх. Как и в первом полуприеме, проконтролировать замыкание горизонта. (В нашем случае незамыкание составило +4,4".)

Таблица 3.4. Журнал измерения направлений

Название пункта: 35

Прием: 1,3

Дата: 15.06.2015

Погода: ясно

Время нач.: 18 ч 40 м

Видимость: 10 км

Наблюдал: Петров В. И.

Конец: 18 ч 55 м

Изобраз.: отчетлив., спок.

Помощник: Федоров В. А.

Назв. напр.	Круг	Отсчеты			$\frac{A+B}{2}$	$\frac{Л+П}{2}$	Направление	2С
		лимб	А	В				
		о	’ ”	’ ”	’ ”	’ ”	о ’ ”	”
37	Л	0	02 05,1	02 05,5	02 05,3	02 01,6	0 00 00,0	+7,3
	П	180	01 58,3	01 57,8	01 58,0			
52	Л	23	23 12,6	23 11,6	23 12,1	23 08,2 ^{-1,4}	23 21 05,2	+7,7
	П	203	23 04,8	23 03,9	23 04,4			
96	Л	45	00 02,1	00 02,0	00 02,0	59 58,9 ^{-2,8}	44 57 54,5	+6,3
	П	224	59 55,4	59 56,0	59 55,7			
4	Л	83	01 55,4	01 55,2	01 55,3	01 51,2 ^{-4,2}	82 59 45,4	+8,3
	П	263	01 47,3	01 46,6	01 47,0			
37	Л	0	02 12,2	02 11,4	02 11,8	02 07,1 ^{-5,5}		+9,4
	П	180	02 02,1	02 02,8	02 02,4			
	Л		$\Delta л = +6,5$	$\Delta п = +4,4$		$\Delta ср = +5,5$		
	П							
37	Л	90	03,2			03,50	0 00 00	-0,6
	П	270	03,8					
52	Л	113	24,3			24,55 ^{-0,04}	23 21,01	-0,5
	П	293	24,8					
96	Л	135	00,9			01,30 ^{-0,08}	44 57,72	-0,8
	П	215	01,7					
4	Л	173	03,2			03,40 ^{-0,12}	82 59,78	-0,4
	П	353	03,6					
37	Л	90	03,4			03,65 ^{-0,15}		-0,5
	П	270	03,9					
			$\Delta л = +0,2$	$\Delta п = +0,1$		$\Delta ср = +0,15$		

Дальнейшую обработку журнала выполнить так. Вычислить величину $2С = Л - П$, которая при небольших углах наклона представляет собой двойную коллимационную ошибку прибора и должна оставаться примерно одинаковой. При обычных наблюдениях колебание величины $2С$ допускается до $10''$. В условиях аудитории этот допуск можно увеличить в 1,5 раза. Затем найти средние отсчеты $\frac{Л+П}{2}$ для каждого направления. (Половину абсолютного значения величины $2С$ прибавить к меньшему отсчету $Л$ или $П$.) Величину замыкания на началь-

ное направление в приеме нужно распределить с обратным знаком на все направления пропорционально их порядковым номерам.

Поправки вычислить по формуле

$$\delta_k = \frac{\Delta_{\text{cp}}}{n} (k - 1), \quad (3.8)$$

где Δ_{cp} – среднее значение незамыкания горизонта;

n – число направлений в приеме;

k – номер направления (начальное принимается за первое).

После записать поправки над средними отсчетами. Для последующего сравнения все измеренные направления надо привести к начальному, равному нулю. Для этого из всех измеренных направлений с учетом поправки δ нужно отнять среднее значение первого направления на начальный пункт.

Описанные действия составляют один прием. Для измерения направлений p приемами перед каждым последующим приемом лимб переставляют на угол

$$\sigma = \frac{180^\circ}{p}, \quad (3.9)$$

где p – число приемов.

В нашем случае $p = 4$, следовательно, $\sigma = 45^\circ$. Порядок наблюдений и обработки журнала во всех приемах аналогичен первому приему.

По инструкции колебания направлений в отдельных приемах, приведенных к общему нулю, не должны превышать $8''$.

При измерении направлений в условиях аудитории приведенные выше допуски разрешается увеличить в 1,5 раза.

При измерении направлений теодолитами 2Т5К, 3Т5КП в графу журнала, отмеченную буквой А, следует записывать отсчеты по шкале микроскопа с точностью до десятых долей минуты. Следующие две графы остаются свободными. Пример обработки приведен при начальной установке лимба 90° в табл. 3.4. При работе электронными теодолитами также значения минут и секунд записывают только в колонку А.

Незамыкание горизонта и колебание направлений в отдельных приемах по инструкции не должно превышать $0,2'$. При измерениях в аудитории разрешается увеличить допуск до $0,3'$. Обработка журнала выполняется аналогично. Значения направлений, приведенных к начальному, записываются до сотых долей минуты.

Лабораторная работа 4. ИЗУЧЕНИЕ НИВЕЛИРОВ

При изысканиях и строительстве инженерных сооружений, а также для определения высот пунктов съемочного обоснования топографических съемок производят техническое нивелирование с помощью специальных приборов – нивелиров.

Целью лабораторной работы является изучение устройства и приобретение практических навыков выполнения исследований нивелиров и нивелирных реек, поверок нивелиров и измерения превышений.

Лабораторная работа выполняется в следующей последовательности:

1. Изучить устройство нивелиров НЗ, НЗК и нивелирных реек.
 2. Научиться устанавливать нивелир в рабочее положение, визировать на нивелирные рейки и снимать отсчеты.
 3. Выполнить исследования нивелиров НЗ, НЗК.
 4. Выполнить поверки нивелиров НЗ, НЗК.
 5. Измерить превышения методами «из середины» и «вперед».
- К отчету по выполнению лабораторной работы прилагаются:
- 1) схемы устройства нивелиров;
 - 2) схема снятия отсчетов по рейке;
 - 3) результаты выполнения исследований;
 - 4) результаты выполнения поверок нивелиров НЗ и НЗК;
 - 5) журнал измерения превышений методом «из середины» и «вперед».

Выполненная лабораторная работа защищается студентами, что обеспечивает допуск их к сдаче модулей и экзамена.

4.1. Изучение устройства нивелиров и реек

4.1.1. Изучение устройства нивелиров

Нивелир – геодезический прибор, предназначенный для измерения превышений при горизонтальном луче визирования.

В соответствии с ГОСТ 10528-90 нивелиры по точности подразделяются на следующие группы:

- высокоточные: Н05, $m_h^* = 0,5$ мм на 1 км хода;
- точные: НЗ, НЗК, $m_h = 3$ мм на 1 км хода;
- технические: Н10, Н10КЛ, $m_h = \pm 10$ мм на 1 км хода.

* m_h – средняя квадратическая ошибка измерения превышений.

Литера Н в шифре прибора означает его название – нивелир. Нивелиры имеют модификации, о чем свидетельствуют дополнительные буквы в шифре прибора: К – наличие компенсатора; Л – наличие лимба.

В настоящее время для технического нивелирования применяются точные нивелиры НЗ, НЗК, технический Н10КЛ и их модификации.

В зависимости от способа приведения визирной оси трубы в горизонтальное положение различают нивелиры двух типов:

- нивелиры с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе;
- нивелиры с компенсатором углов наклона.

Уровненный нивелир НЗ (рис. 4.1) имеет следующие основные части: зрительная труба, цилиндрический уровень, круглый уровень, подставка с тремя подъемными винтами.

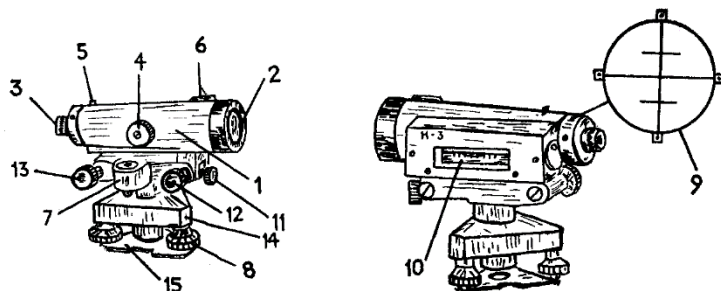


Рис. 4.1. Основные части нивелира НЗ

Зрительная труба 1 нивелира НЗ с внутренней фокусировкой дает обратное изображение предмета. Она состоит из объектива 2, окуляра 3 и сетки нитей 9, которая установлена в окулярном колене и награвирована на специальном стекле.

Для получения резкого изображения предмета вращают кремальеру 4, перемещая тем самым внутри трубы двояковогнутую линзу. Для установки четкого изображения сетки нитей вращают окулярное кольцо. Для быстроты и облегчения визирования на предмет на трубе имеются мушка 5 и целик 6.

Цилиндрический уровень 10 жестко скреплен со зрительной трубой и размещен с левой стороны прибора. Здесь же располагается призматическое устройство, позволяющее передавать изображения концов пузырька уровня в поле зрения трубы. Если пузырек цилиндрического уровня находится в нуль-пункте, то в поле зрения будут видны совмещенные его концы (рис. 4.2).

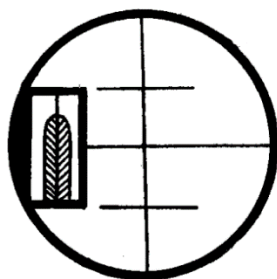


Рис. 4.2. Поле зрения нивелира НЗ.
Сетка нитей и совмещенные концы
пузырька цилиндрического уровня

Юстировка цилиндрического уровня осуществляется четырьмя юстировочными (исправительными) винтами 3, расположенными в специальном гнезде 1, закрываемом крышкой 2 (рис. 4.3).

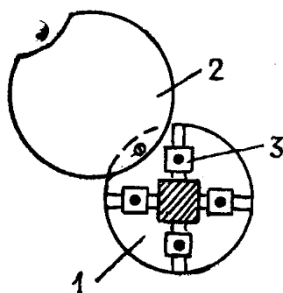


Рис. 4.3. Юстировочные винты
цилиндрического уровня

Закрепительный винт 11 (см. рис. 4.1) служит для фиксирования или вращения нивелира в горизонтальной плоскости. Для точного наведения на рейку служит наводящий винт 12, который работает при закрепленном винте 11.

Элевационный винт 13 предназначен для точного совмещения концов пузырька цилиндрического уровня. Направления вращения элевационного винта для приведения пузырька в нуль-пункт показаны на рис. 4.4.

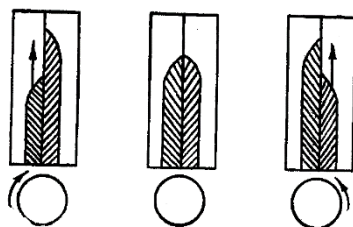


Рис. 4.4. Направления вращения элевационного винта для совмещения концов пузырька цилиндрического уровня

Круглый уровень 7 нивелира НЗ предназначен для предварительной установки прибора в рабочее положение с помощью трех подъемных винтов 8. Он имеет сферическую поверхность 1 (рис. 4.5), центр которой называется нуль-пунктом 2. В нижней части расположены юстировочные 3 и стопорный 4 винты круглого уровня.

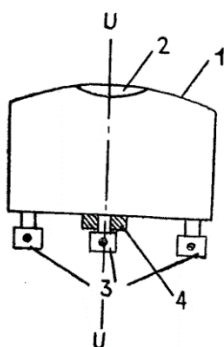


Рис. 4.5. Круглый уровень нивелира НЗ

Подставка 14 (см. рис. 4.1) с тремя подъемными винтами 8 и трегером 15 служит для закрепления нивелира на штативе и последующего приведения его в рабочее положение.

Технические характеристики нивелира НЗ: увеличение зрительной трубы – $30\times$, поле зрения – $1^{\circ}20'$, цена деления круглого уровня – $5'$, цена деления цилиндрического уровня на 2 мм – $15''$, коэффициент дальномера – 100.

Кроме нивелира НЗ в геодезической практике нашли широкое применение нивелиры с компенсаторами. К ним относятся НЗК, Н10КЛ и др. Их применение значительно сокращает затраты на нивелирование.

Нивелир НЗК (рис. 4.6) имеет призменный компенсатор, автоматически приводящий линию визирования в горизонтальное положение при наклоне трубы в пределах $\pm 15'$.

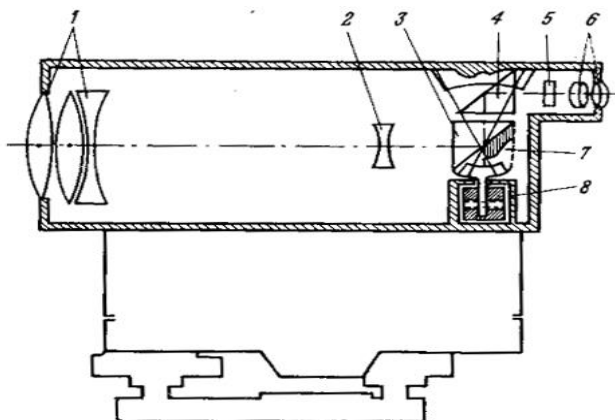


Рис. 4.6. Схема нивелира НЗК

Зрительная труба с внутренней фокусировкой имеет объектив 1, фокусирующую линзу 2, сетку нитей 5 и окуляр 6. Компенсатор состоит из двух прямоугольных призм 3 и 4. Призма 3 подвешена к верхней части корпуса на двух парах скрещивающихся нитей. Колебания компенсатора гасятся демпфером 8 поршневого типа. Компенсатор снабжен ограничителем 7, предохраняющим нити подвески от обрывов.

Прецизионно-передаточный механизм состоит из войлочных прокладок и фиксирует вращение в горизонтальной плоскости без закрепительного винта. Для плавного перемещения в горизонтальной плоскости имеются два наводящих винта прецизионно-передаточного механизма.

Технические характеристики нивелира НЗК: увеличение зрительной трубы – $30\times$, поле зрения – $1,3^\circ$, цена деления круглого уровня – $10'$, коэффициент дальномера – 100.

Нивелир Н10КЛ (рис. 4.7) технический с компенсатором.

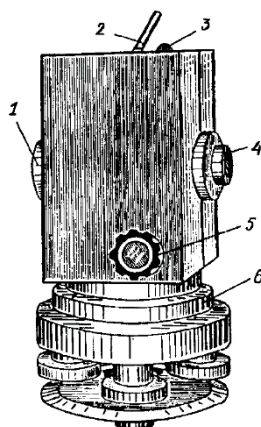


Рис. 4.7. Нивелир Н10КЛ

Зрительная труба нивелира состоит из объектива 1 и окуляра 4. Фокусирование трубы производится вращением винта 5. Установка нивелира в рабочее положение производится подъемными винтами по круглому уровню 3 с откидным зеркалом 2. Визирная ось в горизонтальное положение устанавливается автоматически с помощью компенсатора. Наведение зрительной трубы на рейку выполняется механизмом горизонтальной наводки от руки. Закрепительный и наводящий винты трубы отсутствуют. Нивелир имеет горизонтальный лимб 6 с ценой деления 1° и точностью отсчета $0,1^\circ$. Увеличение зрительной трубы – $20\times$, поле зрения трубы – $1,3^\circ$, цена деления круглого уровня – $10'$, коэффициент дальномера – 100.

В настоящее время наибольшая степень автоматизации геометрического нивелирования достигается при использовании цифровых нивелиров, которые выпускаются только зарубежными фирмами.

Эти приборы являются пассивными. В качестве приемного устройства в них использована ПЗС-матрица (прибор с зарядной связью), устанавливаемая в плоскости изображений, создаваемых зрительной трубой цифрового нивелира.

С помощью ПЗС-матрицы распознается кодовая маска на нивелирной рейке, изображение которой получают с помощью объектива в плоскости сетки нитей и в плоскости чувствительной поверхности

ПЗС-матрицы. На рис. 4.8 представлен цифровой нивелир DINI, выпускаемый фирмой Trimble (США).

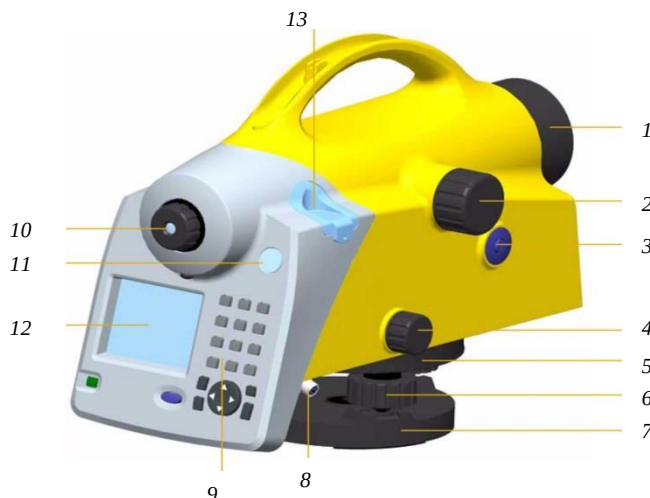


Рис. 4.8. Нивелир DINI, выпускаемый фирмой Trimble (США):

- 1 – объектив зрительной трубы со светозащитной блендой;
- 2 – винт фокусировки зрительной трубы; 3 – кнопка пуска;
- 4 – винт точного наведения по горизонтали (бесконечное медленное вращение); 5 – круг с делениями; 6 – стантовые винты;
- 7 – трегер; 8 – разъем для подключения питания/связи; 9 – панель кнопок; 10 – дисплей; 11 – окошко круглого уровня; 12 – окуляр

В отличие от традиционных оптических нивелиров, при работе с цифровым нивелиром отсчет производится автоматически с использованием специальных реек и вносится в память прибора.

Цифровые нивелиры фирмы Trimble (США) позволяют выполнять нивелирование с высокой точностью (0,4 мм/1,0 мм на 1 км двойного хода) и сохранять данные измерений во внутренней памяти или на карте памяти через стандартный разъем PCMC1A. Внутренняя память рассчитана на хранение измерений 8 000 точек.

Уникальные возможности цифровых нивелиров обеспечивают увеличение производительности на 50 % по сравнению с традиционными оптико-механическими приборами, а также достижение наивысшего уровня точности измерений, что позволяет использовать их для выполнения нивелирных работ всех классов и слежения за деформациями.

Аналогичные технические характеристики имеют цифровые нивелиры и других фирм (Sokkia, Topcon и др.).

4.1.2. Устройство нивелирных реек

Для производства нивелирования применяются деревянные или пластмассовые шашечные двухсторонние складные рейки длиной 3 м и толщиной 2–3 см, с ценой деления 1 см, с подписью дециметровых делений. Нуль шкалы основной черной стороны совмещен с основанием рейки; на контрольной красной стороне с основанием совмещен некруглый отсчет (обычно равный 4687 или 4787).

На черных сторонах реек имеются дециметровые надписи 0–29, а на красных сторонах реек одного комплекта – 47–76 и 48–77. Это позволяет контролировать качество отсчетов, правильность чередования реек и правильность записи отсчетов (рис. 4.9).

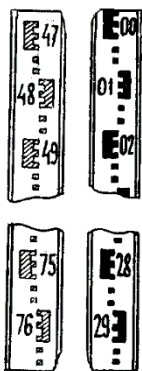


Рис. 4.9. Нивелирные рейки

Для установки реек в отвесное положение их снабжают круглыми уровнями. Рейки могут быть изготовлены с прямой или обратной оцифровкой шкал. Во время работы рейки ставят на башмаки, костыли или деревянные колья.

Классификация нивелирных реек в соответствии с ГОСТ 10528-90 следующая:

- РН-05 – нивелирная рейка для высокоточных нивелиров;
- РН-3 – нивелирная рейка для точных нивелиров;
- РН-10 – нивелирная рейка для технических нивелиров.

При работе с цифровыми нивелирами применяют штрихкодové рейки (рис. 4.10), имеющие шкалу со штрихкодóвым рисунком. На лицевой стороне штрихкодóвой рейки нанесена растрóвая шкала чередующихся черных полос и белых промежутков. Их ширина по высоте кодирована. На обратной стороне штрихкодóвой рейки, как правило, наносится обычная шашечная E-образная разметка, чтобы в случае необходимости использовать электронный нивелир как оптический.



Рис. 4.10. Штрихкодóвые рейки

4.2. Установка нивелира в рабочее положение и снятие отсчетов по рейке

Нивелир с помощью станóвого винта прикрепляют к штативу. С помощью трех подъемных винтов приводят пузырек круглого уровня на середину.

После установки нивелира по круглому уровню необходимо открепить закрепительный винт и поворачивать нивелир вокруг вертикальной оси до тех пор, пока в поле зрения трубы не будет видно изображение рейки. Вращая окулярное кольцо, добиться резкого изображения сетки нитей. Затем, вращая кремальеру, получить четкое изображение рейки. Перед снятием отсчета по рейке с помощью элевационного винта совместить изображения концов пузырька цилиндрического уровня, видимых в поле зрения трубы. При наведении трубы на рейку надо следить, чтобы вертикальная нить сетки была примерно посередине рейки. Рейка при этом должна быть установлена отвесно.

Отсчет снимают в миллиметрах по средней нити сетки следующим образом. Сначала записывают полные дециметры, затем полные сантиметры и, наконец, доли сантиметров на глаз. На рис. 4.11 отсчет по рейке равен 1 448 мм.

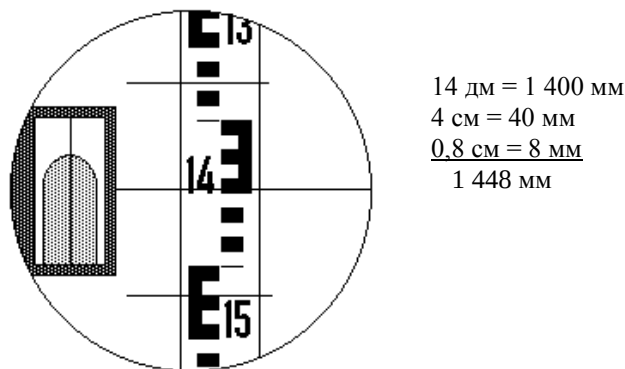


Рис. 4.11. Отсчет по рейке

4.3. Исследования нивелира НЗ

4.3.1. Общий осмотр нивелира и реек

Перед началом работы нивелир необходимо тщательно осмотреть. При проведении внешнего осмотра следует обратить особое внимание на наличие механических повреждений (царапины, вмятины на приборе и на упаковочном ящике, трещины на оптических деталях и т. п.), на плавность движения при вращении подъемных, закрепительных и наводящих винтов, на четкость одновременного изображения сетки нитей и концов пузырька цилиндрического уровня (работоспособность фокусирующей системы окуляра и объектива зрительной трубы).

Обязательно проверить устойчивость штатива. В случае необходимости следует подтянуть крепежные винты ножек штатива в шарнирах головки, башмаках.

Необходимо всегда помнить, что к вращающимся частям нивелира не следует прилагать больших усилий.

При внешнем осмотре реек нужно обращать внимание, чтобы все цифры (дециметровые деления) и сантиметровые деления в децимет-

ровых интервалах были хорошо окрашены, не было трещин на рейках. Если рейка складная, то замок должен надежно фиксировать две ее части. Также необходимо проверить качество крепления ручек и наличие металлических основ на пятках.

4.3.2. Определение цены деления цилиндрического уровня

Это исследование желательно выполнять в полевых условиях в следующем порядке. На расстоянии 40–60 м от нивелира забить два колышка или два колышка. С помощью мерного прибора или нитяного дальномера определить расстояние d от нивелира до рейки (рис. 4.12).

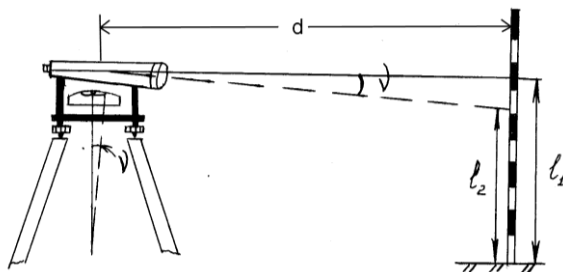


Рис. 4.12. Определение цены деления цилиндрического уровня

Элевационным винтом переместить пузырек цилиндрического уровня к одному из концов ампулы и взять отсчеты по рейке по средней нити сетки l_1 и по концам пузырька уровня $Л_1$, $П_1$. Затем, вращая элевационный винт в противоположную сторону, сместить пузырек к другому концу ампулы и снова взять отсчеты l_2 , $Л_2$ и $П_2$. Цену деления уровня вычислить по формуле

$$\tau = \frac{(l_1 - l_2)\rho}{n \cdot d}, \quad (4.1)$$

где $l_1 - l_2$ – разность отсчетов по рейке, мм;

$\rho = 206\,265''$;

n – число делений, на которое сместился пузырек уровня;

d – расстояние от нивелира до рейки, м.

Для контроля следует выполнить это исследование еще раз, установив рейку на второй колышек. Из двух значений τ_1 и τ_2 берут $\tau_{\text{ср}}$, если

вычисленные τ_1 и τ_2 расходятся между собой не более чем на 3–4". При недопустимом расхождении измерения следует повторить.

При выполнении этого исследования в аудитории вместо реек лучше использовать зафиксированные в вертикальном положении линейки с миллиметровыми делениями.

Пример определения цены деления цилиндрического уровня нивелира НЗ № 00494 приведен в табл. 4.1.

Таблица 4.1. Определение цены деления цилиндрического уровня

Отсчеты по рейке	Отсчеты по концам пузырька уровня в делениях		Длина пузырька в делениях П – Л
	Левый (Л)	Правый (П)	
1 210	2,0	20,0	18,0
1 214	7,0	25,2	18,2
4	$n = 5$	$n = 5,2$	

$$n_{cp} = 5,1; \quad \tau'' = \frac{4 \cdot 206265''}{5,1 \cdot 10000} = 16'',1 \quad \text{при } d = 10 \text{ м.}$$

4.3.3. Определение увеличения зрительной трубы нивелира

Увеличение зрительной трубы v^x определяется в такой последовательности. Нивелир устанавливают по круглому уровню и визируют на рейку на расстоянии 3–4 м от прибора. Снимают отсчеты n_1 и n_2 по рейке по верхней и нижней горизонтальным нитям сетки. После этого те же нити проектируют на рейку невооруженным глазом и снимают отсчеты m_1 и m_2 (рис. 4.13).

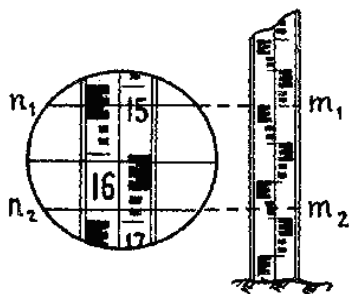


Рис. 4.13. Определение увеличения зрительной трубы

Увеличение вычисляют по формуле

$$v^x = \frac{m_1 - m_2}{n_1 - n_2}. \quad (4.2)$$

Пример определения увеличения зрительной трубы v^x показан в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Определение увеличения зрительной трубы нивелира НЗ

№ определения	Отсчеты, мм				v^x	$v^x_{\text{ср}}$
	n_1	n_2	m_1	m_2		
1	1 298	1 271	1 560	1 010	20,4	20,8
2	1 355	1 328	1 630	1 058	21,2	

Расхождение между двумя определениями не должно превышать $3^{\times}$.

Для контроля следует выполнить определение увеличения зрительной трубы вторым способом. Наблюдая одновременно двумя глазами, одним непосредственно на рейку, а другим в трубу, сосчитать число делений, видимое невооруженным глазом, которое проектируется на одно деление рейки, видимое в трубу (рис. 4.14). Это число должно соответствовать значению увеличения v^x зрительной трубы.

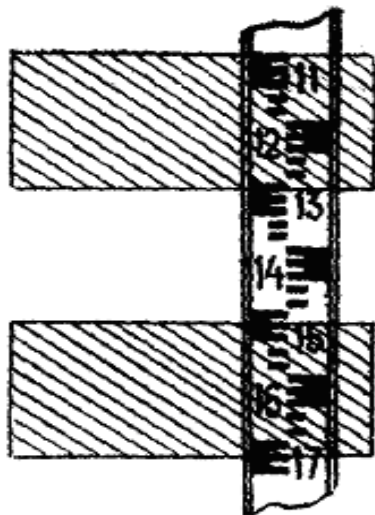


Рис. 4.14. Определение увеличения зрительной трубы вторым способом

4.3.4. Исследование компенсатора

Определение степени компенсации углов наклона

Установить нивелир посередине между рейками (в полевых условиях расстояние между рейками берут равным 100 м). Определить превышение на станции пятью приемами при положениях пузырька круглого уровня, показанных на рис. 4.15.

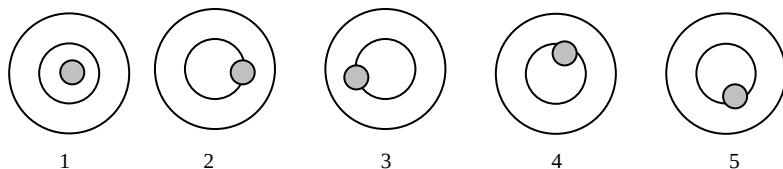


Рис. 4.15. Положения пузырька круглого уровня при исследовании компенсатора

Если средние значения превышений, полученных при положениях пузырька уровня 2, 3, 4, 5, отличаются от среднего значения, полученного при положении пузырька 1, более чем на 5 мм, прибор подлежит юстировке в заводских условиях. Результаты исследований поместить в табл. 4.3.

Таблица 4.3. **Определение степени компенсации углов наклона**

Положение пузырька уровня	Отсчеты по рейкам, мм		Превышения h , мм		$h_1 - h_2$
	задние	передние	по черной и красной сторонам рейки	средние	
1	1020	0810	+210		
	5707	5495	+212	+211	0
2	1021	0811	+210		
	5707	5496	+211	+210,5	-0,5
3	1019	0811	+208		
	5706	5496	+210	+209	-2
4	1019	0810	+209		
	5705	5494	+211	+210	-1
5	1022	0809	+213		
	5709	5496	+213	+213	+2

Определение диапазона и качества работы компенсатора

Исследования сводятся к установлению небольших продольных и боковых наклонов нивелира, при которых визирная ось практически остается горизонтальной. Выполнить это исследование с помощью нивелирной рейки. Пузырек круглого уровня нивелира тщательно при-

вести на середину. Взять отсчет по рейке по средней нити. Глядя в трубу и действуя подъемным винтом, расположенным по направлению к трубе, придать нивелиру продольный наклон до резкого изменения отсчета по рейке (>2 мм), которое свидетельствует о прекращении работы компенсатора. В этот момент колебание сетки нитей не наблюдается, так как чувствительный элемент компенсатора перестает действовать.

В данном положении фиксируется предельный продольный наклон (объектив вверх). Измерить отклонение пузырька круглого уровня от нуля-пункта миллиметровой линейкой. Для НЗК цена деления установочного уровня на 1 мм равна $5'$. Умножив число миллиметровых делений на $5'$, получим величину предельного угла наклона нивелира, при котором компенсатор еще работает.

Диапазон действия компенсатора при обратном продольном наклоне (объектив вниз) и боковых наклонах определяется тем же методом. При этом наклон задается соответствующими подъемными винтами.

4.4. Поверки нивелира НЗ

4.4.1. Основные оси нивелира

Основными осями нивелира являются (рис. 4.16): ось цилиндрического уровня (HH_1); визирная ось зрительной трубы (VV_1); вертикальная ось вращения (ZZ_1); ось круглого уровня (KK_1).

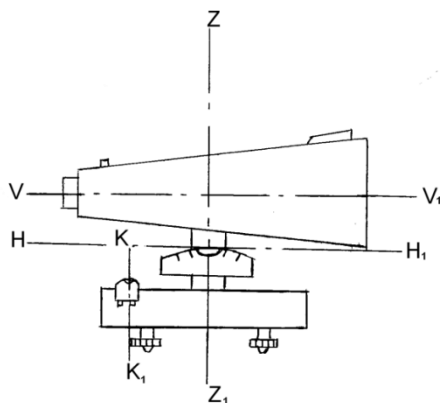


Рис. 4.16. Оси нивелира НЗ

Осью цилиндрического уровня HH_1 называется касательная к внутренней поверхности ампулы уровня в точке нуль-пункта.

Визирная ось зрительной трубы VV_1 – это прямая, соединяющая заднюю главную точку объектива зрительной трубы с перекрестием сетки нитей.

Отвесная линия ZZ_1 , проходящая через центр вращения нивелира, называется осью вращения нивелира.

Осью круглого уровня KK_1 называется нормаль к сферической поверхности ампулы, проходящая через нуль-пункт.

4.4.2. Поверка круглого уровня

Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира. Поверка выполняется в такой последовательности. Тремя подъемными винтами приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем поворачивают нивелир на 180° вокруг вертикальной оси. Если пузырек остался на середине в пределах concentрических окружностей, условие выполнено. В противном случае, ослабив стопорный винт 4 и действуя исправительными винтами уровня 3 (см. рис. 4.5), перемещают пузырек в направлении к нуль-пункту на половину дуги отклонения, а затем подъемными – в нуль-пункт. После этого нивелир вновь поворачивают на 180° и при необходимости повторяют исправления. Поверку заканчивают, когда при вращении нивелира вокруг вертикальной оси пузырек остается в нуль-пункте. После чего стопорный винт зажимают.

4.4.3. Поверка сетки нитей

Вертикальный штрих сетки нитей должен быть параллельным оси вращения нивелира. В лабораторных условиях поверку выполняют следующим образом. В 5–7 м от нивелира подвешивают отвес. Затем наводят крест сетки нитей на нить отвеса. Если при этом вертикальный штрих сетки совпадает с нитью отвеса, условие выполнено. В случае если один из концов вертикального штриха отходит от нити отвеса на величину более чем 0,5 мм, то необходимо исправить установку сетки нитей. Для этого отвинчивают защитный колпачок сетки и ослабляют с помощью отвертки винты, скрепляющие сетку 9 с корпусом зрительной трубы (см. рис. 4.1). Затем сетку поворачивают в нужную сторону до совпадения вертикального штриха с изображением

нити отвеса. После юстировки следует зажать винты и поставить на место защитный колпачок.

4.4.4. Проверка главного геометрического условия

Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня. Проверка может быть выполнена одним из двух нижеприведенных способов (целесообразно выполнять в полевых условиях):

1-й способ. Двойное нивелирование по способу «вперед» линии AB длиной 60–80 м, точки которой должны быть надежно закреплены по возможности на ровной местности колышками или кольшками.

Нивелир устанавливают окуляром над точкой A (рис. 4.17, a). В точке B устанавливают рейку. Подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт. С помощью рулетки или нивелирной рейки измеряют высоту нивелира i_1 . Высота прибора измеряется в миллиметрах от центра окуляра зрительной трубы до колышка или кольшка. Наводят нивелир на рейку и элевационным винтом устанавливают пузырек цилиндрического уровня на середину. Снимают по средней нити сетки отсчет b_1 . Меняют местами нивелир и рейку и выполняют аналогичные действия, т. е. измеряют i_2 и берут отсчет b_2 (рис. 4.17, b).

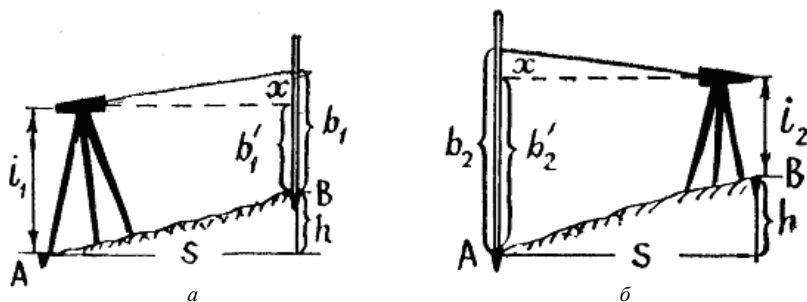


Рис. 4.17. Схема выполнения главной проверки нивелира первым способом

Вычисляют ошибку x положения визирной оси зрительной трубы по формуле

$$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (4.3)$$

Если ошибка $x > 5$ мм, то выполняют юстировку нивелира в следующей последовательности:

1. Вычисляют при второй установке нивелира правильный отсчет по рейке

$$b_2' = b_2 - x. \quad (4.4)$$

2. Вращением элевационного винта устанавливают на рейке отсчет, равный вычисленному b_2' . В этом случае пузырек цилиндрического уровня сойдет с середины.

3. С помощью шпильки, слегка ослабив боковые исправительные винты, вращают вертикальные винты цилиндрического уровня (см. рис. 4.3) до точного совмещения изображения его концов. Для контроля поверку повторяют.

Результаты измерений и вычислений заносят в табл. 4.4.

Таблица 4.4. Поверка главного геометрического условия нивелира НЗ (1-й способ)

Точка стояния нивелира	Высота нивелира i , мм	Отсчеты по рейке b , мм	Вычисления
А	1440	1744	$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2} = -15$ мм $b_2' = 1170 - (-15) = 1185$ мм
В	1489	1170	

2-й способ. Поверка выполняется двойным нивелированием линии AB из середины.

Нивелир устанавливают точно посередине между рейками, находящимися друг от друга на расстоянии 60–80 м (рис. 4.18, a). С помощью круглого уровня прибор приводят в рабочее положение. Затем последовательно визируют на рейку в точке A и рейку в точке B и берут отсчеты a_1 и b_1 , предварительно совместив концы цилиндрического уровня с помощью элевационного винта. Затем вычисляют превышение h_1 по формуле

$$h_1 = a_1 - b_1. \quad (4.5)$$

Оно будет правильным, так как оба отсчета искажены на одну и ту же величину x (рис. 4.18, a). Затем нивелир переносят к одной из реек,

устанавливают его на расстоянии около 2,5 м (рис. 4.18, б) и приводят в рабочее положение по круглому уровню, а затем вновь берут отсчеты a_2 и b_2 , приведя пузырек цилиндрического уровня в нуль-пункт элевационным винтом.

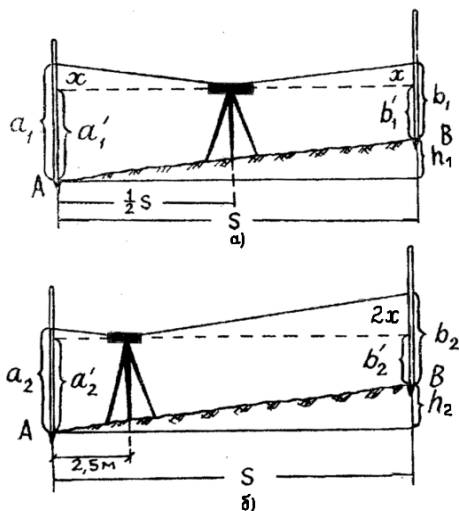


Рис. 4.18. Схема выполнения главной поверки нивелира вторым способом

Вычисляют превышение h_2 по формуле

$$h_2 = a_2 - b_2.$$

Затем подсчитывают ошибку $2x$:

$$2x = h_2 - h_1. \quad (4.6)$$

Если величина $2x$ не превышает 5 мм, главное условие выполнено. В противном случае вычисляют правильный отсчет по рейке в точке B :

$$b_2' = b_2 - 2x. \quad (4.7)$$

Юстировку нивелира осуществляют аналогично 1-му способу. Вычисления и расчеты приводят в табл. 4.5.

Таблица 4.5. Проверка главного геометрического условия нивелира НЗ (2-й способ)

Установка нивелира	Отсчеты по рейкам, мм, в точках		Превышения, мм		Вычисления, мм
	А	В	по черной и красной сторонам рейки	среднее	
Посередине (между рейками)	1720	1210	+510	+511	$h_1 = +511$ $h_2 = +517$ $2x = +6$
	6422	5010	+512		
В 2,5 м от рейки	4702	4700		+517	$b_2' = b_2 - 2x =$ $= 1017 - 6 =$ $= 1011$
	1533	1017	+516		
	6236	5718	+518		
	4703	4701			

4.4.5. Проверки нивелиров с компенсаторами

Две первые проверки выполняются так же, как и для нивелира НЗ. Условие третьей проверки формулируется таким образом. В пределах работы компенсатора визирная ось зрительной трубы должна занимать горизонтальное положение. Выполняется аналогично главной проверке НЗ. Исправление выполняется следующим образом. Пузырек круглого уровня приводят в нуль-пункт, затем вертикальными исправительными винтами сетки нитей наводят горизонтальную нить на отсчет b_2' .

4.5. Измерение превышений

Превышения с помощью нивелиров измеряются двумя основными способами: 1) из середины и 2) вперед. Нивелирные рейки в обоих случаях устанавливают только лишь на фиксированных точках (реперах, костылях, башмаках и т. п.), между которыми определяется превышение. При первом способе нивелир устанавливается посередине между измеряемыми точками (не обязательно в створе). Равенство расстояний от нивелира до реек определяется на глаз (при техническом нивелировании). Предельная длина визирного луча для технического нивелирования принимается равной 150 м.

На станции нивелир приводится в рабочее положение по круглому уровню. При снятии отсчетов по рейке пузырек цилиндрического уровня должен быть приведен в нуль-пункт с помощью элевационного винта.

Рейка в процессе снятия отсчета должна удерживаться строго в вертикальном положении. Поэтому ее следует покачивать в верти-

кальной плоскости. Наименьший отсчет будет соответствовать вертикальному положению рейки.

При техническом нивелировании работа на станции выполняется в такой последовательности:

1. Зрительную трубу наводят на заднюю рейку и берут отсчет по черной стороне $a_{\text{ч}}$, а затем – по красной $a_{\text{к}}$.

2. Вычисляют разность $a_{\text{к}} - a_{\text{ч}}$, которая должна быть равна постоянной пятке рейки – разности начала отсчетов по обеим сторонам данной рейки (4700).

3. Наводят зрительную трубу на переднюю рейку и делают аналогичные отсчеты.

4. Вычисляют разность $b_{\text{к}} - b_{\text{ч}}$ аналогично п. 2. Расхождение разностей не должно превышать 4 мм. Дважды определяют превышение по черной h_1 и красной h_2 сторонам рейки:

$$h_1 = a_{\text{ч}} - b_{\text{ч}},$$

$$h_2 = a_{\text{к}} - b_{\text{к}}.$$

Расхождение в превышениях не должно быть более 5 мм.

Все записи и вычисления производят в журнале нивелирования (табл. 4.6).

Таблица 4.6. Журнал геометрического нивелирования

Дата: 25.02.2016

Наблюдал: Иванов И. И.

Записывал: Петров П. П.

№ станции	№ пикетов	Отсчеты по рейкам		Превышения, мм	
		задние	передние	вычисленные	средние
1	A	1622	1206	+416	
	B	6406	5988	+418	+417
		4784	4782		
2	B	1924	1738	+186	
	C	6708	6521	+187	+186,5
		4784	4783		
3	C	2657	2836	-179	
	D	7442	7618	-176	-177,5
		4785	4782		
4	D	1852	1185	+667	
	E	6635	5969	+666	+666,5
		4783	4784		
Постраничный контроль		Σ35246	Σ33061	Σ+2540	Σ+1270
				Σ-355	Σ-177,5
				Σ+2185	Σ+1095,5

На каждой странице журнала выполняют постраничный контроль по формуле

$$\Sigma Z - \Sigma П = \Sigma h = 2\Sigma h_{\text{ср}}, \quad (4.8)$$

где ΣZ , $\Sigma П$ – суммы отсчетов на заднюю, переднюю рейки;

Σh – сумма превышений;

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

Лабораторная работа 5. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ

Лабораторная работа содержит некоторые вопросы трассирования линейных сооружений на примере автомобильной дороги.

Строительство дорог производится по утвержденным проектам, которые составляются на основании дорожно-экономических обследований и технических изысканий. После проведения экономических обследований и предварительных технических изысканий выполняют полевое трассирование дороги, в процессе которого измеряют линии и углы поворота, разбивают пикетаж, снимают ситуацию вдоль трассы, закрепляют углы поворота, устанавливают реперы и ведут пикетажный журнал (пикетажную книжку). По разбитому пикетажу в дальнейшем производят техническое нивелирование.

В рассматриваемом случае участок дороги нивелировался нивелиром НЗ с двухсторонними трехметровыми рейками в одном направлении. Отсчеты на промежуточные точки снимались только по черной стороне рейки.

Работа включает расчет элементов круговых кривых и подготовку данных для их детальной разбивки, обработку журнала нивелирования, построение профиля трассы, нанесение проектной линии, вычисление проектных и рабочих высот.

Условие задания, исходные данные, порядок выполнения работы и методические указания приведены ниже.

Цель: По данным пикетажной книжки и журнала технического нивелирования составить профиль трассы дороги и нанести проектную линию.

Исходные данные:

1. Угол поворота и радиус кривой № 2, румб линии ПК0-ВУ № 1, высоты реперов № 1 и № 2 (выбираются из табл. 5.1 по указанию преподавателя).
2. Пикетажная книжка (прил. 1).
3. Журнал технического нивелирования (выдается каждому студенту).

Необходимые материалы:

1. Таблицы для разбивки кривых.
2. Микрокалькуляторы.
3. Миллиметровка (40 × 90 см).
4. Тушь черная, красная, синяя.
5. Карандаш, чертежная ручка, рейсфедер, линейка.

Таблица 5.1. Исходные данные

Вариант	Кривая № 2		Румб линии ПК0-ВУ № 1	Высота	
	Угол	Радиус		репера № 1	репера № 2
1	2	3	4	5	6
0	29°40'	300	СВ : 27°19'	96,138	98,168
1	32°57'	200	СВ : 14°28'	95,138	97,168
2	22°04'	300	СВ : 32°17'	96,254	98,299
3	38°18'	200	СВ : 48°50'	98,471	100,470
4	20°32'	300	СЗ : 10°24'	99,806	101,806
5	24°20'	400	СЗ : 63°52'	101,327	103,328
6	36°40'	200	ЮВ : 28°14'	102,280	104,322
7	28°16'	200	ЮВ : 74°30'	107,185	109,209
8	18°50'	400	ЮЗ : 18°43'	110,292	112,302
9	10°40'	500	ЮЗ : 36°14'	113,470	115,476
10	14°56'	500	ЮЗ : 49°50'	115,542	117,585
11	19°28'	400	СЗ : 82°12'	118,291	120,319
12	22°10'	300	СЗ : 19°41'	121,472	123,505
13	20°15'	300	СВ : 60°04'	124,567	126,603
14	25°11'	300	СВ : 70°08'	125,876	127,885
15	24°17'	400	ЮВ : 62°21'	127,402	129,410
16	39°50'	200	ЮВ : 15°10'	131,234	133,238
17	42°13'	100	ЮЗ : 35°11'	133,908	135,919
18	13°28'	400	ЮЗ : 20°05'	138,431	140,456
19	19°12'	300	ЮВ : 14°15'	142,613	144,638
20	23°35'	200	СЗ : 50°13'	142,970	144,997
21	27°40'	200	СЗ : 53°40'	146,619	148,630
22	20°18'	300	СВ : 42°40'	139,132	141,136
23	35°19'	200	СВ : 68°18'	151,473	153,479
24	46°31'	100	СЗ : 85°14'	154,978	156,984
25	43°18'	100	СЗ : 37°50'	155,220	157,256
26	41°17'	100	СВ : 24°30'	161,318	163,317
27	25°30'	200	СВ : 52°17'	172,507	174,500
28	20°14'	300	ЮВ : 34°10'	183,319	185,343
29	32°40'	200	СЗ : 63°40'	187,211	189,200
30	18°38'	100	СЗ : 72°13'	193,756	195,770

Продолжение табл. 5.1

1	2	3	4	5	6
31	3°57'	200	CB : 14°28'	95,138	97,168
32	22°04'	300	CB : 32°17'	96,254	98,299
33	38°18'	200	CB : 48°50'	98,471	100,470
34	20°32'	300	C3 : 10°24'	99,806	101,806
35	24°20'	400	C3 : 63°52'	101,327	103,328
36	36°40'	200	ЮВ : 28°14'	102,280	104,322
37	28°16'	200	ЮВ : 74°30'	107,185	109,209
38	18°50'	400	ЮЗ : 18°43'	110,292	112,302
39	10°40'	500	ЮЗ : 36°14'	113,470	115,476
40	14°56'	500	ЮЗ : 49°50'	115,542	117,585
41	19°28'	400	C3 : 82°12'	118,291	120,319
42	22°10'	300	C3 : 19°41'	121,472	123,505
43	20°15'	300	CB : 60°04'	124,567	126,603
44	25°11'	300	CB : 70°08'	125,876	127,885
45	24°17'	400	ЮВ : 62°21'	127,402	129,410
46	39°50'	200	ЮВ : 15°10'	131,234	133,238
47	42°13'	100	ЮЗ : 35°11'	133,908	135,919
48	13°28'	400	ЮЗ : 20°05'	138,431	140,456
49	19°12'	300	ЮВ : 14°15'	142,613	144,638
50	23°35'	200	C3 : 50°13'	142,970	144,997
51	27°40'	200	C3 : 53°40'	146,619	148,630
52	20°18'	300	CB : 42°40'	139,132	141,136
53	35°19'	200	CB : 68°18'	151,473	153,479
54	46°31'	100	C3 : 85°14'	154,978	156,984
55	43°18'	100	C3 : 37°50'	155,220	157,256
56	43°50'	150	ЮВ : 50°30'	107,190	109,209
57	30°18'	200	ЮВ : 12°50'	110,292	112,302
58	32°45'	200	CB : 27°19'	111,470	113,470
59	35°30'	200	CB : 30°30'	116,542	118,585
60	36°24'	200	ЮЗ : 53°16'	118,200	120,210
61	31°33'	250	ЮЗ : 82°21'	120,472	122,505
62	32°00'	250	ЮЗ : 85°36'	124,467	126,503
63	33°14'	250	C3 : 71°19'	127,876	129,885
64	34°19'	250	C3 : 65°16'	127,002	129,010
65	35°20'	250	C3 : 54°16'	134,234	136,238
66	36°10'	250	C3 : 40°41'	132,008	134,019
67	20°18'	350	C3 : 31°27'	140,431	142,456
68	22°31'	350	C3 : 19°36'	142,610	144,630
69	23°50'	350	C3 : 10°05'	141,970	143,997
70	24°05'	400	CB : 5°17'	146,019	148,030
71	23°28'	400	CB : 42°06'	140,132	142,136
72	22°08'	400	ЮВ : 20°31'	153,473	155,479

1	2	3	4	5	6
73	21°37'	400	ЮВ : 31°11'	155,978	157,984
74	17°14'	500	ЮЗ : 25°12'	154,200	156,236
75	18°00'	500	ЮЗ : 33°13'	160,318	162,317
76	18°43'	500	ЮЗ : 70°18'	172,500	174,500
77	25°10'	300	ЮЗ : 80°33'	181,319	183,343
78	28°55'	300	СЗ : 60°20'	186,211	188,200
79	29°12'	300	СЗ : 50°31'	194,756	196,770
80	36°40'	200	СЗ : 26°04'	121,476	123,505
81	31°57'	200	СВ : 24°28'	95,138	97,121
82	32°04'	300	СВ : 62°17'	96,254	98,204
83	36°18'	200	СВ : 28°50'	98,471	100,399
84	30°32'	300	СВ : 40°24'	99,806	101,782
85	25°20'	400	СЗ : 33°52'	101,327	103,305
86	38°40'	200	ЮВ : 18°14'	102,280	104,249
87	26°16'	200	ЮВ : 75°30'	107,185	109,115
88	17°50'	400	ЮЗ : 28°43'	110,292	112,224
89	11°40'	500	ЮЗ : 56°14'	113,470	115,411
90	13°56'	500	ЮЗ : 39°50'	115,542	117,517
91	18°28'	400	СЗ : 82°12'	118,291	120,275
92	22°10'	300	СЗ : 29°41'	121,472	123,426
93	20°15'	300	СВ : 69°04'	124,567	126,515
94	20°15'	300	СВ : 69°04'	124,567	126,515
95	27°11'	300	СВ : 70°08'	125,876	127,815
96	26°17'	400	ЮВ : 62°21'	127,402	129,347
97	38°50'	200	ЮВ : 16°10'	131,234	133,220
98	43°13'	100	ЮЗ : 36°11'	133,908	135,860
99	15°28'	400	ЮЗ : 22°05'	138,431	140,408
100	17°12'	300	ЮВ : 24°15'	142,613	144,555
101	24°35'	200	СЗ : 50°13'	142,970	144,941
102	26°40'	200	СЗ : 58°40'	146,619	148,560
103	21°18'	300	СВ : 43°40'	139,132	141,117
104	36°19'	200	СВ : 65°18'	151,473	153,439
105	46°31'	100	СЗ : 85°24'	154,978	156,917
106	45°18'	100	СЗ : 38°50'	155,220	157,190
107	44°17'	100	СВ : 26°30'	161,318	163,253
108	26°30'	200	СВ : 53°17'	172,507	174,481
109	22°14'	300	ЮВ : 37°10'	183,319	185,257
110	33°40'	200	СЗ : 68°40'	187,211	189,179

Порядок выполнения работы

1. Рассчитать основные элементы кривой № 2.
2. Обработать журнал технического нивелирования.

3. Построить профиль трассы дороги в масштабах:
 - горизонтальный – 1:2 000;
 - вертикальный – 1:200;
 - поперечников – 1:1 000 (горизонтальный и вертикальный).
4. Нанести проектную линию, соблюдая следующие условия:
 - а) максимальный уклон проектной линии – 5 % (50 тысячных);
 - б) высота проектной линии на пикете 0 равна фактической высоте;
 - в) высота настила моста через реку Проню должна быть на 2–3 м выше горизонта высоких вод;
 - г) мост и подходы к нему следует запроектировать горизонтальной площадкой;
 - д) объем земляных работ должен быть минимальным и сбалансированным.
5. Вычислить проектные и рабочие высоты.
6. Определить расстояние до точек нулевых работ и их высоты
7. Оформить профиль тушью.
8. Подготовить данные для детальной разбивки круговой кривой № 2.

5.1. Расчет элементов круговой кривой

При разбивке пикетажа в каждый угол поворота трассы производят вставку круговой кривой. Чтобы отыскать на местности начало кривой НК, середину СК и конец КК (рис. 5.1), по измеренному углу поворота φ и назначенному радиусу кривой R при помощи специальных таблиц [1] или на микрокалькуляторе по формулам (5.1)–(5.4) определяют ее элементы: тангенс T , кривую K , биссектрису B и домер D .

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \quad (5.1)$$

$$K = R \frac{\pi \varphi}{180^\circ}; \quad (5.2)$$

$$B = R \left(\sec \frac{\varphi}{2} - 1 \right); \quad (5.3)$$

$$D = 2T - K. \quad (5.4)$$

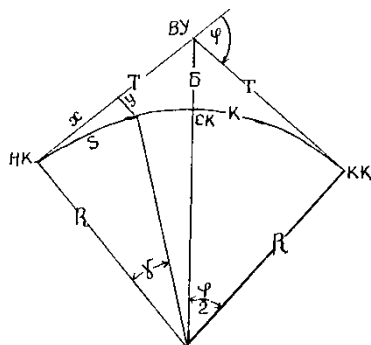


Рис. 5.1. Элементы кривой

Затем подсчитывают пикетажное наименование главных точек кривой:

$$НК = ВУ - Т.$$

$$КК = НК + К.$$

Здесь ВУ – пикетажное обозначение вершины угла.

Контроль:

$$КК = ВУ + ТТ - Д.$$

При разбивке пикетажа пикеты, оказавшиеся на тангенсах (точка P' на рис. 5.1), выносятся на кривую (точка P) методом прямоугольных координат. Координаты (X – расстояние от начала или конца кривой по направлению к вершине угла и Y – перпендикуляр, восстановленный с линии тангенса из полученной точки в сторону кривой) выбираются из таблиц [1] или вычисляются по следующим формулам:

$$X = R \sin \gamma, \quad (5.5)$$

$$Y = 2R \sin^2 \frac{\gamma}{2}. \quad (5.6)$$

Величина угла γ , в свою очередь, определяется по формуле

$$\gamma = 180^\circ \frac{S}{\pi R} = \frac{S}{K} \varphi, \quad (5.7)$$

где S – расстояние от начала или конца кривой до пикета.

Все указанные расчеты следует произвести в пикетажной книжке аналогично тому, как это сделано в прил. 1.

5.2. Обработка журнала технического нивелирования

Обработку журнала выполнить в указанной ниже последовательности по образцу прил. 2.

1. Вычислить разности высот нулей красной и черной сторон реек. Они не должны отличаться от эталонных более чем на 5 мм (эталонные разности для обеих реек равны 4784 мм).

2. Вычислить превышения связующих точек по черной и красной сторонам реек и сравнить их между собой (расхождение не должно превышать 5 мм).

3. Вычислить средние превышения (без округления).

4. Выполнить постраничный контроль, для чего найти на каждой странице сумму всех задних отсчетов $\sum Z$, сумму передних отсчетов $\sum П$, сумму превышений $\sum h$ и сумму средних превышений $\sum h_{\text{ср}}$. При правильных вычислениях должно быть выполнено следующее тождество:

$$\sum Z - \sum П = \sum h = 2 \sum h_{\text{ср}}.$$

5. Выполнить постраничный контроль по ходу.

6. Определить невязку в превышениях хода по формуле

$$f_h = \sum h_{\text{ср}} - (H_{\text{к}} - H_{\text{н}}), \quad (5.8)$$

где $\sum h_{\text{ср}}$ – сумма средних превышений;

$H_{\text{н}}$ – высота начального репера 1;

$H_{\text{к}}$ – высота конечного репера 2.

7. Вычислить предельную невязку по формуле

$$f_{h, \text{доп}} = 50 \sqrt{L}. \quad (5.9)$$

8. Уравнять превышения между связующими точками, распределив поровну на все превышения. При этом исправленные превышения необходимо получить в целых миллиметрах.

Контроль:

$$\sum V = f_h; \quad \sum h_{\text{исп.}} = \sum h_{\text{теор}} = H_{\text{к}} - H_{\text{н}}.$$

9. По заданной высоте репера 1 вычислить высоты связующих точек. В результате вычислений должна получиться точная высота репера 2.

10. Вычислить горизонт прибора ГП для тех станций, с которых нивелировались промежуточные точки, по формуле

$$\text{ГП} = H + a, \quad (5.10)$$

где H – высота связующей точки;

a – отсчет на эту точку по черной стороне рейки.

Для контроля горизонт прибора вычисляется дважды с использованием задней и передней связующих точек. За окончательное значение принимается среднее.

Например, на станции 2 получим:

$$\text{ГП}_1 = 87,550 + 1,924 = 89,474 \text{ м},$$

$$\text{ГП}_2 = 87,738 + 1,738 = 89,476 \text{ м},$$

$$\text{ГП}_{\text{ср}} = 89,475 \text{ м}.$$

11. Вычислить высоты промежуточных точек по правилу: высота точки равна горизонту прибора минус отсчет по рейке на промежуточной точке.

5.3. Построение продольного и поперечного профилей трассы

Построение профиля рекомендуется выполнять в приведенной ниже последовательности.

1. Построить профильную сетку. Расстояние между линиями сетки в сантиметрах показано на рис. 5.2 цифрами в кружочках. Рядом указан цвет линий.

2. В заданном горизонтальном масштабе отложить все пикеты и плюсовые точки и заполнить графу расстояний. В ней записываются расстояния между соседними точками. Если между пикетами нет плюсовых точек, то расстояние 100 м не пишется.

3. Из журнала нивелирования выписать в графу фактических высот высоты всех пикетов и плюсовых точек с округлением до сантиметров.

4. Выбрать условный горизонт, кратный двум метрам, с таким расчетом, чтобы между ним и самой низкой точкой профиля осталось 5–10 см.

5. В заданном вертикальном масштабе отложить от линии условного горизонта высоты точек и намеченные на ординатах точки соединить ломаной линией. Для построения дна реки отложить ее глубину в нужном месте от горизонта меженных вод (ГМВ).

6. По данным пикетажной книжки заполнить графу «План прямых и кривых».

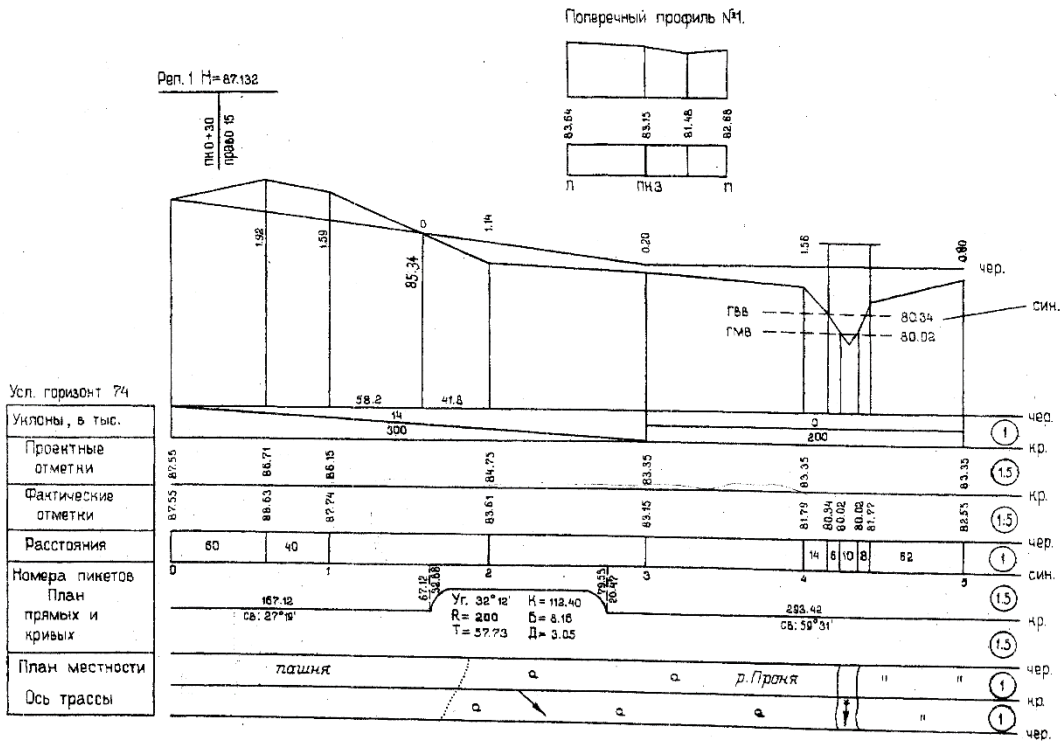


Рис. 5.2. Продольный профиль трассы дороги

Точки начала и конца кривых наносятся по пикетажному значению. Около них записываются расстояния от ближайших пикетов. При повороте трассы вправо кривая условно показывается дугой вверх, при повороте влево – вниз. Длины прямых вставок определяются как разность пикетажных значений начала последующей кривой и конца предшествующей.

Контроль: суммы длин прямых и кривых должны равняться длине всей трассы. Румбы прямых вычисляются по румбу исходной линии и углам поворота. В этой же графе записываются элементы кривых.

7. Построить поперечный профиль, расположив его выше продольного профиля соответствующим пикетом.

8. Построить план трассы, руководствуясь пикетажной книжкой и таблицами условных знаков [9].

9. Оформить чертежи тушью.

5.4. Нанесение проектной линии

В соответствии с принятыми условиями проектирования при нанесении проектной линии можно придерживаться следующего порядка:

1. Записать в строку проектных отметок напротив пикета 0 проектную высоту, равную фактической.

2. Наметить предварительно в карандаше проектную линию, соблюдая заданные условия (рекомендуется пользоваться прозрачной линейкой).

3. Установить уклон первого участка проектной линии по формуле

$$i = \frac{H_{\kappa} - H_{\Pi}}{S}, \quad (5.11)$$

где H_{κ} – высота конечной точки проектной линии, определяемая графически;

H_{Π} – высота начальной точки, записанная в строке проектных высот;

S – расстояние между крайними точками проектной линии.

Если при этом уклон проектной линии выразится не в целых тысячных, его следует округлить до ближайшего целого и заново вычислить высоту конца проектной линии по формуле

$$H_{\kappa} = H_{\Pi} + iS, \quad (5.12)$$

где i – уклон округленный до целых тысячных.

Приняв высоту этой точки за исходную, можно аналогичным образом установить уклоны следующих участков.

4. По вычисленным высотам точек, в которых проектная линия меняет уклон, нанести окончательное положение проектной линии и заполнить строку уклонов (в числителе – уклон в тысячных, в знаменателе – длина линии).

5.5. Вычисление проектных и рабочих высот

Вычисление проектных высот производится по формуле

$$H_n = H_{n-1} + iS, \quad (5.13)$$

которая читается так: проектная высота точки равна проектной высоте предыдущей точки плюс произведение уклона проектной линии и расстояния между этими точками.

Например, проектная высота на пикете $0 + 60$ (см. рис. 5.2) $86,7 = 87,55 - 0,014 \cdot 60$; на ПК1 $85,15 = 86,71 - 0,014 \cdot 40$ и т. д. Знак минус перед уклоном обозначает понижение. Если вычисления правильны, то в конце проектной линии должно получиться то же значение проектной высоты, которое было записано раньше (83,35).

При нулевом уклоне проектной линии высота записывается только в начале и в конце ее.

Рабочие высоты определяются как разность проектной и фактической высот и выражают высоту насыпи или глубину выемки. Выписываются они на профиль, красной тушью снизу проектной линии при выемке и сверху – при насыпи.

5.6. Определение расстояний до точек нулевых работ и их высот

Расстояние до точки нулевых работ от ближайшего пикета вычисляется по формуле

$$x = \frac{r_1}{r_1 + r_2} S, \quad (5.14)$$

где r_1 – рабочая высота на пикете, от которого определяется расстояние до точки нулевых работ;

r_2 – рабочая высота на пикете, расположенном по другую сторону от точки нулевых работ;

S – расстояние между точками с рабочими высотами r_1 и r_2 .

Контрольные вычисления производятся по формуле

$$S - x = \frac{r_2}{r_1 + r_2} S. \quad (5.15)$$

Для точки нулевых работ между пикетами 1 и 2 (рис. 5.2) имеем:

$$r_1 = 1,59; \quad r_2 = 1,14; \quad S = 100;$$

$$x = \frac{1,59}{1,59 + 1,14} \cdot 100 = 58,2; \quad S - x = \frac{1,14}{1,59 + 1,14} \cdot 100 = 41,8.$$

Высоты точек нулевых работ (синие) вычисляются по формуле

$$H_c = H_n + iS. \quad (5.16)$$

где H_n – проектная высота точки, от которой определено расстояние x до точки нулевых работ;

i – уклон проектной линии.

Для указанной выше точки нулевых работ высота получена следующим образом:

$$85,15 - 0,014 \cdot 58,2 = 85,34; \quad 84,75 + 0,014 \cdot 41,8 = 85,34 \text{ (контроль).}$$

5.7. Оформление профиля тушью

Оформление профиля в туши целесообразно начать до нанесения проектной линии.

Кроме отмеченных на рис. 5.2 линий красным цветом показываются рабочие высоты, уклон и длина проектной линии, проектные высоты и все записи в строке «Прямые и кривые». Синим цветом обозначаются точки нулевых работ, их высоты, расстояния от точки нулевых работ до ближайших пикетов, вертикальные отрезки от точек нулевых работ до основания профиля, горизонты высоких и межевых вод и их высоты.

Площади сечений насыпей закрашиваются красным (светлым тоном), выемок – желтым и реки – синим цветом акварельными красками. Все остальное показывается черным цветом.

В правом нижнем углу чертежа размещается штамп, пример оформления которого приведен ниже.

БГСХА	Кафедра геодезии и фотограмметрии	2026
Расчетно-графическая работа	Геометрическое нивелирование трассы	
Масштабы	Горизонтальный 1:2 000 Вертикальный 1:200 Поперечный профиль 1:1 000	
Составил	Студент 1-го курса 1-й группы Специальность «землеустройство» Петров П. П.	
Проверил		

5.8. Детальная разбивка круговой кривой

При строительстве дороги производят детальную разбивку кривых. Для этого на круговых кривых кроме точек, обозначающих начало, середину и конец их, закрепляют еще ряд точек на равном расстоянии друг от друга. Густота точек зависит от радиуса кривой и выбирается с расчетом, чтобы дуги практически можно было принять за прямые.

В настоящем задании необходимо подготовить данные для детальной разбивки круговой кривой № 2 способом прямоугольных координат с закреплением точек через 10 м.

Положение точек на кривой будет определяться прямоугольными координатами X и Y , которые вычисляются так же, как и при выносе пикетов на кривую по формулам (5.7), (5.5) и (5.6). Первая закрепляемая точка будет располагаться на расстоянии 10 м от начала кривой, вторая – на расстоянии 20 м, последняя – не далее 10 м от середины кривой, которая уже была закреплена. В нашем случае ($\varphi = 32^\circ 12'$, $R = 100$ м, $K = 112,40$ м) для $S = 10$ м по формуле (5.7) получим $\gamma = 2,865^\circ$, для $S = 20$ м величину γ следует удвоить, для $S = 30$ м – утроить и т. д.

Результаты расчетов следует представить в таблице, образец которой дан в прил. 3, и проконтролировать с помощью таблиц [1]. По этим же данным производится детальная разбивка кривой от ее конца к середине.

Для лучшего уяснения способа по вычисленным координатам точек необходимо построить кривую на листе чертежной бумаги в масштабе 1:1 000. Построить угол $180^\circ - \varphi$; отложить от вершины угла значения тангенсов T , обозначив начало и конец кривой; от точек НК и КК (см. рис. 5.1) отложить в направлении ВУ значения абсцисс точек 1, 2, ...; восстановить перпендикуляры и отложить ординаты; соединить полученные точки линией, которая и обозначает положение кривой. При правильных расчетах и построении должна получиться дуга окружности с радиусом R .

Материалы, подлежащие сдаче, перечислены ниже.

1. Краткий отчет, включающий условия задания, рабочие формулы и расчеты по ним.
2. Пикетажная книжка с результатами расчета круговых кривых.
3. Обработанный журнал технического нивелирования.
4. Оформленный в туши профиль трассы.
5. Ведомость координат и чертеж детальной разбивки кривой № 2.

Лабораторная работа 6. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ

Нивелирование поверхности по квадратам выполняют для составления топографических планов небольших участков в крупных масштабах. При съемке применяют технические нивелиры.

Цель: ознакомиться с методикой обработки полевых материалов и составлением топографических планов.

Задание: произвести обработку материалов нивелирования поверхности по квадратам со сторонами 20 м и составить топографический план участка в масштабе 1:500 с высотой сечения рельефа 0,25 м.

Исходные данные: полевая схема нивелирования поверхности по квадратам, получаемая в ходе выполнения полевых работ.

Номер варианта со значением высоты точки *A* (репера) выдается каждому студенту преподавателем.

Нулевой вариант и результаты его обработки использованы для пояснения выполняемого задания.

6.1. Краткие сведения о полевых работах

Нивелирование выполнено с четырех станций, на каждой из которых отсчеты взяты по черным сторонам реек. Границы участков, для вершин которых отсчеты брались с отдельных станций, показаны на рис. 6.1 и 6.2 пунктирной линией. На связующие точки (4 и 9; 29 и 30; 34 и 39; 23 и 24) отсчеты по рейке взяты с двух смежных станций.

Значения отсчетов по черной стороне рейки на всех вершинах приведены для 24 вариантов задачи в прил. 4. В них порядок записи соответствует последовательности перехода реечника по вершинам квадратов в процессе нивелирования.

6.2. Порядок выполнения работы и краткие пояснения

1. Выписать на схему (рис. 6.1) отсчеты по рейке, разместив их так, как это сделано на рис. 6.2 по данным нулевого варианта, который используется здесь для пояснения.

2. Произвести контроль этих отсчетов: суммы накрест лежащих отсчетов должны быть равны. Расхождение допускается не более чем на 5 мм. Эту невязку для принятой здесь схемы вычислений можно нигде не записывать и не распределять.

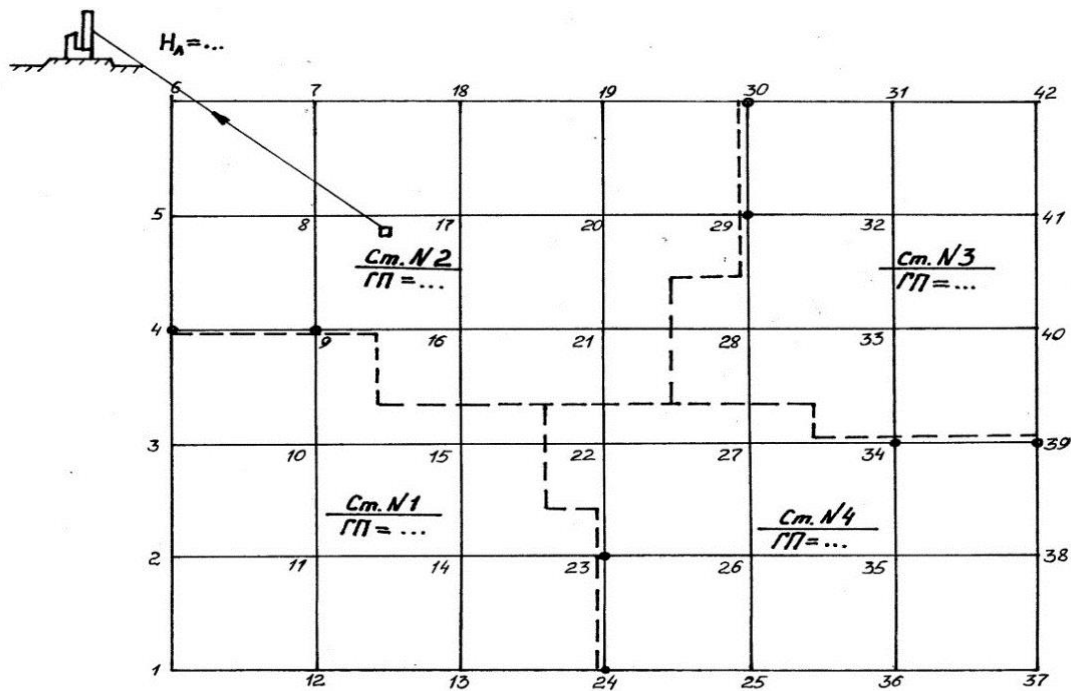


Рис. 6.1. Полевая схема нивелирования поверхности по квадратам

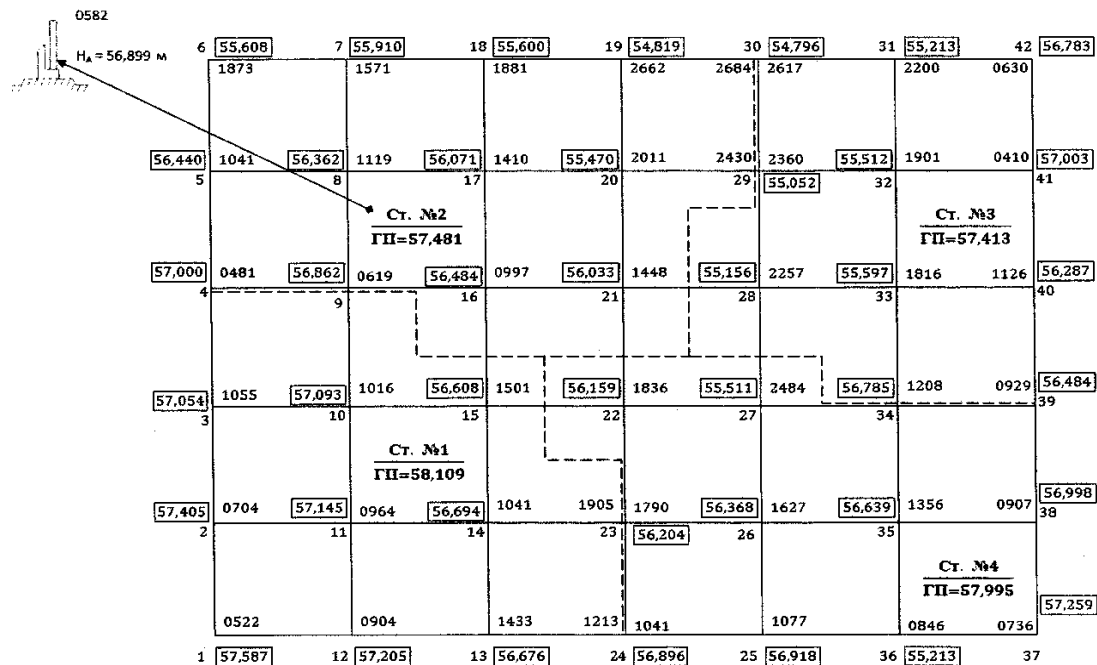


Рис. 6.2. Полевая схема нивелирования поверхности

3. Выписать на схему сети из табл. 6.1 высоту точки A для своего варианта.

Таблица 6.1. **Высоты точки A**

№ вари- анта	H	№ вари- анта	H	№ вари- анта	H	№ вари- анта	H	№ вари- анта	H
1	57,831	11	60,802	21	78,101	31	87,321	41	91,463
2	58,752	12	61,310	22	74,852	32	89,897	42	90,702
3	54,385	13	62,451	23	71,928	33	80,158	43	98,005
4	53,356	14	63,785	24	70,325	34	86,485	44	92,307
5	58,900	15	64,395	25	79,809	35	88,398	45	97,658
6	59,712	16	65,728	26	77,253	36	85,649	46	96,392
7	53,685	17	66,124	27	70,436	37	81,235	47	95,418
8	57,611	18	67,010	28	72,727	38	83,651	48	91,023
9	55,380	19	68,584	29	75,568	39	84,702	49	94,185
10	54,914	20	69,235	30	76,684	40	82,905	50	93,824

4. Вычислить по отсчетам реек горизонты приборов всех станций в последовательности $\text{ГП}_{\text{II}} - \text{ГП}_{\text{III}} - \text{ГП}_{\text{IV}} - \text{ГП}_{\text{I}} - \text{ГП}'_{\text{II}}$. Сущность и порядок действий при этом вытекают из рис. 6.3, 6.4.

Как видно из рис. 6.3,

$$\text{ГП}_{\text{II}} = H_A + \text{ч}_A. \quad (6.1)$$

В соответствии с рис. 6.4

$$\text{ГП}_{\text{III}} = \text{ГП}_{\text{II}} - \text{ч}_{\text{II}}^{30} + \text{ч}_{\text{III}}^{30}, \quad (6.2)$$

$$\text{ГП}_{\text{IV}} = \text{ГП}_{\text{III}} - \text{ч}_{\text{III}}^{39} + \text{ч}_{\text{IV}}^{39}. \quad (6.3)$$

В нашем примере (табл. 6.2) для нулевого варианта имеем:

$$\text{ГП}_{\text{I}} = \text{ГП}_{\text{IV}} - \text{ч}_{\text{IV}}^{24} + \text{ч}_{\text{I}}^{24}; \quad (6.4)$$

$$\text{ГП}'_{\text{II}} = \text{ГП}_{\text{I}} - \text{ч}_{\text{I}}^4 + \text{ч}_{\text{II}}^4. \quad (6.5)$$

Здесь ч_A , ч_{II}^4 , $\text{ч}_{\text{II}}^{30}$, $\text{ч}_{\text{III}}^{30}$, $\text{ч}_{\text{III}}^{39}$, $\text{ч}_{\text{IV}}^{39}$, $\text{ч}_{\text{IV}}^{24}$, ч_{I}^{24} , ч_{I}^4 – отсчеты по черным сторонам реек соответственно на точку A , 4 и 30 (со станции II), на 30 и 39 (со станции III), на 39 и 24 (со станции IV), на 24 и 4 (со станции I).

$$\text{ГП}_{\text{II}} = 56,899 + 0,582 = 57,481;$$

$$\text{ГП}_{\text{III}} = 57,481 - 2,684 + 2,617 = 57,414;$$

$$\text{ГП}_{\text{IV}} = 54,414 - 0,929 + 1,513 = 57,998 ;$$

$$\text{ГП}_I = 57,998 - 1,098 + 1,213 = 58,113 ;$$

$$\text{ГП}'_{II} = 58,113 - 1,108 + 0,481 = 57,486 .$$

5. Вычислить невязку горизонтов прибора $f_{\text{ГП}}$ и определить ее допустимость. Действия выполнить в табл. 6.2.

Таблица 6.2. Увязка горизонтов прибора станций

№ станции	ГП вычисленный	$V_{\text{ГП}}$	ГП исправленный
II	57,481	—	57,481
III	57,414	—1	57,413
IV	57,998	—3	57,995
I	58,113	—4	58,109
II'	57,486	—5	57,481

Невязка горизонтов вычисляется по формуле

$$f_{\text{ГП}} = \text{ГП}'_{II} - \text{ГП}_{II} . \quad (6.6)$$

И для рассматриваемого варианта

$$f_{\text{ГП}} = 57,486 - 57,481 = 0,005 \text{ м.}$$

Допустимое значение невязки вычисляется по формуле

$$f_{\text{ГП}} = 6 \text{ мм} \sqrt{n} = 6 \text{ мм} \sqrt{4} = \pm 12 \text{ мм.} \quad (6.7)$$

6. Распределить невязку горизонтов прибора по их значениям и записать в соответствующую графу табл. 6.2.

Невязка горизонтов $f_{\text{ГП}}$ распределяется с обратным знаком нарастающим итогом в отдельные значения горизонтов прибора. Поэтому соответствующие поправки вычисляются следующим образом:

$$V_{\text{ГП}'_{II}} = 4 \frac{-f_{\text{ГП}}}{4} = -f_{\text{ГП}} ; \quad V_{\text{ГП}_I} = 3 \frac{-f_{\text{ГП}}}{4} ;$$

$$V_{\text{ГП}_{IV}} = 2 \frac{-f_{\text{ГП}}}{4} ; \quad V_{\text{ГП}_{III}} = \frac{-f_{\text{ГП}}}{4} . \quad (6.8)$$

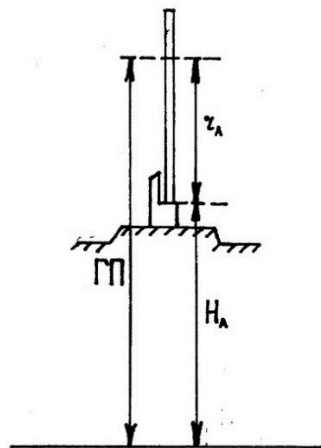


Рис. 6.3. Привязка к реперу

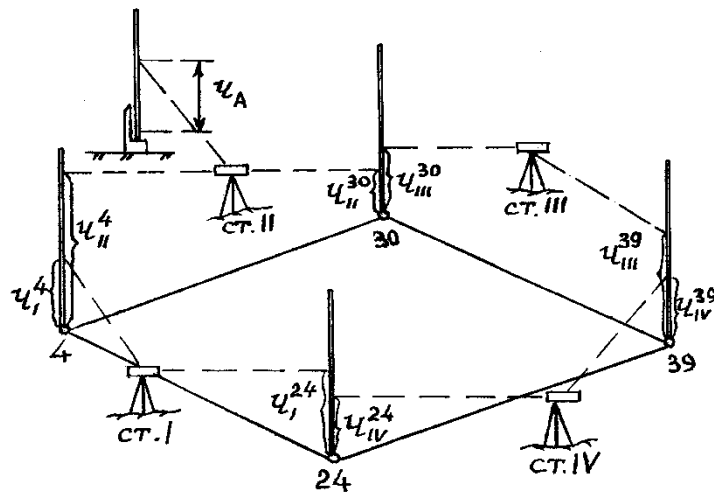


Рис. 6.4. Схема горизонтов приборов станций

Такой порядок распределения невязки вытекает из того, что если в выражение (6.6) вместо $\Gamma\Pi_{\Pi}'$ подставить его значение, полученное в результате последовательного вычисления по формулам (6.2)–(6.5), с учетом отсчетов «ч», то получим

$$\begin{aligned} f_{\Gamma\Pi} &= \mathfrak{q}_{\Pi}^4 - \mathfrak{q}_{\Pi}^{30} + \mathfrak{q}_{\Pi}^{30} - \mathfrak{q}_{\Pi}^{39} + \mathfrak{q}_{\Pi}^{39} - \mathfrak{q}_{\Pi}^{24} + \mathfrak{q}_{\Pi}^{24} - \mathfrak{q}_{\Pi}^4 = \\ &= h_{4-30} + h_{30-39} + h_{39-24} + h_{24-4} = f_{h_{(4-30-39-24-4)}}. \end{aligned} \quad (6.9)$$

Поэтому при равноточности измерений поправки в отдельные превышения равны между собой.

Следовательно, с учетом формул (6.2)–(6.5)

$$V_{\Gamma\Pi_{\Pi}} = V_n; V_{\Gamma\Pi_{IV}} = 2V_n; V_{\Gamma\Pi_I} = 3V_n; V_{\Gamma\Pi_{II}} = 4V_n. \quad (6.10)$$

Но так как

$$V_n = \frac{-f_h}{4} = \frac{-f_{\Gamma\Pi}}{n}, \quad (6.11)$$

где n – число станций, то поправки $V_{\Gamma\Pi}$ получают вид выражения (6.8).

Очевидно, что при рассматриваемой точности измерений поправки $V_{\Gamma\Pi}$ необходимо округлять до целых миллиметров.

В соответствии с отмеченным в рассматриваемом варианте имеем:

$$V_{\Gamma\Pi_{II}} = -5 \text{ мм}; V_{\Gamma\Pi_I} = -4 \text{ мм}; V_{\Gamma\Pi_{IV}} = -3 \text{ мм}; V_{\Gamma\Pi_{\Pi}} = -1 \text{ мм}.$$

7. Вычислить окончательные (исправленные) значения горизонтов прибора по их значениям и переписать их из табл. 6.2 на схему вычислений (см. рис. 6.1).

Окончательные (исправленные) значения горизонтов прибора вычисляются по формуле

$$\Gamma\Pi_I^{\text{исп}} = \Gamma\Pi_I + V_I^{\Gamma\Pi}. \quad (6.12)$$

Для нашего примера они приведены в табл. 6.2 и выписаны на рис. 6.1.

8. По отсчетам черной стороны реек вычислить высоты всех вершин квадратов и записать на схеме в прямоугольных рамках у своих вершин.

Вычисление высот всех вершин квадратов со станции «i» выполнять по формуле

$$H_i = \Gamma\Pi_i - \text{ч}_i. \quad (6.13)$$

Примечание. Процесс вычислительной обработки может быть иным. Например, можно между связующими точками вычислить превышения и увязать их в замкнутом ходе. Далее необходимо вычислить высоты связующих точек, а по ним – горизонты приборов всех станций [7]. Последующие вычисления не будут иметь особенностей по сравнению с рассматриваемыми здесь.

6.3. Построение плана

1. На листе чертежной бумаги построить в карандаше сетку квадратов со сторонами по 4 см и произвести ее контроль.

Квадраты могут быть построены различными способами: методом диагоналей, методом перпендикуляров и т. д. Наиболее полный контроль правильности построения квадратов осуществляется методом диагоналей. Вершины всех квадратов необходимо обозначить небольшими наколами и обвести затем черной тушью с помощью кронциркуля. Диаметр кружков должен быть равен 1 мм. Этой же тушью вычертить внешние стороны крайних сторон квадратов. Толщина линий – 0,1 мм.

2. Выписать для вершин квадратов их высоты, округленные до сантиметров.

Высоты необходимо записать у вершин квадратов в определенной системе черной тушью высотой цифр в 2 мм.

3. Выполнить аналитический расчет положения горизонталей по сторонам двух квадратов и их диагоналям, отмеченным на схеме.

При расчете положения горизонталей необходимо помнить, что они проходят только через высоты, кратные высоте сечения рельефа. Принцип аналитического расчета положения горизонталей показан на рис. 6.5, на котором над стороной или диагональю 1–2 квадрата показана наклонная линия местности 1–2'. Секущие плоскости показаны пунктиром.

Таким образом, при высоте сечения h_0

$$S_1 = S_{1-2} \frac{h_1}{H_2 - H_1}; S_0 = S_{1-2} \frac{h_0}{H_2 - H_1}; S_2 = S_{1-2} \frac{h_2}{H_2 - H_1}. \quad (6.14)$$

Контроль вычислений состоит в следующем:

$$S_1 + nS_0 + S_2 = S_{1-2}. \quad (6.15)$$

Для рассматриваемого примера при $S_{1-2} = 4$ см имеем:

$$S_1 = 40 \cdot \frac{0,17}{1,05} \cdot 6,5 \text{ мм}; \quad S_0 = 40 \cdot \frac{0,25}{1,05} = 9,5 \text{ мм}; \quad S_2 = 40 \cdot \frac{0,13}{1,05} = 5,0 \text{ мм};$$

$$S_1 + 3S_0 + S_2 = 6,5 \text{ мм} + 28,5 \text{ мм} + 5,0 \text{ мм} = 40 \text{ мм}.$$

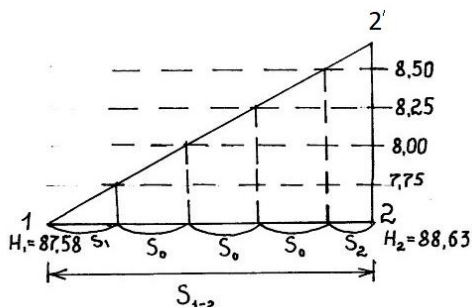


Рис. 6.5. Положение горизонталей при аналитическом расчете

Для расчета положения горизонталей на диагонали

$$S_{1-2} = \sqrt{4^2 + 4^2} = 5,6 \text{ см}.$$

Вычисленные значения S_0 , S_1 , S_2 переносят на стороны квадратов, пользуясь измерителем и линейкой с миллиметровыми делениями.

4. Графическое интерполирование необходимо выполнить с помощью палетки из параллельных линий, нанесенных на восковку, или используя миллиметровую бумагу. Сущность этих способов для данных рис. 6.5 пояснена на рис. 6.6 и 6.7.

5. Выполнить вычерчивание горизонталей в карандаше, затем произвести их «укладку», обеспечивая плавность прохождения через интерполируемые точки на сторонах квадратов и диагоналях.

6. Вычертить план тушью. Горизонталы, кратные 1 м, подписать коричневой тушью так, чтобы основание цифр было направлено вниз по склону. Провести горизонталы коричневой тушью: кратные 1 м, увеличенные – толщиной 0,25 мм, остальные обычные – толщиной 0,1 мм.

7. Нанести ситуацию. Ситуация наносится на план таким же способом, каким производилась съемка на местности относительно сторон квадратов. Вычерчивается ситуация тушью в принятых условных знаках.

8. Оформить план тушью и сделать у его рамок подписи. Вверху над планом написать «Топографический план участка»; внизу посередине – «Масштаб 1:500», строчкой ниже – «сечение рельефа горизонталями через 0,25 м»; внизу справа указать фамилию и инициалы, а также факультет, курс, группу и дату выполнения работы.

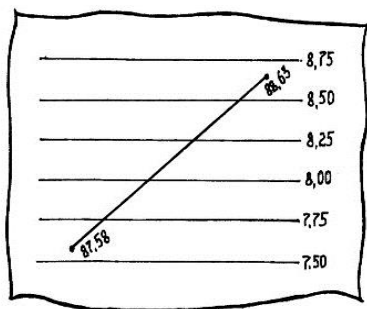


Рис. 6.6. Графическое интерполирование с помощью палетки из параллельных линий, нанесенных на восковку

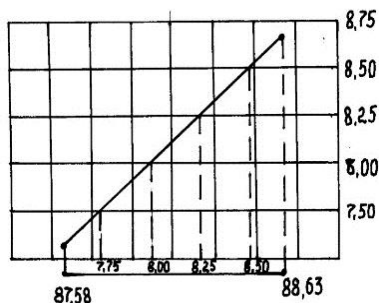


Рис. 6.7. Графическое интерполирование, с использованием миллиметровой бумаги

В результате выполнения лабораторной работы должны быть представлены следующие материалы:

1. Краткий отчет о выполненной работе.
2. Полевая схема нивелирования поверхности по квадратам с вычисленными высотами точек.
3. Ведомость вычисления горизонтов прибора.
4. Топографический план участка.

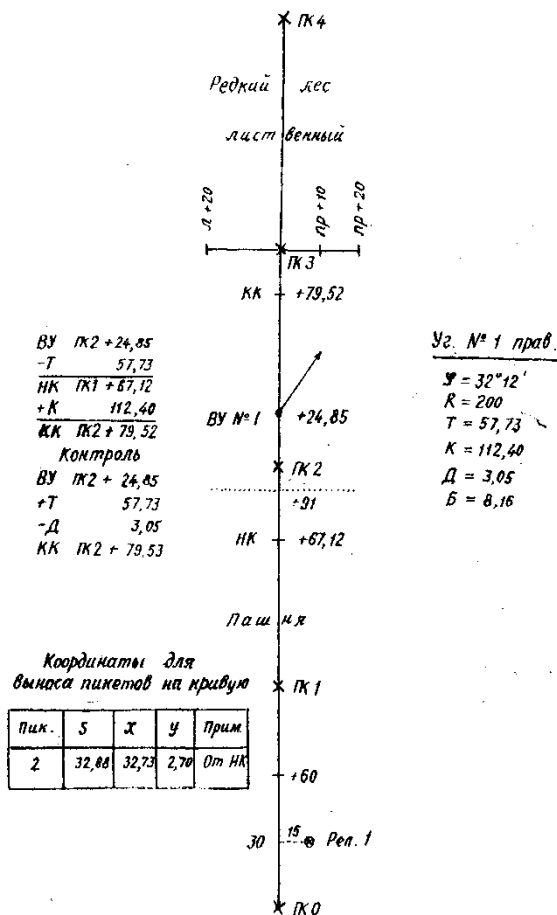
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ганьшин, В.Н. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых / В. Н. Ганьшин, Л. С. Хренов. – М. : Недра, 1985. – 430 с.
2. Геодезия : учеб. пособие для вузов / А. Г. Юнусов, А. Б. Беликов, В. Н. Баранов, Ю. Ю. Каширкин. – М. : Академ. проект, 2020. – 409 с.
3. Дьяков, Б. Н. Геодезия : учеб. для вузов / Б. Н. Дьяков. – 4 е изд., испр. – СПб. : Лань, 2022. – 416 с.
4. Инженерная геодезия : учеб. для студ. вузов / Е. Б. Ключин, М. И. Киселев, Д. Ш. Михелев, В. Д. Фельдман ; под ред. Д. Ш. Михелева. – М. : Высш. шк., 2000. – 464 с.
5. Кулешов, Д. А. Инженерная геодезия : учеб. для геодез. и строит. спец. вузов / Д. А. Кулешов, Г. И. Стрельников, Г. Е. Рязанцев. – М. : Картогеоцентр : Геодезиздат, 1996. – 304 с.
6. Маслов, А. В. Геодезия : учеб. для студ. вузов / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – 6-е изд., перераб. и доп. – М. : КолосС, 2006. – 598 с.
7. Неумывакин, Ю. К. Практикум по геодезии : учеб. пособие / Ю. К. Неумывакин, А. С. Смирнов. – М. : Недра, 1985. – 200 с.
8. Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000 и 1:500 : ГКНП 02-004-2010 / Гос. ком по имуществу Респ. Беларусь. – М. : Госкомимущество, 2010. – 24 с.
9. Подшивалов, В. П. Инженерная геодезия : учеб. / В. П. Подшивалов, М. С. Нес-теренок. – Минск : Вышэйш. шк., 2014. – 463 с. : ил.
10. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000, 1:500 / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М. : Недра, 1989. – 286 с.
11. Шулякова, Т. В. Геодезия : учеб.-метод. комплекс / Т. В. Шулякова, П. В. Дру-гаков, А. А. Титюркина. – Горки : БГСХА, 2021.
12. Шулякова, Т. В. Составление топографического плана по результатам нивели-рования поверхности по квадратам : метод. указания / Т. В. Шулякова, Е. В. Ларионова. – Горки : БГСХА, 2013. – 20 с.
13. Шулякова, Т. В. Учебная геодезическая практика : метод. указания / Т. В. Шу-лякова, А. С. Ярмоленко. – Горки : БГСХА, 1991. – 100 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Пикетажный журнал



Журнал технического нивелирования трассы дороги

Дата _____

Наблюдатель _____

№ станции	№ пикета	Отсчеты по рейке, мм			Превышения, м	Средние превышения, мм	Поправки, мм	Исправленные превышения, мм	Горизонт прибора, м	Высоты, м	Примечание
		задние	передние	промежуточные							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	Реп. 1	1622	1206		+416					87,132	
1	пк0	6406	5988		+418	+417	+1	+418		87,550	
		4784	4782								
	пк0	1924	1738		+186				89,474	87,550	
2	пк1	6708	6521		+187	+186,5	+1,5	+188	89,476	87,738	
	пк0+60	4784	4783	0842					ср. 89,475	88,633	
	пк1	0657	2836		-2179					87,738	
3	х ₁	4542	7618		-2176	-2177,5	+1,5	-2176			
		4785	4782								
	х ₁	0525	2473		-1948						
5	пк2	5308	7258		-1950	-1949	+1	-1948		83,614	
		4783	4785								
	пк2	1214	1673		-459					83,614	
5	пк3	5996	6459		-463	-461	+1	-460		83,154	
		4782	4786								
	пк3	0837	2003		-1166				83,991	83,154	
	пк4	5621	6789		-1168	-1167	+2	-1165	83,992	81,989	
6	пк3, п+10	4784	4686	2510					ср. 83,992	81,482	
	пк3, п+20			1311						82,681	
	пк3, п+20			0352						83,640	
Постраничный контроль		42260	52562		-10302	-5151	+8	-5143			

Дата _____

Наблюдатель _____

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	пк4	0971	0412		+559				82,960	81,989	
	пк5	5755	5198		+557	+558	+1	+559	82,960	82,548	
7	пк4+14	4784	4786	1615					ср. 82,960	81,345	ГВВ
	+20			2941						80,019	ГМВ
	+30			2942						80,018	Гл. реки на пк4+26 0,85 м
	+38			1246						81,714	
	пк5	1832	1165		+667					82,548	
8	пк6	6614	5947		+667	+667	+1	+668		83,216	
		4782	4782								
	пк6	2416	0342		+2074				85,632	83,216	
9	х ₂	7203	5125		+2078	+2076	+1	+2077	85,635	85,293	
	пк6+35	4787	4783	2003					ср. 85,634	83,631	
	х ₂	2814	0437		+2377						
10	пк7	7598	5219		+2379	+2378	+2	+2380		87,673	
		4784	4782								
	пк7	2470	0080		+2390					87,673	
11	пк8	7253	4865		+2388	+2389	+1	+2390		90,063	
		4783	4785							90,063	
	пк8	1230	2186		-956					90,063	
	Реп.2	6014	6972		-958	+957	+1	-956		89,107	
Постраничный контроль		52170	37948		+14222	+7111	+7	+7118	$\Sigma h_{\text{вер}} = +1975 \text{ мм}$ $f_h = +1960 - 1975 = -15 \text{ мм}$ $f_{\text{доп}} = 50\sqrt{L} = 50\sqrt{0,8} = 45 \text{ мм}$		
Контроль по ходу		94430	90150		+3920	+1960	+15	+1975			

Прямоугольные координаты детальной разбивки круговой кривой № 1

$$\varphi = 32^{\circ}12' \quad R = 200 \text{ м} \quad K = 112,40$$

№ точки	Расстояние S от НК или КК, м	Угол γ	Координаты, м	
			X	Y
1	10	2,865°	10,00	0,25
2	20	5,730°	19,97	1,00
3	30	8,594°	29,89	2,25
4	40	11,459°	39,73	3,99
5	50	14,324°	49,48	6,22

Варианты задания

№ стан-ции	Отсчеты по черной стороне рейки для вариантов													
	№ вершины	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	23	1905	2468	2256	2295	1856	2852	2355	0954	2624	2758	1446	2396	2486
	24	1213	2822	2538	1971	2642	2683	1542	0746	2146	2425	1617	2346	2856
	13	1433	2376	2263	2110	1992	1960	1900	0527	2094	2058	1498	2120	2597
	12	0904	1784	2783	2312	1884	1599	1516	1179	1725	1348	1829	2217	2217
	1	0522	2154	2411	1836	2360	1558	0833	1720	1246	1129	2620	2056	2187
	2	0704	1457	1950	2174	2119	1261	1063	2238	1187	1552	0914	1555	1561
	11	0964	1206	2258	2748	1288	1500	2072	1716	1918	1939	1893	1638	1577
	14	1415	1987	1983	2493	1537	1910	2474	1334	2440	2383	0685	1683	2091
	15	1501	1228	1480	2183	1484	1534	2316	0887	2559	2209	0307	0488	1088
	10	1016	0520	1961	2109	0973	0873	2395	1178	2159	1274	0810	0808	0879
	3	1055	0912	1664	1333	1382	1042	1404	1669	0757	1488	1908	1444	1014
	4	1108	0186	1232	0625	0746	0954	1108	1114	0440	0692	2120	1076	0580
	9	1242	0206	1143	1034	0851	0245	1533	0609	1720	1546	1636	0654	0234
	9	0619	1156	1369	1883	1917	1246	2117	1814	2278	0966	0436	1544	1734
II	4	0481	1133	1460	1474	1812	1958	1690	2310	1000	0110	0922	1968	2082
	5	1041	0306	1059	0698	0641	1967	1848	1779	0135	0228	1839	1770	1196
	6	1873	0953	0509	1309	1100	2400	2608	1909	0778	0727	2518	0857	1409
	7	1571	1142	0318	1760	1729	2148	2328	1217	1677	1556	2814	0956	1388
	8	1119	0935	0823	1437	1492	1538	2060	1068	1479	1116	1672	1738	1020
	16	0997	1560	1948	2562	2626	1934	1846	1212	2870	2096	0196	0836	1938
	17	1410	2154	1585	1836	1953	2140	1190	0284	2477	2148	1326	1220	1518
	18	1881	1857	0816	2231	2358	2841	1407	0896	2915	2194	2832	1384	1517
	19	2662	2626	1557	1122	1797	2626	1316	1732	1636	2839	2813	1188	1346
	20	2011	2857	2806	1145	1644	2210	0808	1392	2340	2956	1380	2150	1999
	21	1448	1944	2746	2333	2385	2413	1215	1853	2568	2991	0189	1776	2624
	29	2430	2874	2902	0625	0722	1480	1791	2628	1426	2700	1506	2712	1736
	30	2684	1925	1484	1433	0936	1713	2132	2874	1531	2700	2570	1384	1178
	A	0582	0669	0590	0525	0571	0548	0569	0849	0492	0639	0725	0850	0875

№ стан-ции	Отсчеты по черной стороне рейки для вариантов												
	№ вершины	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
I	23	2844	0967	0414	1698	2055	1696	2168	2630	2064	0424	0882	2327
	24	2886	0616	0890	0966	1438	1011	2675	2705	2427	0337	0210	2093
	13	2338	0794	1520	0773	1204	0562	2729	2242	2447	0792	0619	2825
	12	1808	1715	2116	0254	0666	1007	2248	1750	1745	1180	0197	2384
	1	2169	1111	2794	0486	0262	1037	2274	2095	1178	1587	0882	2474
	2	1518	1177	2786	1077	1196	1755	1550	1470	1226	1898	1428	1562
	11	1216	1978	1966	0747	0845	1712	1617	1128	1897	1606	0867	1526
	14	1997	1009	1125	1226	1492	1169	1798	2038	2608	1038	1206	1947
	15	1127	1839	0808	1639	1934	1804	0985	1281	2100	1497	1711	1186
	10	0665	2103	1719	1188	1398	2218	0456	0570	1607	2120	1670	0728
	3	0925	1108	2317	1786	1864	2420	0714	1087	1005	2460	2089	0828
	4	0319	0634	1817	2386	1268	2298	0188	0858	0365	2296	2818	0318
	9	0190	0784	0996	1966	0936	1972	0125	0388	0907	2600	2497	0182
	9	1190	2584	1592	1966	2036	2472	1125	0288	0807	2300	0897	1882
II	4	1320	2432	2414	2384	2366	2797	1188	0760	0263	1998	1217	2020
	5	0358	2507	1867	2717	1838	2086	0579	1350	0803	1250	1878	1495
	6	1017	0959	1399	2739	1600	1426	0550	1999	1242	0557	2390	1156
	7	1236	0836	0298	2049	0244	1223	1097	1938	1766	0768	1898	0560
	8	0882	1478	0718	1717	1034	1907	1198	1297	1127	1564	1441	1187
	16	1597	2685	1510	1645	2686	2013	2168	0877	1520	1627	0575	2160
	17	1971	1495	1294	0648	1666	1406	1907	0998	1994	155	1062	1436
	18	1916	0595	1137	1298	0902	0604	1259	1717	2455	1486	1507	1024
	19	2695	1070	2044	0307	0957	0698	1105	1707	2623	2112	2036	1718
	20	2899	1828	2132	0968	1822	1648	1776	1609	2017	1437	1253	1790
	21	2106	2427	1417	1814	2594	244	2317	1856	1060	0852	0660	2315
	29	2817	1255	22066	1270	1574	1680	1197	2500	1885	1182	0954	2608
	30	1988	0377	2956	1756	0550	0685	0668	2706	2673	2096	1556	1955
	A	0820	0738	0950	0680	0700	0531	0484	0920	0749	0658	0785	0587

№ стан-ции	Отсчеты по черной стороне рейки для вариантов													
	№ вер-шины	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
III	30	2617	1374	1105	1270	1000	1210	0608	0876	1874	2782	2772	1284	1182
	29	2360	2319	2525	0464	0790	0980	0264	0628	1765	2780	1710	2612	1736
	28	2257	1321	2557	1521	1671	1752	0184	0674	1758	2352	0780	2477	2417
	33	1816	1253	2480	1732	1130	1020	1013	2279	0800	1595	1089	1508	1855
	32	1901	1825	2385	1030	0613	0601	1492	1556	1398	2399	1886	2338	1505
	31	2200	0642	1130	1441	0965	1104	1844	2153	2043	2143	2260	1530	1485
	42	0630	1122	0482	1872	1104	1738	2783	1894	2628	1429	1924	1127	1514
	41	0410	1847	1239	1403	1119	1593	2448	1895	1949	1809	1559	1548	1518
	40	1126	2315	1871	2473	1540	1596	2252	1458	1782	1404	0848	1469	1943
	39	0929	2654	1712	2892	2748	1996	2750	0910	2056	1260	0625	1020	2755
	34	1208	2112	1668	2540	1837	1636	1677	1878	1058	0886	1434	1295	2214
	34	1795	1074	1315	1648	0934	0940	1607	2676	0257	0685	2434	0695	0414
IV	39	1513	1614	1360	2002	1848	1300	2682	1706	1252	1058	1623	0420	0957
	38	0997	2067	1489	2501	2393	1755	2158	1361	1159	1110	1937	0988	1289
	37	0736	2676	2350	1962	2729	0804	1830	1245	1249	1955	1890	1720	1953
	36	0846	2581	2245	1606	2302	2223	1458	1826	0561	1504	2355	2078	1354
	35	1356	1871	1617	1980	1774	2036	1786	2246	0477	0488	2577	1580	0696
	25	1077	2826	1804	1620	1565	2397	0785	1458	1252	1146	2480	2750	1996
	26	1627	2086	1504	1338	2091	2572	0957	1787	1266	1266	2186	2360	1394
	27	2484	1135	1552	1111	1216	1996	0507	1605	1050	1606	1850	1616	0755
	22	1836	1316	1313	1544	2131	2075	0888	0676	2436	2580	0916	1900	1416
	23	1790	1822	1752	2093	2092	2652	1335	2186	2727	2060	1446	2596	2186
	24	1098	2179	2032	1767	2880	2480	0518	0747	2244	1725	1618	2548	2558
	A	0723	3327	2521	2429	1124	2015	1792	0415	1050	2417	1145	2012	1027

№ стан-ции	Отсчеты по черной стороне рейки для вариантов												
	№ вер-шины	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
III	30	1090	0679	2356	1154	0450	0483	0964	1308	2271	0877	2754	0657
	29	1917	1555	1466	0668	1474	1480	1495	1100	1485	1962	2154	1308
	28	1037	2168	0889	1433	2412	2262	2049	1315	0698	0974	1634	1290
	33	0968	1837	1786	1377	1846	1854	1598	1177	1040	1084	1199	1900
	32	1534	1222	2210	1402	1590	1698	1124	1796	1468	2033	1748	1227
	31	0315	0398	2075	1935	0716	0754	0357	1938	2030	2903	2397	0512
	42	0836	0317	2922	2624	0836	0582	0596	2580	2370	2782	2495	0289
	41	1569	0975	2880	1143	0794	1104	1216	1713	2187	1867	1704	0998
	40	2029	1636	2244	1126	1230	1147	1830	0998	1644	0708	0944	1214
	39	2527	2185	1486	0442	1492	0977	2569	0167	1997	0158	0210	0816
	34	1997	2496	1069	1279	2096	1795	2344	0739	1470	0098	0674	1600
	34	0600	1096	2069	2079	1396	1993	0442	1239	0970	1318	2174	1600
IV	39	1130	0785	2487	1240	0792	1174	0668	0670	1494	1379	1708	0818
	38	1768	1479	1936	0774	0546	0684	1363	0858	1938	0556	0850	0490
	37	1288	2079	1717	0250	0186	0180	2184	0616	2463	0310	0120	0266
	36	2142	2198	1218	0800	0837	0830	2144	1128	2380	0986	0896	1007
	35	1497	1847	1248	1525	1214	1478	1302	1590	1707	1165	1525	1240
	25	2346	1813	1326	1207	1396	1318	2226	1586	1900	1505	1382	1808
	26	1737	1808	0628	1907	2016	1987	1420	2117	1620	1634	2054	2035
	27	0536	1296	1358	2747	2069	2477	0483	1643	0758	2037	2633	2296
	22	0666	1708	1173	2258	2220	2838	0924	1062	0608	2593	2820	1898
	23	1544	1667	1417	1898	2358	2196	1571	1628	1064	2124	1985	2727
	24	1582	1318	1895	1167	1742	1513	2078	1702	1428	2035	1314	2491
	A	1244	1087	0317	0812	1011	0925	1281	1341	0415	1234	1168	1572

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Лабораторная работа 1. ИЗУЧЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И КАРТ ...	4
Лабораторная работа 2. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕОДОЛИТОВ.....	29
Лабораторная работа 3. ИЗУЧЕНИЕ ТОЧНЫХ ТЕОДОЛИТОВ.....	55
Лабораторная работа 4. ИЗУЧЕНИЕ НИВЕЛИРОВ	76
Лабораторная работа 5. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ.....	97
Лабораторная работа 6. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ.....	110
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	120
ПРИЛОЖЕНИЯ	121

Учебное издание

Другаков Павел Владимирович
Титюркина Анастасия Андреевна

ГЕОДЕЗИЯ

В двух частях

Часть 1

Учебно-методическое пособие

Редактор *Н. Н. Пьянусова*
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 31.07.2026. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Усл. печ. л. 7,67. Уч.-изд. л. 6,84.

Тираж 40 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/52 от 09.10.2013.
Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.