

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Методические указания к лабораторным занятиям

Составили В. Н. Анопин, Р. М. Глушкова, О. И. Карпова

2-е издание, исправленное и переработанное

Волгоград. ВолгГАСУ. 2016



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2016

УДК 528.4(076.5)
ББК 26.1я73
И622

И622 **Инженерная** геодезия [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным занятиям / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т; сост. В. Н. Анопин, Р. М. Глушкова, О. И. Карпова. 2-е изд., испр. и перераб. — Электронные текстовые и графические данные (0,7 Мбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2016. — Электронное издание сетевого распространения. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Изложены основные принципы выполнения полевых работ и более детально вопросы камеральной обработки материалов теодолитной и тахеометрической съемок, нивелирования трасс линейных сооружений и поверхности, включающие проведение графических построений.

Для студентов строительных специальностей (бакалавриат, специалитет) дневной формы обучения.

Первое издание под названием «Инженерная геодезия: методические указания к лабораторным и расчетно-графическим работам» составителя В. Н. Анопина были выпущены в 2008 г.

План выпуска учебн.-метод. документ. 2016 г., поз. 48

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0

Подписано в свет 06.04.2016.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 2,0. Объем данных 0,7 Мбайт

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru

Оглавление

1. Масштабы, условные знаки.....	4
2. Обработка материалов теодолитной съемки.....	6
2.1. Общие сведения.....	6
2.2. Камеральные работы.....	8
2.2.1. Обработка ведомости координат точек замкнутого теодолитного хода.....	8
2.2.2. Обработка ведомости координат диагонального хода.....	11
2.2.3. Построение и оформление плана теодолитной съемки.....	13
3. Обработка материалов нивелирования трассы.....	16
3.1. Общие сведения.....	16
3.2. Камеральные работы.....	19
3.2.1. Обработка журнала нивелирования трассы.....	19
3.2.2. Построение продольного профиля трассы.....	23
3.2.3. Построение проектной линии.....	24
3.2.4. Нивелирование и построение профилей поперечников.....	27
3.2.5. Оформление профиля.....	29
4. Обработка материалов нивелирования поверхности по квадратам.....	29
4.1. Полевые работы и обработка журнала площадного нивелирования.....	29
4.2. Построение плана нивелирования по квадратам.....	31
4.3. Составление проекта горизонтальной площадки.....	34
5. Обработка материалов тахеометрической съемки.....	38
5.1. Общие сведения.....	38
5.2. Обработка журнала тахеометрического хода.....	40
5.3. Заполнение и обработка журнала тахеометрической съемки.....	43
5.4. Построение плана тахеометрической съемки.....	43
Библиографический список.....	44

1. МАСШТАБЫ, УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ

Масштаб это отношение величины отрезка линии на плане или карте к длине горизонтального положения того же отрезка линии на местности.

Масштабы разделяют на численный, линейный и поперечный.

Численный масштаб выражается дробью, у которой числитель — единица, а знаменатель — число, показывающее степень уменьшения. В масштабе 1: 2000 длина отрезка линии в 1 см на плане соответствует 2000 см или 20 м на местности, 1 : 25000 — 25000 см или 250 м.

Линейный масштаб представляет отрезок прямой линии, разделенный на несколько равных частей (рис. 1), называемых основаниями масштаба a . За основание масштаба чаще всего принимают длину отрезка в один или два сантиметра. Левое основание делят на 10 равных частей — малых делений b . Штрих в правом конце первого основания отмечают нулем (нулевое деление). В конце каждого следующего основания подписывают число метров, соответствующих на местности отрезку линии, от нулевого штриха в заданном масштабе.

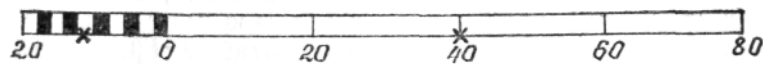


Рис. 1. Линейный масштаб (М 1 : 1000)

Например, на плане в масштабе 1: 1000 основание – отрезок, равный 2 см, соответствует на местности 20 м, следовательно, конец первого справа от нуля отрезка будет иметь значение 20 м, конец второго отрезка — 40 м и т.д. Слева от нуля каждый малый отрезок соответствует 2 м на местности.

В работе с масштабом используют циркуль-измеритель, который прикладывают к масштабу так, чтобы игла одной его ножки совпадала с концом одного из оснований справа от нулевого деления, при положении другой в пределах левого основания. Если игла левой ножки измерителя окажется между штрихами малого деления, то его часть оценивают на глаз. На рис. 1 показан отрезок линии, соответствующий на местности $51 \text{ м} = 2a + 5,5b$.

Недостатком линейного масштаба является невысокая точность оценки на глаз его малого деления.

Для достижения более высокой точности измерений и построений применяют *поперечный масштаб* (рис. 2), который наносят гравировкой на стальную пластинку.

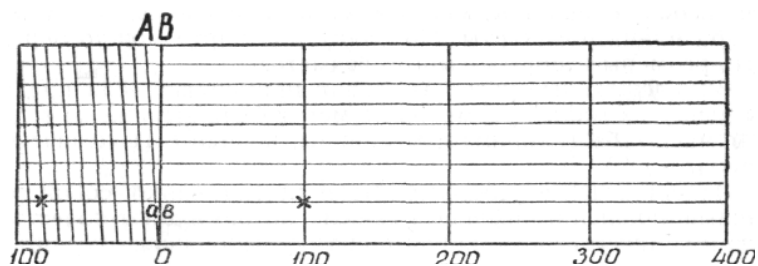


Рис. 2. Поперечный масштаб (М 1: 5000)

Нижняя линия стандартной масштабной линейки разделена на основания по 2 см. Из концов оснований восстановлены перпендикуляры, крайние из которых разделены на 10 равных частей. Концы соответственных отрезков соединены прямыми линиями параллельными основанию. Левые верхнее и нижнее основания разделены на 10 малых делений. Их концы соединены наклонными линиями (трансверсолями), как показано на рисунке: конец первого верхнего деления с нулевым нижним, конец второго верхнего с первым нижним, третьего верхнего со вторым нижним и т.д.

В результате получается: наименьшее деление t
 $t = ab = AB : 10 = b : 10 = a : 100 = (20 \text{ мм} : 10) : 10 = 0,2 \text{ мм}$.

Поперечный масштаб, у которого наименьшее деление составляет 1 : 100 основания, называется *нормальным или сотенным масштабом*.

Пример пользования поперечным масштабом.

На плане масштаба 1: 5000 требуется отложить линию, соответствующую на местности 182 м. Для данного масштаба основанию $a = 2$ см на местности соответствует 100 м; каждому малому делению основания $b = 2$ мм — 10 м, а наименьшему делению $t = 0,2$ мм — 1 м. Отрезок, соответствующий расстоянию 182 м равен $a + 8b + 2t$. Устанавливаем иглу правой ножки циркуля-измерителя на вертикальной линии находящейся справа на расстоянии одного основания от нулевого деления, а левую ножку измерителя в точке пересечения 8-й от нуля наклонной линии с нижней горизонтальной. Этот раствор измерителя соответствует расстоянию 180 м. Далее ножки измерителя передвигают вверх так, чтобы правая поднималась по вертикальной линии, а левая — по наклонной (трансверсоли) до ее пересечения со 2-й горизонтальной линией. Полученный раствор измерителя, соответствующий 182 м на местности, переносят на план.

На некоторых масштабных линейках нанесены нормальные поперечные масштабы с основаниями 1; 2; 4; 5 см.

Отрезок на местности, соответствующий в данном масштабе 0,1 мм плана, называют точностью масштаба (t). В масштабе 1:1000 $t = 0,1$ м; в масштабе 1: 500 $t = 0,05$ м.

Применяемые в промышленном и гражданском строительстве планы вычерчивают в строгом соответствии с «Условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500». Условные знаки подразделяют на контурные, внемасштабные, линейные и пояснительные.

Контурные (масштабные) условные знаки применяют для изображения предметов местности с соблюдением масштаба плана или карты. По данным их измерений можно вычислить действительные размеры на местности изображенного на плане или карте объекта.

Внемасштабные условные знаки применяют, если вследствие малых размеров объекты не могут быть нанесены на карту в данном масштабе (например: пункты государственной опорной геодезической сети, мельницы, колодцы и др.).

Пояснительные условные знаки представляют собой различные надписи, дающие качественную или количественную характеристику изображаемого объекта.

У линейных условных знаков длина в масштабе карты соответствует расстоянию на местности, а ширина приводится в форме пояснения.

При вычерчивании планов применяют тушь различного цвета. Зеленым цветом наносят контуры водоемов, коричневым — горизонтали, красным или оранжевым — шоссейные дороги, желтым или светло-коричневым — улучшенные грунтовые дороги, черным выполняют надписи.

2. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

2.1. Общие сведения

При теодолитной съемке полевые работы производятся в два этапа: а) построение съемочного обоснования и б) съемка ситуации. В качестве съемочного обоснования прокладываются теодолитный ход, например, замкнутый ход 1—2—3—4—5—6—1 с разомкнутым диагональным ходом 4—7—8—1 внутри него (рис. 3).

Правые по ходу съемки горизонтальные углы измеряют теодолитом способом приемов (двумя полуприемами при двух положениях вертикального круга относительно зрительной трубы: круге право — КП и круге лево — КЛ).

Значение угла, в каждом полуприеме получают как разность отсчетов на правую и левую точки хода. В приведенном ниже примере (табл. 1) при КП

$$\beta = 125^{\circ} 16' - 35^{\circ} 33' = 89^{\circ} 43'.$$

Если отсчет на правую точку окажется меньше, чем на левую, то к отсчету на точку, находящуюся справа прибавляют 360° , например, при КЛ:

$$\beta = 51^{\circ} 48' + 360^{\circ} - 322^{\circ} 05',5 = 89^{\circ} 42',5.$$

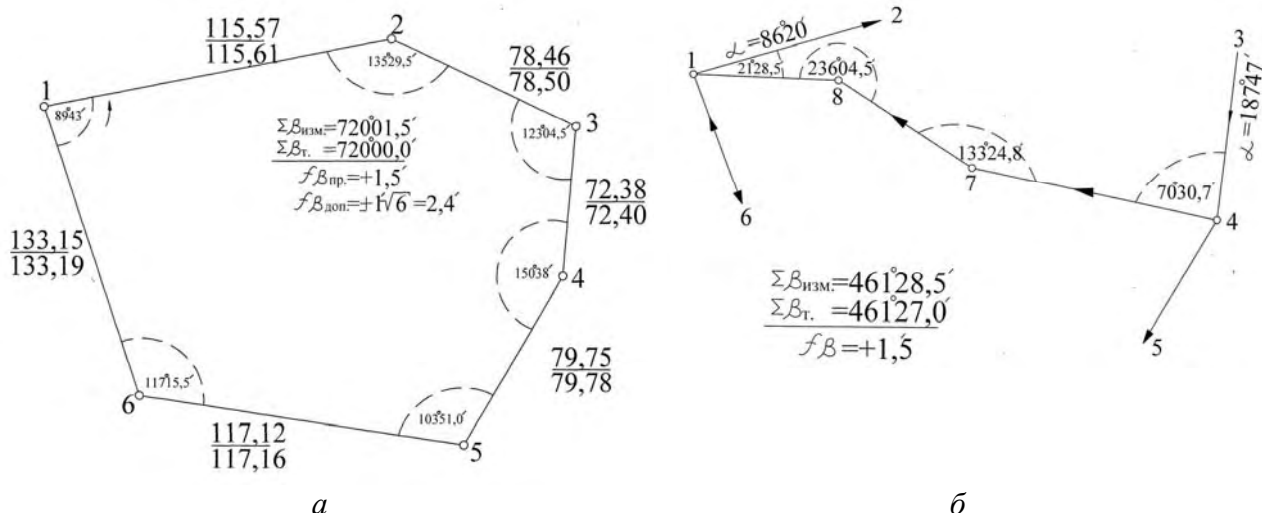


Рис. 3. Схема теодолитных ходов: а — замкнутого; б — диагонального

Таблица 1

Журнал измерения углов и сторон теодолитного хода (образец)

№ точек стояния	№ точек визирувания	Отсчеты по шкалам микро-скопа		Значения углов измеренных				Углы наклона		Длины линий, м
				в полу-приемах		в приеме				
				о	'	о	'	о	'	
1	6	125	КП 16							l_{1-2} 115,57 115,61 <hr/> $l_{cp} = 115,59$
	2	35	33	89	43					
	6	51	КЛ 48			89	43	4	30	
	2	322	05,5	89	42,5					

Углы при КП и КЛ не должны различаться между собой больше, чем на двойную точность отсчетного устройства теодолита (для 2Т30 и 4Т30 не более 1'). Если разность между значениями угла, измеренного при КП и КЛ, будет больше 1', то угол измеряется вновь. За окончательную величину угла принимается среднее значение из двух результатов измерений. В приведенном примере $\beta_1 = (89^\circ 43' + 89^\circ 42',5) : 2 = 89^\circ 42',75 \approx 89^\circ 43'$.

Если к вершине угла примыкает диагональный ход, то визируют на три направления: заднее, диагональное и переднее.

Стороны теодолитного хода измеряют двадцатиметровой стальной мерной лентой дважды в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение не должно превышать 1 : 2000, т.е. 1 см на каждые 20 м измеренной линии.

Ориентирование одной из сторон хода выполняют с помощью буссоли.

Съемку ситуации выполняют с точек и сторон съемочного обоснования одним из пяти основных способов: прямоугольных координат (перпендику-

ляров), линейных засечек, угловых засечек, полярных координат, створов. Результаты съемки фиксируют на схематическом чертеже участка местности — абрисе теодолитной съемки.

2.2. Камеральные работы

2.2.1. Обработка ведомости координат точек замкнутого теодолитного хода

Результаты обработки материалов теодолитной съемки заносят в ведомость координат (табл. 2). Дальнейшие вычисления выполняют с использованием формул связи дирекционных углов и внутренних углов теодолитного хода и прямой геодезической задачи.

Внесение исходных данных в ведомость координат точек теодолитного хода. В графу «номера углов» вписывают номера всех вершин замкнутого теодолитного хода. Из журнала измерения углов и сторон теодолитного хода выписывают соответствующие величины горизонтальных углов, в графу «мера линии» вносят значения горизонтальных проложений сторон полигона (между соответствующими углами).

Горизонтальные проложения вычисляют по формуле

$$d = l_{\text{ср}} \cdot \cos v, \quad (1)$$

где $l_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое из измерений сторон в прямом и обратном направлениях, v — крутизна ската.

Определение угловой невязки и внесение поправок. Вычисляют сумму всех измеренных внутренних углов теодолитного хода $\Sigma\beta_{\text{изм}}$ и записывают под чертой. Затем находят теоретическую сумму углов по формуле

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

где n — число углов полигона. Вычисляют угловую невязку:

$$f_\beta = \Sigma\beta_{\text{изм}} - \beta_{\text{теор}}, \quad (3)$$

которая не должна превышать допустимой величины $f_{\beta\text{доп}}$:

$$f_{\beta\text{доп}} = \pm 1' \sqrt{n} \quad (\text{для } 2\text{T}30, 4\text{T}30). \quad (4)$$

Если невязка допустима, вносят поправки в углы, распределяя невязку с противоположным знаком поровну на все значения, округлив до 0,5 минуты. При получении остатка, его распределяют в углы, составленные более короткими сторонами.

Примечание: Для упрощения последующих вычислений допускается внесение поправок, равных 0,5' только в углы имеющие дробные значения минут.

Таблица 2

Ведомость вычисления координат точек замкнутого теодолитного хода

№ угло в	Измер. углы $\beta_{\text{изм}}$	Исправ. углы $\beta_{\text{исп}}$	Дирекцион- ный угол, α	Румб, r	Горизон- тальное проложе- ние d , м	Вычислен. приращен.		Исправлен. приращен.		Координаты	
						$+\Delta x$	$+\Delta y$	$+\Delta x$	$+\Delta y$	X	Y
1	89°43'	89°43'								1000,00	1000,00
			86°20'	СВ: 86°20'	115,47	+1	+2	+7,39	+115,25		
2	-0',5 135°29',5	135°29'				+7,38	115,23			1007,39	1115,25
			130°51'	ЮВ:49°09'	78,48		+2	-51,28	+59,38		
3	-0',5 123°04',5	123°04'				-51,28	59,36			956,11	1174,63
			187°47''	ЮЗ:7°47'	72,39		+1	-71,72	-9,79		
4	150°38',0	150°38'				-71,72	-9,80			884,39	1164,84
			217°09'	ЮЗ:37°09'	79,76		+1	-63,58	-48,16		
5	103°51'	103°51'				-63,58	-48,17			820,81	1116,68
			293°18'	СЗ:66°42'	117,10	+1	+2	+46,33	-107,53		
6	-0',5 117°15',5	117°15'				46,32	-107,55			867,14	1009,15
			356°03'	СЗ:3°57'	133,17	+1	+2	+132,86	-9,15		
1						132,85	-9,17			1000,00	1000,00
			86°20'								
2											

$$\Sigma \beta_{\text{изм}} = 720^{\circ}01',5 \quad \Sigma 720^{\circ}00'$$

$$f_{\text{визм}} = +01',5$$

$$f_{\text{доп}} = \pm 1' \cdot \sqrt{n} = \pm 1' \cdot \sqrt{6} \approx 2',5$$

$$f_{\text{изм}} < f_{\text{доп}}$$

$$P = 596,37 \quad \Sigma \Delta x_{\text{изм}} = -0,03 \quad \Sigma \Delta y_{\text{изм}} = -0,10 \quad 0 \quad 0$$

$$\Sigma \Delta x_{\text{т}} = 0,00 \quad \Sigma \Delta y_{\text{т}} = 0,00$$

$$f_x = -0,03 \quad f_y = -0,10$$

$$f_{\Delta x_{\text{изм}}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0,10$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{f_{\text{абс}}}{P} = \frac{1}{P : f_{\text{абс}}} = \frac{1}{596 : 0,10} = \frac{1}{5960} < \frac{1}{2000}$$

Пример: В замкнутом теодолитном ходе из 6 точек сумма измеренных горизонтальных углов получилась равной $720^{\circ}01',5$, теоретическая сумма равна $\Sigma\beta_T = 180^{\circ}(6-2) = 720^{\circ}00'$, невязка составляет $f_{\beta} = 720^{\circ}01',5 - 720^{\circ}00' = 0^{\circ}01',5$ (меньше допустимой величины $= \pm 1' \sqrt{6} \approx 2',5$). В значения углов 2, 3 и 6 внесли поправки по $-0,5'$, получив исправленные величины соответственно: $135^{\circ}29'$; $123^{\circ}04'$ и $117^{\circ}15'$.

Вычисление дирекционных углов линий. Значения магнитного азимута начальной линии 1 — 2 (A_M), склонения магнитной стрелки (δ) и сближения меридианов (γ) задает преподаватель. По величине магнитного азимута вычисляют дирекционный угол линии по формуле

$$\alpha = A_M + \delta - \gamma. \quad (5)$$

По значению дирекционного угла линии 1—2 вычисляют дирекционные углы линий 2—3, 3—4 и других линий, по формуле

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + 180^{\circ} - \beta_{\text{пр}}, \quad (6)$$

где $\beta_{\text{пр}}$ — правый по ходу угол, заключенный между линиями с известным и определяемым дирекционными углами.

Пример: $\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^{\circ} - \beta_2 = 86^{\circ}20' + 180^{\circ} - 135^{\circ}29' = 130^{\circ}51'$;

$\alpha_{3-4} = \alpha_{2-3} + 180^{\circ} - \beta_3 = 130^{\circ}51' + 180^{\circ} - 123^{\circ}04' = 187^{\circ}47'$ и т.д.

Контролем правильности вычисления дирекционных углов всех линий служит повторно вычисленное значение дирекционного угла линии 1—2, которое должно быть равно исходному (в приведенном примере $86^{\circ}20'$).

Затем дирекционные углы вписывают в соответствующие графы.

Вычисление приращений координат. Приращения координат точек теодолитного хода вычисляют решением прямой геодезической задачи по формулам:

$$\Delta X = d \cos \alpha, \quad (7)$$

$$\Delta Y = d \sin \alpha, \quad (8)$$

где d — горизонтальное проложение отрезка линии

В замкнутом теодолитном ходе теоретические суммы приращений координат равны нулю, поэтому вычисленные их значения являются невязками f_x и f_y . Вычислив суммы приращений ординат и абсцисс, определяют абсолютную невязку в периметре

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{(f_{\Delta x^2} + f_{\Delta y^2})}, \quad (9)$$

и относительную невязку

$$f_{\text{отн}} = f_{\text{абс}} : \Sigma d = 1/\Sigma d : f_{\text{абс.}}, \quad (10)$$

где Σd — сумма горизонтальных проложений линий теодолитного хода.

Для средних условий измерения расстояний относительная невязка не должна превышать 1: 2000. Если относительная невязка допустима, то во все приращения вносят поправки p , вычисленные по формуле

$$p = \frac{-f \cdot d_i}{\Sigma d}, \quad (11)$$

где d_i — горизонтальное проложение линии, в приращения которой вносятся поправки.

При достаточном навыке поправки вносят на глаз, распределяя невязки fx и fy с обратным знаком на все приращения пропорционально величинам горизонтальных проложений линий. Сумма всех поправок в приращения и абсцисс и ординат должна равняться соответствующей невязке взятой с обратным знаком.

Затем вычисляют уравненные приращения координат и для контроля подсчитывают их алгебраически суммы, которые должны равняться нулю.

Вычисление координат точек теодолитного хода. Координаты точек вершин теодолитного хода вычисляются по формулам:

$$X_{n+1} = X_n + \Delta X, \quad (12)$$

$$Y_{n+1} = Y_n + \Delta Y. \quad (13)$$

В приведенном примере $X_2 = X_1 + \Delta X_{1,2} = 1000,00 + 7,39 = 1007,39$.

$X_3 = X_2 + \Delta X_{2,3} = 1007,39 + (-51,28) = 956,11$ и т.д.

Контролем вычислений являются повторно вычисленные координаты точки № 1, которые должны быть равны исходным.

2.2.2. Обработка ведомости координат точек диагонального хода

В графу 1 ведомости координат диагонального хода (табл. 3) вписывают номера его углов (начиная от исходной точки № 3 и заканчивая последней точкой № 2), в графу 2 — все находящиеся по ходу справа углы, в т.ч. и примычные. Вычисляют угловую невязку по формуле

$$f_{\beta} = \Sigma_{\beta_{\text{пр}}} - n \cdot 180^\circ - (\alpha_o - \alpha_n), \quad (14)$$

где $\Sigma_{\beta_{\text{пр}}}$ — сумма всех, включая примычные, правых углов хода; n — число углов; α_o и α_n — дирекционные углы начальной (3—4) и конечной (1—2) линий диагонального хода.

Также как и при обработке ведомости координат замкнутого хода вносят поправки и вычисляют исправленные значения горизонтальных углов. Невязки в суммах приращений координат определяют по формулам

$$fx = \Sigma \Delta x - (X_n - X_o); \quad (15)$$

$$fy = \Sigma \Delta y - (Y_n - Y_o), \quad (16)$$

где $\Sigma \Delta x$, $\Sigma \Delta y$ — суммы приращений координат диагонального хода; X_n , Y_n , X_o , Y_o — координаты конечной и начальной точек диагонального хода (№ 1 и 4).

Таблица 3

Ведомость вычисления координат точек диагонального хода

№ точек	Измер. углы $\beta_{\text{изм}}$	Исправ. углы $\beta_{\text{исп}}$	Дирекционный угол α	Румб r	Горизонтальное проложение d , м	Вычислен. приращен.		Исправлен. приращен.		Координаты	
						$+\Delta x$	$+\Delta y$	$+\Delta x$	$+\Delta y$	X	Y
3			187°47'								
4	70°30'	70°30'	297°17'	СЗ:62°43'	80,63	+1 36,96	-4 -71,66	36,97	-71,70	884,39	1164,84
7	133°25'	133°25'	343°52'	СЗ:16°08'	55,92	+1 53,72	-4 -15,54	+53,73	-15,58	921,36	1093,14
8	-0,5' 286°04,5'	236°04'	287°48'	СЗ:72°12'	81,42	+2 24,89	-4 -77,52	+24,91	-77,56	975,09	1077,56
1	-0,5' 21°28,5'	21°28'	86°20'							1000,00	1000
2											

$$\Sigma \beta_{\text{изм}} = 461^{\circ}28' \quad 461^{\circ}27'$$

$$\Sigma \beta_{\text{т}} = \underline{461^{\circ}27'}$$

$$f_{\beta_{\text{изм}}} = +1'$$

$$P=217,97 \quad \Sigma \Delta x = +115,57 \quad \Sigma \Delta y = -164,72 \quad +115,610 \quad -164,84$$

$$\Sigma \Delta x_{\text{т}} = +115,61 \quad \Sigma \Delta y_{\text{т}} = -164,84$$

$$f_x = -0,04 \quad f_y = 0,12$$

$$f_{\text{абс.}} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = 0,13$$

$$f_{\text{отн.}} = \frac{f_{\text{абс.}}}{P} = \frac{1}{P : f_{\text{абс.}}} = \frac{1}{218 : 0,13} = \frac{1}{1676} < \frac{1}{1000}$$

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 1' \cdot \sqrt{n} = \pm 1' \cdot \sqrt{4} = \pm 2'$$

$$f_{\text{изм}} < f_{\text{доп}}$$

По формулам (9) и (10) вычисляют абсолютную ($f_{\text{абс}}$) и относительную ($f_{\text{отн}}$) невязки диагонального хода, которая не должна превышать допуска, т. е. $f_{\text{отн}} < \frac{1}{1000}$.

Поправки в приращения координат вносят так же, как и в основном ходе, распределяя невязку с обратным знаком пропорционально горизонтальным проложениям линий.

2.2.3. Построение и оформление плана теодолитной съемки

Работу начинают с построения координатной сетки из 12 квадратов (4×3) со сторонами 100×100 мм линейкой Ф.В. Дробышева. Отступив от длинного нижнего края листа ватмана А2 расстояние, примерно равное ширине линейки, по ее скошенному краю остро отточенным карандашом проводят прямую линию. На нее укладывают линейку так, чтобы вырезы линейки были над линией, первый вырез располагался на расстоянии 5—6 см от левого края листа, и его черта на скошенном крае совпала с начерченной линией. Затем по скошенным краям 1—5 вырезов наносят штрихи. Далее линейку кладут примерно под прямым углом к начерченной линии, совместив пересечение черты и скошенного края первого выреза с левой засечкой — точкой A (рис. 4) и по скошенному краю четвертого выреза делают еще одну черту. После этого линейку кладут по гипотенузе получающегося прямоугольного треугольника, совмещают пересечение черты и скошенного края выреза с правой засечкой на горизонтальной линии (точкой B) и наносят штрих по скошенному краю шестого окна. Пересечение двух штрихов определит положение точки C , находящейся на линии, перпендикулярной начерченной, на расстоянии, равном точно 300 мм. Аналогичные построения выполняют из точек B и A для определения положения точки D (рис. 4). Затем для контроля укладывают линейку по линии CD , совместив пересечение черты и скошенного края первого выреза с точкой C . Точка D должна совпасть со скошенным краем пятого выреза линейки.

После нахождения угловых точек координатной сетки A , B , C , D на линиях CD , AC , BD через 100 мм по скошенным краям окон линейки проводят штрихи и, соединив их соответствующим образом, получают линии координатной сетки.

Окончательный контроль построения выполняют сверкой всех расстояний между углами квадратов сетки с раствором циркуля-измерителя, равным 100 мм взятым по масштабной линейке взятым. Отклонения не должны превышать 0,2 мм.

Для определения направления осей абсцисс и ординат вычисляют разности максимальных и минимальных значений координат точек теодолитного хода. Если разница абсцисс меньше разницы ординат, то за ось X принимают направление, параллельное короткой, а за ось Y — длинной стороне листа

ватмана. В противном случае положение осей обратное. Для построения плана в масштабе 1 : 1000 нанесенные через 100 мм координатные линии подписывают через 100 м.

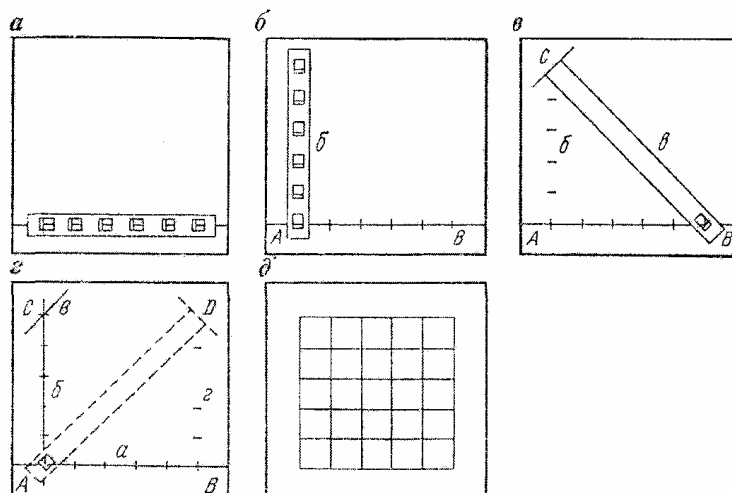


Рис. 4. Построение координатной сетки с помощью линейки Дробышева

В приведенном примере из величины $X_{\min} = 820,81$ м следует, что подписи по оси абсцисс целесообразно начинать со значения 800, исходя из $Y_{\min} = 1000,00$ м подписи по оси ординат должны начинаться с числа 900 (для обеспечения возможности нанесения на план точек ситуации находящихся западнее этой точки теодолитного хода).

Точка 1 будет находиться на пересечении координатных линий $X = 1000$ и $Y = 1000$. Для построения точки II с координатами $X_2 = 1007,37$, $Y_2 = 1115,25$ определяют квадрат, в котором она должна быть расположена. Так как абсцисса этой точки попадает в интервал $1000 < X < 1100$, а ордината $1100 < Y < 1200$, точка должна находиться в квадрате с вершинами, имеющими эти координаты.

Для нанесения ее на план с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки от углов нижней линии квадрата в сторону верхних точек, откладывают в масштабе плана отрезки ΔX ($X_2 - X_{1000} = 1007,39 - 1000,00 = 7,39$ м) и соединяют их тонкой линией. Аналогично вычисляют ΔY ($Y_2 - Y_{1100} = 1115,25 - 1100 = 15,25$ м) и выполняют построение от левой стороны квадрата в сторону правой. Точка II будет находиться на пересечении проведенных тонких линий.

Правильность построения контролируют сравнением расстояний между точками с горизонтальными проложениями соответствующих линий в масштабе плана, полученными с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки. Расхождения не должны превышать 0,3 мм.

Вычерчивание ситуации на плане выполняют по абрису теодолитной съемки, используя результаты измерений до характерных точек контуров местности. Метод построения точек ситуации на плане соответствует способу съемки и обратен ему (вместо измерений выполняют построения). Порядок выполнения съемки методами перпендикуляров, линейных и угловых засечек, полярных координат изложены в методических указаниях.

Для определения положения пикетной точки снятой методом перпендикуляров в масштабе плана откладывают по линии теодолитного хода указанное на абрисе расстояние, а затем в полученной точке в указанном направлении восстанавливают соответствующей длины перпендикуляр.

При способе полярных координат место расположения точки определяют по полярному углу и полярному расстоянию. Для нахождения ее положения на плане совмещают центр транспортира с точкой теодолитного хода, с которой на местности были выполнены угловые и линейные измерения, а нулевое деление — с исходным направлением, откладывают по часовой стрелке величину полярного угла и, прочертив тонкую линию — полярное расстояние (в масштабе плана).

Для построения на плане точки, снятой методом линейных засечек, на стороне теодолитного хода откладывают в масштабе расстояния, измеренные до точек, с которых проводились последующие промеры. Затем из этих точек проводят дуги растворами циркуля, соответствующими расстояниям до снимаемой точки. Пересечение дуг является положением точки.

Для нанесения на план точки, снятой методом угловой засечки, в точках теодолитного хода строят с помощью транспортира углы, равные измеренным на местности. Пикетная точка будет находиться на пересечении полученных направлений.

Соединив соответственные точки, получают на плане изображения строений, коммуникаций и контуров ситуации. После составления плана в карандаше его вычерчивают тушью. Черным цветом наносят теодолитные (сплошными линиями) и диагональные — (пунктирами) ходы, границы угодий (точечным пунктиром), числовые значения (располагая цифры параллельно горизонтальной линии сетки). Объекты гидрографии и пересечения координатных линий вычерчивают зеленым цветом.

При оформлении плана пользуются условными знаками для топографических планов. Пример оформления показан на рис. 5.

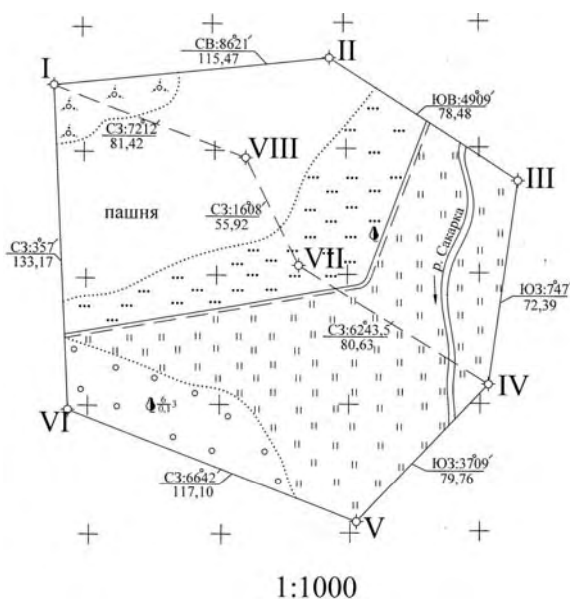


Рис. 5. План теодолитной съемки

3. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НИВЕЛИРОВАНИЯ ТРАССЫ

3.1. Общие сведения

В строительстве трассой называют ось проектируемого линейного сооружения автомобильной дороги, трубопровода, канала и т.д. Для выполнения нивелирования трассу разбивают на отрезки, имеющие горизонтальное продолжения, равные 100 м. Начало и конец каждого отрезка закрепляют вбитыми до уровня поверхности земли деревянными кольями — пикетами, рядом с которыми забиваются колышки высотой 15 см, (сторожки) с указаниями № пикета. Пикеты обычно являются связующими точками — по установленным на них рейкам берут отсчеты с обеих смежных станций (точек установки нивелира).

Необходимые для построения профиля точки характерных изломов поверхности Земли между пикетами называются промежуточными или плюсовыми точками. По рейке, установленной на плюсовой точке берут отсчет только с одной станции.

Одновременно с разбивкой пикетажа трассы перпендикулярно ее оси разбивают поперечники. Характерные точки перегиба рельефа на поперечниках также закрепляют кольями. По установленным на них рейкам берут отсчеты, которые используют при построении профилей поперечников.

На участках поворота трассы прямые отрезки сопрягают кривыми. Для этого теодолитом ТТЗ0 полным приемом измеряют горизонтальные углы β между прямолинейными отрезками и вычисляют угол поворота Q по формуле

$$Q = 180^\circ - \beta. \quad (17)$$

В зависимости от технических требований выбирают радиусы вписываемых кривых.

Элементы кривой (К — кривая, Т — тангенс, Б — биссектриса (рис. 7), Д — домер) вычисляют по формулам:

$$T = R \operatorname{tg} Q/2, \quad (18)$$

$$K = \frac{\pi \cdot R \cdot Q}{180}, \quad (19)$$

$$B = R(\sec Q/2 - 1), \quad (20)$$

$$d = 2T - K. \quad (21)$$

При $Q = 17^\circ 48'$ и $R = 250$ м $T = 39,15$ м; $K = 77,67$ м; $d = 0,63$ и $B = 3,05$ м.

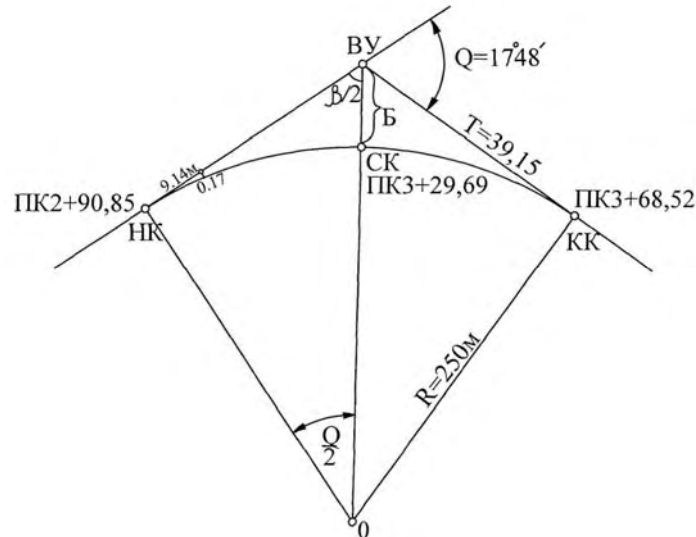


Рис. 6. Разбивка круговой кривой

По измеренному расстоянию до вершины угла поворота ВУ вычисляют пикетажные значения главных точек кривой: начала кривой НК, середины СК и конца кривой КК по формулам:

$$\text{ПК НК} + \text{ПК ВУ} - T \quad (22) \quad \text{Контроль.}$$

$$\text{ПК КК} = \text{ПК НК} + K \quad (23) \quad \text{ПК КК} = \text{ПК ВУ} + T - Д. \quad (25)$$

$$\text{ПК СК} + \text{ПК НК} + \frac{K}{2} \quad (24) \quad \text{ПК СК} = \text{ПК КК} - \frac{K}{2}. \quad (26)$$

Расхождение в пикетажных значениях конца и середины кривой основного и контрольного вычислений должно быть не больше 0,01 м. В приведенном примере ПК ВУ = ПК 3 + 30 м. Тогда

$$\text{ПК НК} = \text{ПК 3} + 30 \text{ м} - 39,15 \text{ м} = \text{ПК 2} + 90,85 \text{ м}.$$

$$\text{ПК КК} = \text{ПК 2} + 90,85 \text{ м} + 77,67 \text{ м} = \text{ПК 3} + 68,52 \text{ м}.$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК 2} + 90,85 \text{ м} + 38,84 \text{ м} = \text{ПК 3} + 29,69 \text{ м}.$$

Контроль.

$$\text{ПК КК} = \text{ПК 3} + 30 \text{ м} + 39,15 \text{ м} - 0,63 \text{ м} = \text{ПК 3} + 68,52 \text{ м}.$$

$$\text{ПК СК} = \text{ПК 3} + 68,52 \text{ м} - 38,83 \text{ м} = \text{ПК 3} + 29,69 \text{ м}.$$

Положение на трассе точек начала и конца кривой определяют отложением от вершины угла поворота в обе стороны расстояний равных значениям тангенсов, а середины кривой — величины биссектрисы по линии, делящей угол β пополам.

Если положение пикета оказывается на кривой (в приведенном примере ПК3 находится между НК и СК), для определения его местоположения (выноса пикета на кривую) вычисляют расстояние до него от начала кривой:

$$l = \text{ПК3} - \text{ПК2} + 90,85 = (300 \text{ м} - 290,85 \text{ м}) = 9,15 \text{ м}.$$

По величине этого расстояния вычисляют центральный угол φ по формуле

$$\varphi = \frac{l \cdot 180^\circ}{\pi R}. \quad (27)$$

Продольный профиль трассы

МГ 1:2000

МВ 1:200

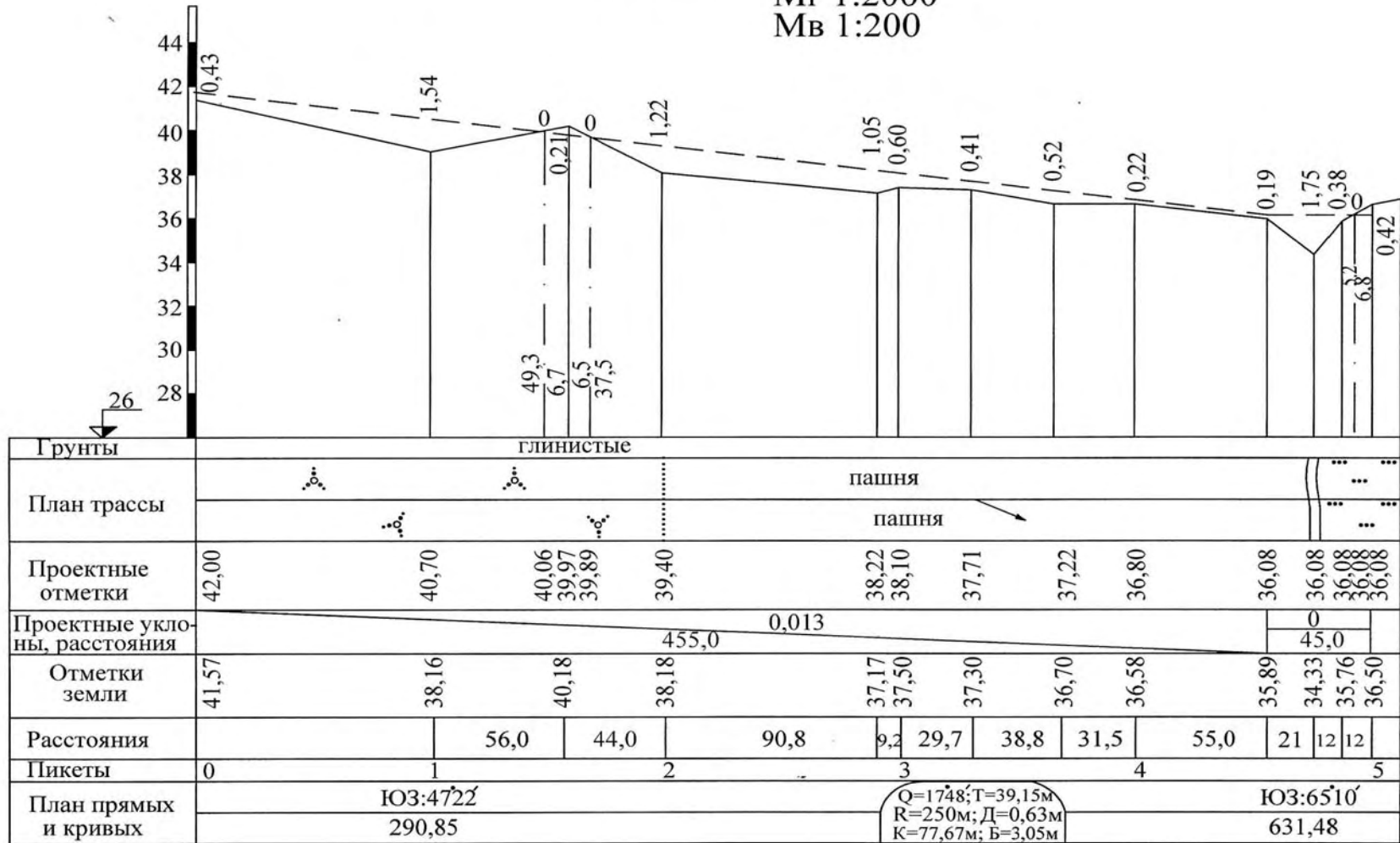


Рис. 7. Продольный профиль трассы

В приведенном примере $\varphi = \frac{9,15 \cdot 180^\circ}{3,14 \cdot 250} = 2^\circ 05',58 \approx 2^\circ 06'$.

Направление линии тангенса от начала кривой в сторону угла поворота принимают за ось X перпендикулярно ей направление за ось Y . Тогда

$$X = R \cdot \sin \varphi. \quad (28)$$

$$X = 250,00 \cdot \sin 2^\circ 06' = 9,16 \text{ м.}$$

$$Y = 2R \sin^2 \frac{\varphi}{2}. \quad (29)$$

$$Y = 2 \cdot 250 \cdot (\sin 1^\circ 03')^2 = 0,17 \text{ м.}$$

Положение пикетной точки на кривой определяют ее построением методом перпендикуляров.

Для ориентирования трассы определяют магнитные азимуты направлений прямых вставок.

По окончании разбивки трассы выполняют геометрическое нивелирование ее связующих и плюсовых точек и точек поперечников.

Контроль нивелирования на станции состоит в том, что расхождение между значениями превышений, вычисленными по черным и красным сторонам реек, не должно превышать 5мм; в противном случае наблюдения повторяют. При наличии промежуточных точек на станции сначала производят нивелирование связующих точек (с контролем), затем задний реечник последовательно устанавливает рейку на плюсовых точках и поперечниках, при этом отсчеты берут только по черной стороне рейки и записывают в графу «промежуточные точки» журнала нивелирования (табл. 4).

3.2. Камеральные работы

3.2.1. Обработка журнала нивелирования трассы

Вычисление превышений между связующими точками. Связующие точки нивелируются способом «из середины», поэтому превышение между ними вычисляют по формуле

$$h = a - b. \quad (30)$$

**ЖУРНАЛ
технического нивелирования трассы**

№ станций	№ реперов и пикетов	Отсчеты по рейкам, мм			Пре-выше-ния $h_{ч,к}$, мм	Средние превышения $h_{ср}$	Гори-зонт прибора ГП, м	Отмет-ки H , м
		Задние a	Перед-ние b	Проме-жуточ-ные c				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Рп 52	1284 6072						42,197
	ПК0		1912 6697		-0628 -0625	+3 -0626 -0,623		41,574
2	ПК0	0382 5167			-2420			41,574
	ПК1		1316 6102		-2423	+3 -2422 -2,419		39,155
3	ПК1	1352 6140			-0983	+3	40.507 40.509	39.155
	+56 +90,85(НК)		2335	0325 1838		-0982	40.511	40,184 38,671
	ПК2		7122		-0982	-0,979		38.176
4	ПК2 +90,85(НК)	0835 5620		1838	-1595		39,011 39.012	38.176 37,174
	ПК3 +29,69(СК) +68,52(КК)			1515 1710 1794		+4 -1596	39.014	37.497 37,302 37,218
	ПК4		2430 7217		-1597	-1,592		36.584
5	ПК4	0335 5124			-0486			36.584
	+55 +76 +88			1035 2588 1162			36.919 36,921	35.886 34.333 35.759
	ПК5		0421 5210		-0086	+4 -0086 -0082	36.923	36.502

Постраничный

контроль:

$$\sum a \ 32311 \quad \sum b \ 43736:$$

$$\sum h_{ч,к} -11425 \quad \sum h_{ср} - 5712:$$

$$\frac{32311 - 43736}{2} = -5712,5; \quad \frac{-11425}{2} = -5712,5.$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	ПК5	2058			1035			36,502
	+44	6845		1192			38.560	37,370
	ПК6			1430		+4	38.562	37,132
7	ПК7		1023		1033	1034		37,540
			5812			1038	38.563	
	ПК7	2335				+4		37,540
8	ПК8	7120			0762	0760		
			1573		0758	+0,764		38,304
	ПК8	1935			1380			38,304
9	ПК9	6720		0743		+4	40,239	39,497
						1379	40,240	
	ПК10		0555		1378	+1,383	40,242	
10	ПК10	1492			1147			39,687
	X	6280		0345		+4		
				5135	1145	1146		40,837
10	X	2832			2370			40,837
		7617				+4		
	Рп132		0462		2368	2369		
			5249			+2,373		43,210

Постраничный

контроль:

$$\sum a \ 45234 \ \sum b \ 31858:$$

$$\sum h_{ч,к} \ 13376 \ \sum h_{ср} \ 6688:$$

$$\frac{45234 - 31858}{2} = 6688; \quad \frac{13376}{2} = 6688.$$

Общая сумма измеренных превышений $\sum h_{ср} = 0976$ мм.

Разность отметок реперов $\sum h_{т} = 43,210 \text{ м} - 42,197 \text{ м} = 1,013 \text{ м} = 1013$ мм.

Невязка нивелирного хода $f_h = \sum h_{ср} - \sum h_{т} = 976 \text{ мм} - 1013 \text{ мм} = -37$ мм.

Допустимая невязка хода $f_{h_{доп}} = \pm 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{L(\text{км})} = \pm 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{1,3} = \pm 57$ мм.

Постраничный контроль правильности вычисления превышений обычно выполняют в камеральных условиях по окончании нивелирования трассы. Для этого в журнале нивелирования (табл. 4) на каждой странице вычисляют общее суммарное превышение 3 раза. Сначала находят сумму средних превышений $\sum h_{ср}$ (колонка 7). В приведенном примере на первой странице журнала она получилась равной -5712 мм. После этого общее превышение вычисляют, разделив на 2 сначала сумму всех превышений по черным и красным сторонам реек (колонка 6):

$$\sum h_{ч,к} : 2 = -11425 : 2 = -5712,5 \text{ мм},$$

затем разницу всех отсчетов по задним и передним рейкам (колонки 3 и 4):

$$(\sum a - \sum b) : 2 = (32311 - 43736) : 2 = -5712,5 \text{ мм}.$$

Расхождение результатов, которое может получиться за счет округления средних превышений до целых миллиметров, не должно превышать 1 — 2 мм.

В приведенном примере полученные близкие значения (–5712,5 мм и –5712 мм, расхождение 0,5 мм) свидетельствуют об отсутствии арифметических ошибок в вычислении превышений.

Аналогично выполняют обработку данных на других страницах журнала. После их окончания, если расхождения суммарных превышений строения не превышают допуска, вычисляют общее превышение как алгебраическую сумму средних превышений всех страниц. В приведенном примере журнал состоит из двух страниц, общее суммарное превышение равно – 5712 мм + + 6688 мм = 976 мм.

Вычисление невязки нивелирного хода и внесение поправок в превышения. Невязку всего хода определяют вычитанием из суммы измеренных средних превышений общего теоретического превышения, за которое принимают разность отметок конечного и начального реперов (43,210 м – 42,297 м = = 1,013 м = 1013 мм). Получили значение невязки 976 мм – 1013 мм = –37 мм. Вычислили допустимую невязку по формуле

$$f_{h\text{доп}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{L(\text{км})}, \quad (31)$$

где L — длина хода, км.

В приведенном примере ход состоит из 10 пикетов по 100 м плюс расстояния от репера № 142 до пикета 0, от пикета 10 до иксовой точки и от нее до репера № 132, каждое равное примерно 100 м. Итого 1300 м = 1,3 км.

Допустимая невязка равна $f_{h\text{доп}} = \pm 50 \text{ мм} \sqrt{1,3} = \pm 57 \text{ мм}$.

Поскольку получившаяся невязка (–37 мм) по абсолютной величине не превышает допустимую, результаты нивелирования трассы считаем удовлетворительными и в каждое из вычисленных превышений вводим поправки, полученные делением невязки, взятой с обратным знаком, на количество станций (37мм : 10 ≈ 3,7 мм). Их значения вписываем над превышениями в целых миллиметрах (на часть 4, на часть 3мм) так, чтобы сумма поправок по абсолютной величине была равна невязке. Записываем, выделяя курсивом или другим способом, исправленные (уравненные) превышения, выраженные в метрах. На станции № 1 уравненное превышение равно –626 мм + 3 мм = = –623 мм = –0,623 м; на станции № 2 оно составляет 2422 мм + 3 мм = = –2419 мм = –2,419 м и т.д.

Вычисление отметок точек трассы. Отметки связующих точек вычисляют, прибавив к отметке предыдущей точки величину уравненного превышения:

$$H_n = H_{n-1} + h_{\text{испр}}; \quad (32)$$
$$H_{\text{пк}0} = H_{\text{рп}\text{№}142} + h_1 = 42,197 \text{ м} + (-0,623 \text{ м}) = 41,574 \text{ м};$$

$$H_{\text{ПК1}} = H_{\text{ПК0}} + h_2 = 41,574 \text{ м} + (-2,419 \text{ м}) = 39,155 \text{ м и т.д.}$$

Контролем вычислений является отметка конечной точки нивелирного хода — репера № 132 (43,210 м). Расхождений быть не должно.

Отметки всех промежуточных точек и точек поперечников определяют через горизонт прибора ГП. Горизонт прибора — это высота визирного луча над уровенной поверхностью. Его вычисляют, прибавив к отметке точки отсчет по черной стороне установленной на ней рейки.

$$\text{ГП} = H_{\text{задн}} + a = H_{\text{пер}} + b, \quad (33)$$

где $H_{\text{задн}}$ — отметка задней точки; a — отсчет по рейке на задней точке, м; $H_{\text{пер}}$ — отметка передней точки; b — отсчет по рейке на передней точке, м.

Пример. На станции 5 горизонт прибора, вычисленный по значению отметки ПК4, равен

$$\text{ГП}_1 = 36,984 \text{ м} + 0,335 \text{ м} = 37,319 \text{ м},$$

по величине отметки ПК5 равен

$$\text{ГП}_2 = 36,502 \text{ м} + 0,821 \text{ м} = 37,323 \text{ м}.$$

Полученные значения различаются на 4 мм (менее 5 мм), тогда

$$\text{ГП}_{\text{ср}} = (\text{ГП}_1 + \text{ГП}_2)/2 = 37,321 \text{ м}.$$

Отметки промежуточных точек (плюсовых, главных точек круговой кривой, точек поперечников) вычисляют вычитанием из горизонта прибора отсчетов по рейке, устанавливаемой на этих точках:

$$H_{c_i} = \text{ГП} - c_i, \quad (34)$$

где c_i — отсчет по рейке на промежуточную точку.

$$H_{\text{ПК4+58}} = 36,921 \text{ м} - 1,035 \text{ м} = 35,886 \text{ м},$$

$$H_{\text{ПК4+76}} = 36,921 \text{ м} - 2,588 \text{ м} = 34,333 \text{ м},$$

$$H_{\text{ПК4+88}} = 36,921 \text{ м} - 1,162 \text{ м} = 35,759 \text{ м и т.д.}$$

На станциях, где отсчеты на плюсовые точки не брали, необходимость вычисления горизонта прибора отпадает.

3.2.2. Построение продольного профиля трассы

После вычисления отметок всех пронивелированных точек приступают к построению на миллиметровой бумаге продольного профиля трассы и профилей поперечников. Масштаб высот принимают в 10 раз крупнее масштаба горизонтальных расстояний, благодаря чему профиль приобретает большую наглядность.

Всю цифровую информацию о профиле приводят в профильной сетке, состоящей из ряда горизонтальных граф (рис. 7). Верхнюю линию профильной сетки целесообразно совместить с одной из утолщенных линий миллиметровой бумаги, а нижняя должна отстоять от нижнего края листа на 4—5 см.

В графе «расстояния» в принятом горизонтальном масштабе откладывают и вписывают расстояния между пикетными и плюсовыми точками. В масштабе 1:2000 одному метру на местности соответствует 0,5 мм, расстоянию между пикетами, равному 100 м, будет соответствовать 50 мм, расстоянию 56 м до плюсовой точки — 28 мм, 90,85 м до начала кривой $\approx 45,5$ мм и т.д. Числовое значение целого пикетного расстояния не пишется.

В графе «пикеты» пишут номера пикетов, в графу «план прямых и кривых» записывают их параметры, вычерчивают закругления и прямые вставки. Если трасса дороги повернула влево, то выпуклость кривой направляют вниз, вправо — вверх. Внутри кривой вписывают значения ее элементов К, Т, Д, Б). Вычисляют и пишут над линией прямой вставки ее направление (румб), под ней — горизонтальное проложение. По заданному преподавателем направлению исходной прямой и углам поворота определяют и пишут направления других прямых вставок по формулам:

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n + Q_{\text{пр}}, \quad (35)$$

или

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - Q_{\text{л}}, \quad (36)$$

где $Q_{\text{пр}}$ — величина угла поворота направо, $Q_{\text{л}}$ — величина угла поворота налево.

В графу «отметки земли» вписывают вычисленные их величины с округлением их до сотых долей метра.

Верхнюю линию профильной сетки принимают за линию условного горизонта. Ее оцифровывают целым числом метров исходя из условия, чтобы точка профиля, имеющая самую малую отметку, находилась выше этой линии на 3—4 см. От верхней линии сетки профиля откладывают отрезки, соответствующие в вертикальном масштабе значениям отметок точек над линией условного горизонта. Верхние точки отрезков соединяют прямыми линиями и получают профиль трассы.

В графе «План трассы» вычерчивают условными знаками ситуацию местности.

3.2.3. Построение проектной линии

На профиле проектируют различные виды сооружений линейного типа: автомобильные дороги, трубопроводы, и т.д. Принципы их построения отличаются незначительно. Разберем упрощенный порядок выполнения работы на примере автомобильной дороги. К проектной линии дороги, как и любого другого линейного сооружения, предъявляется ряд требований. Основные из них:

- а) общий объем земляных работ должен быть минимальным;
- б) объем насыпи должен приблизительно равняться объему выемки;

в) между участками, имеющими уклоны разного знака должна проектироваться горизонтальная площадка;

д) места изменения уклонов проектной линии должны быть на пикетах или плюсовых точках;

е) величины уклонов не должны превышать допустимых значений для данной категории дороги.

Работу начинают с заполнения графы «проектные уклоны и расстояния». В местах планируемого изменения уклона проектной линии, проводят вертикальные штрихи. Между штрихами по диагоналям получившихся прямоугольников проводят наклонные линии, идущие при положительном уклоне вверх и при отрицательном вниз. Под отрезком линии каждого уклона записывают расстояние d между крайними его точками.

Вычисляют уклоны проектной линии по формуле

$$i = \frac{H_{\text{к}} - H_{\text{н}}}{d}, \quad (37)$$

где $H_{\text{к}}$ — отметка конечной точки отрезка проектной линии; $H_{\text{н}}$ — отметка начальной точки отрезка проектной линии; d — горизонтальное расстояние между концами отрезка.

Проектную отметку начальной точки трассы принимают равной отметке существующей дороги в месте отхода от нее проектируемой (задает преподаватель, в приведенном примере 42,00 м). Отметки других точек проектной линии определяют исходя из условий местности.

Пример. Точка ПК 4+76 м находится на дне оврага (рис.7). Для пропуска под полотном будущей дороги талых и ливневых вод в овраге должна быть уложена труба, над которой сделана насыпь. Общая высота сооружения 1,6 м, следовательно, проектная отметка этой точки $H^{\text{пр}} = 34,333 \text{ м} + 1,600 \text{ м} = 35,933 \text{ м} \approx 35,93 \text{ м}$.

По обе стороны от точки проектируем горизонтальную площадку (от ПК4 + 55 м до ПК5). Проектные отметки всех ее точек в т.ч. и ПК4+55 равны 35,93 м, проектная отметка начала трассы 42,00 м. Вычисляем уклон проектной линии на участке ПК0 – ПК4+55м.

$$i = \frac{35,93 \text{ м} - 42,00 \text{ м}}{455 \text{ м}} = -0,0133.$$

Округленный до тысячных долей уклон (–0,013) записываем в графе «Проектные уклоны и расстояния» над наклонной линией.

Вычисляем проектные отметки пикетов и плюсовых точек трассы участка ПК0 — ПК4+55 по формуле

$$H_n^{\text{пр}} = H_{n-1}^{\text{пр}} + i \cdot d. \quad (38)$$

Пример. $H_{\text{ПК1}}^{\text{пр}} = 42,00 + (-0,013) \cdot 100 = 40,70 \text{ м}.$

$$H_{\text{ПК1+56}}^{\text{пр}} = 42,00 + (-0,013) \cdot 156 = 39,97 \text{ м}.$$

$$H_{\text{ПК}2}^{\text{пр}} = 42,00 + (-0,013) \cdot 200 = 39,40 \text{ м.}$$

$$H_{\text{ПК}4+55}^{\text{пр}} = 42,00 + (-0,013) \cdot 455 = 36,08 \text{ м.}$$

Уточненные проектные отметки равные, 36,08, будут и у остальных точек горизонтальной площадки (ПК4 + 76, ПК4 + 88, ПК5). Их пишут красным цветом над этими точками в графе «проектные отметки».

По значениям вычисленных проектных отметок точки наносят на профиль и, соединив их, получают проектную линию.

Для всех пикетов и плюсовых точек вычисляют рабочие отметки по формуле

$$h_p = H^{\text{пр}} - H^{\text{факт.}} \quad (39)$$

Рабочая отметка, имеющая знак «+» пишется над проектной линией, «-» — под линией. Знаки у рабочих отметок не ставят.

Пример: $h_{\text{пк}0} = 42,0 - 41,57 = +0,43,$
 $h_{\text{пк}1} = 40,70 - 39,16 = +1,54,$
 $h_{\text{пк}1+56} = 39,97 - 40,18 = -0,21.$

Места пересечения проектной линии и линии местности являются точками *нулевых работ*. На профиле они находятся между точками, имеющие рабочие отметки с разными знаками. Расстояние от ближайших фиксированных точек (пикетов или плюсовых) до точек нулевых работ вычисляют по формулам:

$$X = \frac{h_{p_1} \cdot d}{h_{p_1} + |h_{p_2}|}, \quad (40)$$

$$Y = \frac{|h_{p_2}| \cdot d}{h_{p_1} + |h_{p_2}|}, \quad (41)$$

где d — расстояние между точками с рабочими отметками разного знака.

Контроль.

$$X + Y = d. \quad (42)$$

Пример. h_{p_1} (на ПК1) = +1,54 м; h_{p_2} (на ПК1 +56) = -0,2 м, $d = 56$ м (рис. 8).

$$X = \frac{1,54 \cdot 56}{1,54 + 0,21} = 49,3 \text{ м,}$$

$$Y = \frac{0,21 \cdot 56}{1,54 + 0,21} = 6,7 \text{ м,}$$

$$X + Y = 49,3 \text{ м} + 6,7 \text{ м} = 56,0 \text{ м} = d.$$

Отметки точек нулевых работ вычисляют по формуле:

$$H_{o(n)} = H_{n-1} + i \cdot X. \quad (43)$$

Пример: $H_{0(\text{ПК}1+49,3)} = 40,70 + (-0,013) \cdot 49,3 = 40,06$ м.

Для контроля вычисляют отметку последующей точки ПК1+56 по формуле

$$H_{n+1} = H_n + i \cdot Y. \quad (44)$$

$$H_{(\text{ПК}1+56)} = 40,06 + (-0,013) \cdot 6,7 = 39,97 \text{ м.}$$

Построение проектной линии следующей части трассы выполняют аналогично. При этом для обеспечения примерного баланса земляных работ проектную отметку конечной точки третьего участка определяют исходя из условия достижения на всем профиле равенства площадей насыпи и выемки (площадей между фактической и проектной линиями трассы выше и ниже проектной линии). В приведенном примере проектная отметка ПК 10 должна быть близка к 39,10 м.

3.2.4. Нивелирование и построение профилей поперечников

Съемку поперечников выполняют для правильного подсчета объемов земляных работ. Длину поперечника определяют исходя из обеспечения возможности размещения на нем земляного полотна дороги со всеми его элементами. При нивелировании берут отсчеты по черной стороне рейки, которую устанавливают сначала на пикетной точке затем точках поперечников.

Результаты полевых измерений вписывают в колонки 1—5 журнала нивелирования поперечников (табл. 5).

Таблица 5

Журнал нивелирования поперечников

№№ пикетов	Расстояние от пикета		Отсчеты по рейке, мм		Горизонт прибора ГП	Отметки точек H , м
	вправо	влево	пикет a	точки поперечника C_i		
4	8		1426	1795	38,010	36,584
				2705		36,215
	12	6		2035		35,305
				14		0212
				37,798		
7	6		1735	1956	39,275	37,540
				1235		37,319
	12	07		2430		38,040
				12		1592

Обработка журнала нивелирования поперечников:

- а) из журнала нивелирования выписывают отметки пикетов;
- б) для каждой станции вычисляют горизонт прибора (ГП) прибавив к отметке пикета величину отсчета по установленной на нем рейке:

$$\text{ГП} = H_{\text{ПК}} + a; \quad (45)$$

в) вычисляют отметки каждой точки поперечника вычитанием из значения горизонта прибора отсчет по рейке:

$$H_{c_i} = \text{ГП} - c_i. \quad (46)$$

Пример: $H_{\text{ПК}4} = 36,584 \text{ м}$ $\text{ГП} = 36,584 \text{ м} + 1,426 \text{ м} = 38,010 \text{ м}$,
 $H_{\text{право}8\text{м}} = 38,010 \text{ м} - 1,795 \text{ м} = 36,215 \text{ м}$, $H_{\text{право}12\text{м}} = 38,010 \text{ м} - 2,705 \text{ м} = 36,305 \text{ м}$,
 $H_{\text{лево}6\text{м}} = 38,010 \text{ м} - 2,035 \text{ м} = 35,975 \text{ м}$, $H_{\text{лево}12\text{м}} = 38,010 \text{ м} - 0,212 \text{ м} = 37,798 \text{ м}$.

Построение профиля поперечника.

У профиля поперечника горизонтальный и вертикальный масштабы принимаются одинаковыми, равными 1:200. Его сетка содержит такие же графы, как и сетка продольного профиля трассы за исключением граф «план трассы» и «план прямых и кривых» (рис. 8).

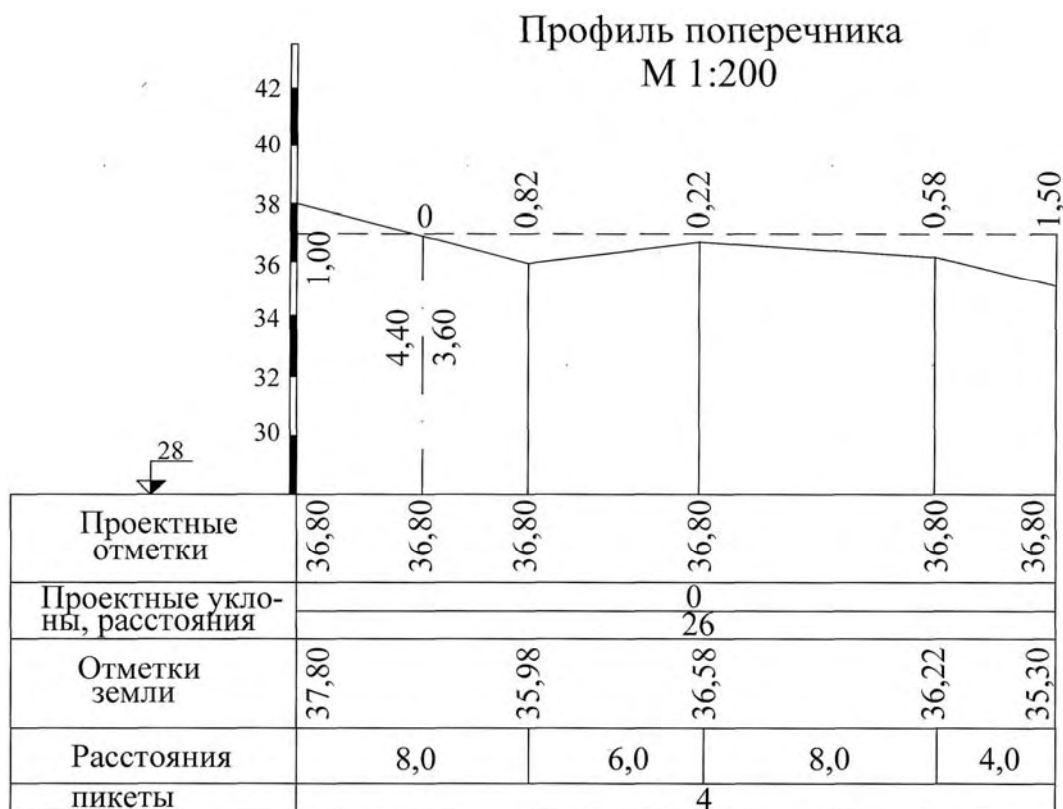


Рис. 8. Профиль поперечника

Построение профиля начинают с заполнения графы «расстояния». Отступив слева от «шапки» расстояние, соответствующее длине отрезка от трассы до максимально удаленной левой точки поперечника, ставят штрих. От этого штриха влево или вправо откладывают в масштабе указанные в журнале расстояния от оси дороги до боковых точек, выписывают их значения и строят линию профиля поперечника по методике, изложенной в пункте «Построение профиля трассы».

В графе «проектные уклоны и расстояния» записывают заданные преподавателем уклоны, и проводят горизонтальную (при уклоне равном 0) или наклонные линии.

Для построения проектной линии в графу «проектные отметки» вписывают взятое с профиля трассы значение проектной отметки пикета. Принимая точку пикета за исходную, вычисляют проектные отметки точек поперечников, строят проектную линию, вычисляют рабочие отметки, расстояния до точек нулевых работ и их отметки по методике изложенной выше для продольного профиля трассы.

3.2.5. Оформление профиля

Вычерченные на миллиметровой бумаге карандашом профили обводят тушью. Названия граф «пикеты», «расстояния», «отметки земли», «план трассы», «грунты», числовые значения в них и условные знаки, а также линии поверхности земли наносят черным цветом. Названия и содержание граф «проектные отметки», «проектные уклоны и расстояния», «план прямых и кривых», проектные линии на профиле и рабочие отметки обводят красным цветом.

Все значения, определяющие положение точек нулевых работ, вертикальные линии от них до условного горизонта, расстояния до ближайших фиксированных точек профиля, рабочие отметки (0) обводят синим цветом. В середине графы «план трассы» вычерчивают красным цветом прямую линию с указанием стрелками направлений поворотов будущего линейного сооружения.

4. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НИВЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ

4.1. Полевые работы и обработка журнала площадного нивелирования

Нивелирование поверхности по квадратам производят на открытой местности со слабо выраженным рельефом. На участке с помощью теодолита и мерной ленты или рулетки разбивают сеть квадратов, которые могут иметь размеры 10 м × 10 м, 20 м × 20 м, 50 м × 50 м и более. Вершины квадратов закрепляют колышками вровень с землей, а рядом устанавливают сторожки с указанием номера угла квадрата.

Для непосредственного выполнения нивелирования примерно в середине участка устанавливают нивелир, приводят в рабочее положение и берут отсчеты по черной стороне рейки, которую ставят сначала на государственном или строительном репере (закрепленной точке с известной отметкой), затем на всех забитых до уровня земли колышках в вершинах квадратов, заканчивая исходной точкой (репером). Расхождения в отсчетах по рейке, установленной на репере, в начале и конце нивелирования не должны превышать 4—5 мм. Отсчеты записывают в журнал нивелирования поверхности по квадратам (табл. 6).

Отметки вершин квадратов вычисляют через горизонт прибора ГП по формуле (45).

$$\text{Пример: ГП} = 43,210 + \frac{1,289 + 1,293}{2} = 44,501 \text{ м.}$$

$$\text{ГП} = H_{\text{р.п}} + a,$$

где $H_{\text{р.п}}$ – высота репера, a – среднее из отсчетов, взятых по установленной на репере рейке.

Таблица 6

Журнал нивелирования поверхности по квадратам

№ станции	№ реперов и промежуточных точек	Отсчеты по рейкам, мм		Горизонт прибора ГП, м	Отметки точек H , м
		на репер (a)	на угловые точки квадратов (c)		
1	2	3	4	5	6
	Рп 132	1289			43,210
	A1		2624		41,877
	A2		2726		41,775
	A3		2585		41,916
	A4		2124		42,377
	A5		2260		42,241
	B5		1794		42,707
	B4		1807		42,694
	B3		1921		42,580
	B2		2298		42,203
	B1		2261		42,240
	C1		2020		42,481
1	C2		1906	44,501	42,585
	C3		1607		42,894
	C4		1315		43,186
	C5		0614		43,887
	D4		1365		43,136
	D5		1626		42,875
	D3		2107		42,394
	D2		2188		42,313
	D1		1964		42,537
	E1		1687		42,814
	E2		2038		42,463

	Е3		2592		41,909
	Е4		1807		42,694
	Е5		1554		42,947
	Рп132	1293			

Отметки вершин квадратов вычисляют как промежуточные точки по формуле $H_c = ГП - c$. Например, $H_{C_1} = 44,501 \text{ м} - 2,020 \text{ м} = 42,481 \text{ м}$.

4.2. Построение плана нивелирования по квадратам

Для построения плана участка на листе ватмана А4 в масштабе 1:1000 вычерчивают аналогичную построенной на местности сетку квадратов, выписывают округленные до 0,01 м отметки точек углов квадратов и выполняют интерполирование горизонталей с помощью палетки (графический способ) или по результатам вычислений (аналитический способ), а при достаточном опыте — глазомерно.

Палетка — это лист прозрачной бумаги с начерченными через равные расстояния, например 0,5 см, параллельными линиями, оцифрованными значениями кратными заданной высоте сечения рельефа. Например, при $h_{\text{сеч}} = 0,5 \text{ м}$ они могут быть 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м и т. д., при $h_{\text{сеч}} = 1 \text{ м}$ — 0; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 м и т. д.

Пример. При высоте сечения рельефа, равной 1 м, для определения положения точек горизонталей с отметками 13, 14, 15 м на отрезок AB плана накладывают палетку таким образом, чтобы точка A , имеющая высоту $H = 12,4 \text{ м}$ расположилась между линиями палетки с отметками 12 и 13 на расстоянии 0,4 их промежутка от линии 12 (рис. 9). В точке A палетку прикалывают к плану иглой и поворачивают вокруг нее до совмещения точки B с точкой палетки, соответствующей отметке 15,8 м (между отметками 15 и 16 на расстоянии 0,8 промежутка от линии 15). В этом положении палетку закрепляют, делают иглой наколы в точках пересечения линии AB с параллельными линиями палетки. Так, на плане находят положение точек с отметками 13, 14 и 15 м.

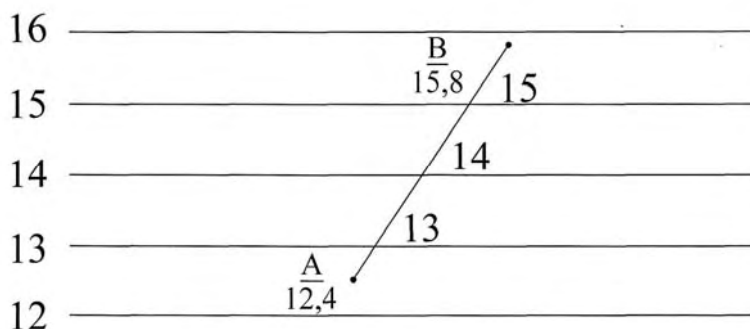


Рис. 9. Интерполирование горизонталей с помощью палетки

Аналогичные действия выполняют на всех сторонах квадратов и диагоналях, с указанными на абрисе стрелками направлениями скатов.

При *аналитическом способе* положение горизонталей определяют по результатам вычислений превышений между точками плана и горизонталями. Расстояние от точек до горизонталей и между горизонталями вычисляют по формуле

$$l_i = \frac{h_i \cdot l}{h}, \quad (47)$$

где h — превышение между точками, l — расстояние между точками на плане, h_i — превышение между точкой плана и горизонталью или между горизонталями.

Пример. Дано задание провести между точками A и B , имеющими соответственно отметки 15,44 м и 15,92 м (рис. 10), горизонтали через 0,25 м. Расстояние между точками на плане $l = 37$ мм. Поскольку отметки горизонталей кратны высоте сечения рельефа, они могут принимать значения 15,00 м; 15,25 м; 15,50 м; 15,75 м; 16,00 м и т.д. Между точками с отметками 15,44 и 15,92 м будут находиться горизонтали 15,50 и 15,75 м. Превышения между точкой A и горизонталью 15,50 м равно $h_1 = 15,50 \text{ м} - 15,44 \text{ м} = 0,06 \text{ м}$; между горизонталями $h_2 = 15,75 \text{ м} - 15,50 \text{ м} = 0,25 \text{ м}$; между горизонталью 15,75 м и точкой B $h_3 = 15,92 \text{ м} - 15,75 \text{ м} = 0,17 \text{ м}$; общее превышение между точками A и B равняется $15,92 \text{ м} - 15,44 \text{ м} = 0,48 \text{ м}$.

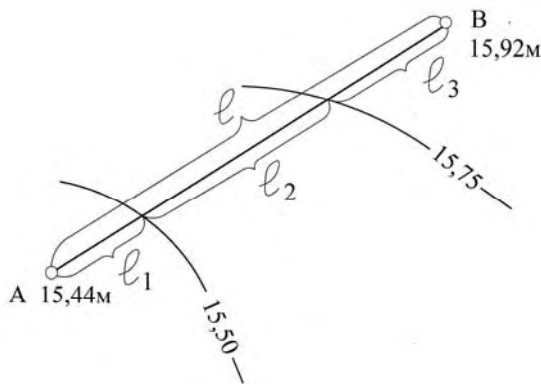


Рис. 10. Измерения на плане для интерполирования горизонталей аналитическим способом

Расстояния будут составлять:

$$l_1 = \frac{h_1 \cdot l}{h} = \frac{0,06 \text{ м} \cdot 37 \text{ мм}}{0,48 \text{ м}} = 4,6 \text{ мм},$$

$$l_2 = \frac{h_2 \cdot l}{h} = \frac{0,25 \text{ м} \cdot 37 \text{ мм}}{0,48 \text{ м}} = 19,3 \text{ мм},$$

$$l_3 = \frac{h_3 \cdot l}{h} = \frac{0,17 \text{ м} \cdot 37 \text{ мм}}{0,48 \text{ м}} = 13,1 \text{ мм},$$

$$l = l_1 + l_2 + l_3 = 4,6 \text{ мм} + 19,3 \text{ мм} + 13,1 \text{ мм} = 37 \text{ мм} \quad (\text{контроль}).$$

При *интерполировании на глаз* исходят из того, что расстояния между точками и горизонталями пропорциональны вычисленным в уме превышениям. В приведенном примере если принять превышения 0,06 м за единицу, то превышение 0,25 м будет составлять примерно 4 единицы, 0,17 м — 3 единицы (всего 8 единиц). При мысленном разделении расстояния между точками *A* и *B* на восемь частей, расстояние от точки *A* до точки горизонтали с отметкой 15,50 м должно составлять одну часть, между горизонталями — четыре части, от точки горизонтали с отметкой 15,75 м до точки *B* — три части.

Для рисовки горизонталей, отмеченные на плане точки с одинаковыми отметками, соединяют плавными кривыми линиями. При этом следует учитывать, что горизонтали не могут пересекаться между собой, а отметки соседних горизонталей должны отличаться на высоту сечения рельефа или могут быть одинаковыми при расположении горизонталей по разные стороны вершины холма, хребта или дна лощины.

В разрывах линий горизонталей вписывают их отметки, низ цифр должен быть обращен в сторону понижения линии ската. Для облегчения чтения рельефа в местах значительного изгиба горизонталей, перпендикулярно к ним проводят бергштрихи длиной около 1 мм, указывающие направление ската. Горизонталю, их отметки и бергштрихи наносят коричневой тушью, границы участка и все надписи — черной. На рис. 11 представлен план, составленный по результатам нивелирования по квадратам (см. табл. 6).

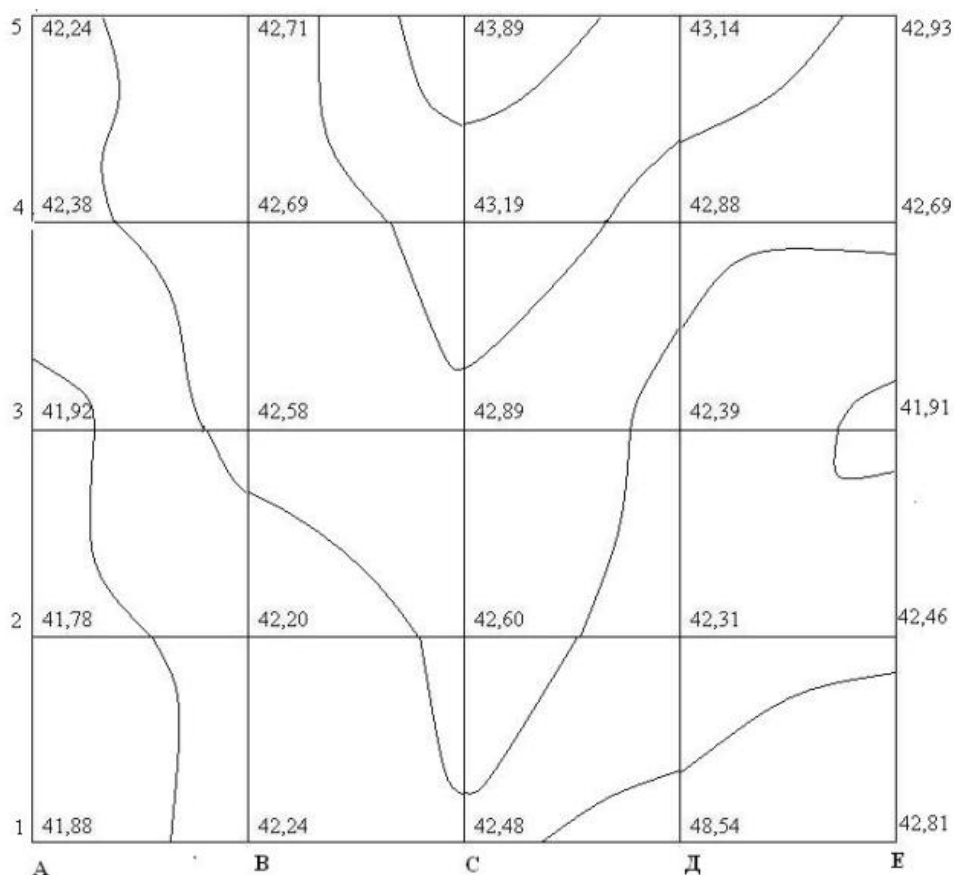


Рис. 11. План нивелирования по квадратам (сплошные горизонтали проведены через 0,5 м)

4.3. Составление проекта горизонтальной площадки

Для проектирования горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ вычисляют среднюю отметку участка, являющуюся проектной, по формуле

$$H_{\text{сп пр}} = \frac{\sum H_1 + 2\sum H_2 + 3\sum H_3 + 4\sum H_4}{4n}, \quad (48)$$

где $\sum H_1$ — сумма отметок точек, являющихся вершинами, только одного квадрата; $\sum H_2$, $\sum H_3$, $\sum H_4$ — сумма отметок вершин, общих для соответственно двух, трех, четырех квадратов; n — число квадратов.

В приведенном примере на рис. 12 вершин общих для трех квадратов нет, значение $3\sum H_3$ отсутствует, поэтому

$$H_{\text{сп пр}} = \frac{169,88 \text{ м} + 2 \cdot 510,14 \text{ м} + 4 \cdot 383,73 \text{ м}}{4 \cdot 12} \approx 42,58 \text{ м}.$$

Затем вычисляют рабочие отметки вершин квадратов

$$h^p_i = H^{\text{пр}} - H^{\text{ф}}_i, \quad (49)$$

где $H^{\text{пр}}$ — величина средней (проектной) отметки площадки; $H^{\text{ф}}_i$ — фактическая отметка конкретной вершины квадрата.

При знаке «+» рабочая отметка является высотой насыпи, при знаке «-» — глубиной выемки.

Квадраты, в которых рабочие отметки вершин имеют одинаковые знаки, называются однородными, разные – смешанными. Через смешанные квадраты проходят линии нулевых работ, разделяющие участки насыпи и выемки.

Пример. На запроектированной горизонтальной площадке рабочая отметка точки $E3$ (рис. 12) будет равна

$$h^r_{E3} = 42,58 - 41,91 = + 0,67 \text{ м}.$$

Расстояние до точки нулевых работ между вершинами квадрата с рабочими отметками разного знака определяют по формуле

$$l_1 = \frac{|h^r_1|}{|h^r_1| + |h^r_2|} d, \quad (50)$$

где l_1 — расстояние до точки нулевых работ, находящейся от вершины квадрата с рабочей отметкой h^r_1 ; h^r_2 — рабочая отметка другой вершины квадрата; d — длина стороны квадрата.

Для контроля вычисляют расстояние от точки нулевых работ до вершины квадрата с рабочей отметкой h^r_2

$$l_2^r = \frac{|h_2^r|}{|h_1^r| + |h_2^r|} \cdot d. \quad (51)$$

Контроль: $l_1 + l_2 = d$.

Пример. Длина стороны каждого квадрата участка 50,0 м, расстояние от вершины квадрата А5 до точки нулевых работ равно

$$l_1 = \frac{0,34 \cdot 50,0}{0,34 + 0,13} = 36,2 \text{ м.}$$

От точки нулевых работ до вершины В5 оно составляет

$$l_2 = \frac{0,13 \cdot 50,0}{0,34 + 0,13} = 13,8 \text{ м.}$$

Контроль: $d = l_1 + l_2 = 36,2 + 13,8 = 50,0 \text{ м.}$

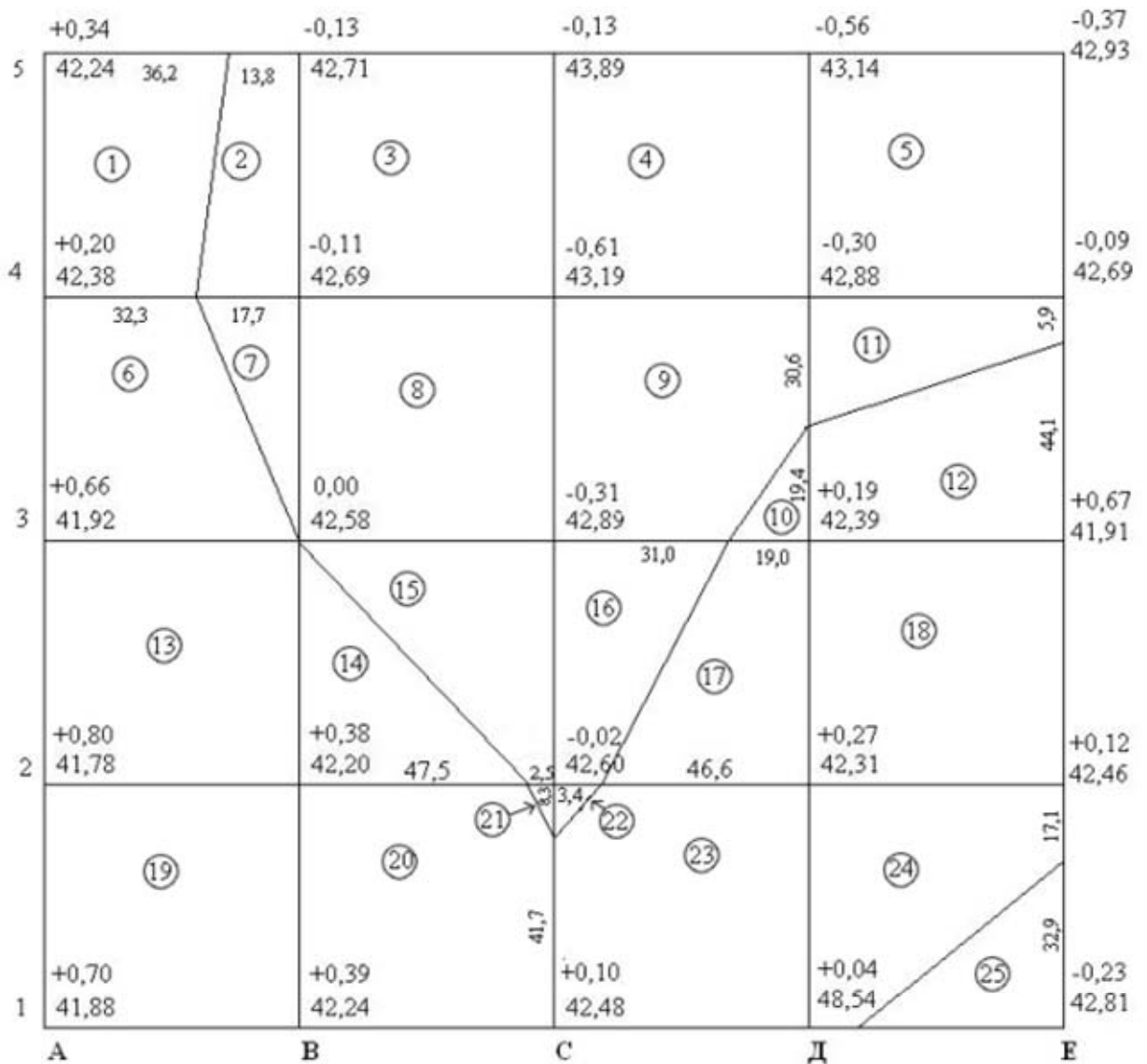


Рис. 12. Картограмма земляных работ

Используя полученные результаты расчетов, на плане вычерчивают картограмму земляных работ, на которой наносят линию нулевых работ (синей тушью), выписывают фактические отметки земли (черной тушью), проектные и рабочие отметки (красной тушью), расстояния до точек нулевых работ синей тушью и проводят оцифровку фигур с рабочими отметками одного знака.

Объем земляных работ в каждой фигуре равен произведению ее площади (S) на среднюю рабочую отметку ($h_{\text{ср}}$), которую вычисляют делением суммы рабочих отметок всех точек на их количество, включая и точки нулевых работ.

$$h_{\text{ср}} = \frac{\sum h_i}{n}. \quad (52)$$

$$V = S \cdot h_{\text{ср}}. \quad (53)$$

Если все четыре вершины квадрата имеют рабочие отметки одного знака (в однородном квадрате), то объем земляных работ вычисляют по формуле

$$V = d^2 \frac{h^r_1 + h^r_2 + h^r_3 + h^r_4}{4}, \quad (54)$$

где d — длина стороны квадрата; h^r_1 ; h^r_2 ; h^r_3 ; h^r_4 — рабочие отметки вершин квадрата.

Например, объем земляных работ в угловом северо-восточном квадрате № 5 будет составлять:

$$V = 2500 \frac{(-0,56) + (-0,37) + (-0,30) + (-0,09)}{4} = 2500 \cdot (-0,33) = -825,0 \text{ м}^3.$$

Знак определяет вид земляных работ: «-» — выемка, «+» — насыпь.

Смешанные квадраты с рабочими отметками, имеющими разные знаки, для подсчета объемов земляных работ разделяют по линии нулевых работ на фигуры с проектируемой насыпью (рабочая отметка положительна) и выемкой (отрицательна). Фигуры могут иметь форму трапеций, прямоугольников, треугольников или пятиугольников.

Если фигура имеет форму трапеции, то ее площадь равна произведению полусуммы оснований на высоту, средняя рабочая отметка — частному от деления суммы рабочих отметок на 4. Величины оснований трапеций равны соответствующим расстояниям до точек нулевых работ, высоты — сторонам квадрата.

Пример. Площадь фигуры 1 составляет

$$S_1 = \frac{36,2 + 32,3}{2} \cdot 50 = 1712,5 \text{ м}^2,$$

средняя рабочая отметка равна

$$h_{1\text{ср}} = \frac{0,34 + 0,20 + 0 + 0}{4} = 0,135 \text{ м},$$

объем земляных масс составляет

$$V_1 = S_1 \cdot h_{1\text{ср}} = 1712,5 \text{ м}^2 \cdot 0,135 = 231,2 \text{ м}^3 \text{ (насыпь)}.$$

Площадь прямоугольника равна произведению основания на высоту, т.е. длины стороны квадрата на соответствующие расстояния до точек нулевых работ. Остальные расчеты аналогичны.

Площадь фигуры 10 (прямоугольного треугольника) равна половине произведения катетов, т.е. соответствующих расстояний до точек нулевых работ

$$S_{10} = \frac{19,0 \cdot 19,4}{2} = 184,3 \text{ м}^2;$$

средняя рабочая отметка получается равной

$$h_{10\text{ср}} = \frac{0,19 + 0 + 0}{3} = 0,063 \text{ м.}$$

Объем земляных масс составляет

$$V_{10} = 184,3 \text{ м}^2 \cdot 0,063 \text{ м} = 11,7 \text{ м}^3 \text{ (насыпь).}$$

Фигура 9 является пятиугольником. Для вычисления объема земляных масс ее нужно или разделить на треугольники и выполнить вычисления для каждого из них по вышеизложенной методике, или сделать упрощенные расчеты:

$$S_9 = S_{\text{квадрата}} - S_{10(\text{треугольника})} = 2500 \text{ м}^2 - 184,3 \text{ м}^2 = 2315,7 \text{ м}^2;$$

$$h_{9\text{ср}} = \frac{-0,31 + (-0,61) + (-0,30) + 0 + 0}{4} = -0,305 \text{ м};$$

$$V_9 = 2315,7 \text{ м}^2 \cdot (-0,305 \text{ м}) = -706,3 \text{ м}^3 \text{ (выемка).}$$

Для контроля подсчитывают сумму площадей всех фигур, которая должна быть равна площади всего участка ($200 \text{ м} \times 200 \text{ м} = 40\,000 \text{ м}^2$). В приведенном примере площадь насыпи 22644 м^2 , выемки 17356 м^2 , общая площадь 40000 м^2 .

Суммы объемов земляных работ насыпи и выемки должны быть приблизительно равны.

Точность определения общего объема земляных работ вычисляют по формуле

$$f_V = \frac{|\sum V_H - \sum V_B|}{\sum V_H + \sum V_B} \cdot 100\%, \quad (55)$$

где $\sum V_H$ – сумма объемов насыпи всех фигур, $\sum V_B$ – сумма объемов выемки всех фигур.

В приведенном примере

$$f_v = \frac{|5641,8 - 5649,1|}{5641,8 + 5649,1} \cdot 100\% \approx 0,1\%.$$

Все данные заносят в ведомость вычисления объемов земляных работ (табл. 7).

Примечание. В графе «объем земляных работ» у числовых значений выемки знак «-» не ставится.

Графическим документом проекта вертикальной планировки является картограмма земляных работ, составленная на основе топографического плана участка (рис. 12).

Таблица 7

Ведомость вычисления объемов земляных работ

Насыпь				Выемка			
№ фигуры	Площадь фигуры S, м ²	Средняя рабочая отметка h, м	Объем земляных работ V, м ³	№ фигуры	Площадь фигуры S, м ²	Средняя рабочая отметка h, м	Объем земляных работ V, м ³
1	1712,5	0,135	231,2	2	787,5	-0,060	47,2
6	2057,5	0,215	442,4	3	2500,0	-0,540	1350,0
10	184,3	0,063	11,7	4	2500,0	-0,695	1737,5
12	1587,5	-0,215	341,3	5	2500,0	-0,330	825,0
13	2500	0,460	1150,0	7	442,5	-0,037	16,4
14	1187,5	0,127	150,8	8	2500,0	0,258	645,0
17	1640	0,115	188,6	9	2315,7	-0,305	706,3
18	2500,0	0,312	780,0	11	912,5	-0,098	89,4
19	2500,0	0,555	1387,5	15	13125,5	-0,082	107,6
20	2489,6	0,205	510,4	16	860,0	0,082	70,5
23	2485,9	0,102	253,6	21	10,4	-0,007	0,1
24	1799,2	0,108	194,3	22	14,1	-0,007	0,1
				25	700,8	-0,077	54,0
	Σ22644		Σ5641,8		Σ17356		Σ5649,1

$$f_V = \frac{|\sum V_H - \sum V_B|}{\sum V_H + \sum V_B} \cdot 100\% = \frac{|5641,8 - 5649,1|}{5641,8 + 5649,1} \cdot 100\% = 0,1\%.$$

5. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

5.1. Общие сведения

Тахеометрическая съемка, выполняемая одновременно плановая и высотная съемка, по материалам которой составляют топографический план местности с изображением на нем и ситуации, и рельефа. При проведении полевых работ, все необходимые данные для определения пространственного положения каждой снимаемой точки определяются в результате одного наведения зрительной трубы теодолита-тахеометра на установленные на точке рейку или отражатель.

Съемку характерных точек ситуации выполняют с пунктов съемочного обоснования — тахеометрического хода. При наличии теодолитного хода его

точки также могут быть использованы в качестве плановой основы съемочного обоснования.

Для определения отметок точек тахеометрического хода вычисляют углы наклона между ними и превышения. На каждой станции работу выполняют с контролем — вычислением места нуля. Место нуля — это отсчет по вертикальному кругу теодолита при горизонтальном положении визирной оси зрительной трубы. Для каждого прибора оно должно быть постоянным. Расхождение в его величине при определении разных углов не должно превышать двойной точности прибора (для 2ТЗ0 — 1'). Вертикальные углы определяют дважды — в прямом и обратном направлениях. Различаясь по знаку, они должны иметь равное численное значение (расхождение также не более 1'). Место нуля МО определяют по формуле

$$МО = \frac{КЛ + КП}{2}. \quad (56)$$

Для вычисления угла наклона обычно используют формулу

$$v = КЛ - МО. \quad (57)$$

Если на местности наклонное расстояние D определено с помощью нитяного дальномера, то горизонтальное проложение вычисляют по формуле

$$d = D \cdot \cos^2 v, \quad (58)$$

где D — наклонное расстояние, измеренное нитяным дальномером.

При наклонном расстоянии L , измеренном мерной лентой

$$d = L \cos v. \quad (59)$$

При углах наклона меньше 2° вычисления упрощаются:

$$d \approx D. \quad (60)$$

Превышение определяют методом тригонометрического нивелирования.

Сначала вычисляют табличное превышение

$$h' = dtg v', \quad (61)$$

затем истинное превышение между точками

$$h = h' + ВП - l = d \cdot tg v + ВП - l, \quad (62)$$

где ВП — высота прибора (от поверхности торца забитого в землю кола до оси вращения зрительной трубы теодолита); l — расстояние от пятки рейки до деления, на которое навели горизонтальную линию сетки нитей.

При наведении визирной оси трубы на деление рейки, равное высоте прибора ВП, формула вычисления превышения упрощается, принимая вид

$$h = dtg v. \quad (63)$$

Превышения между точками тахеометрического хода вычисляют так же, как расстояния и углы наклона — дважды в прямом и обратном направлениях. Расхождения в превышениях не должны превышать 0,04 м на каждые 100 м длины отрезка линии.

5.2. Обработка журнала тахеометрического хода

Результаты измерений, необходимых для определения горизонтальных расстояний и превышений съемочного обоснования тахеометрической съемки, заносят в специальный журнал (табл. 8).

Суммарное превышение замкнутого тахеометрического хода должно быть равно нулю. Фактическая его величина является невязкой хода. Допустимую невязку вычисляют по формуле

$$f_{h\text{ доп}} = \pm \frac{0,04 \text{ м} \cdot P_{(100)}}{\sqrt{n}}, \quad (64)$$

где $P_{(100)}$ — периметр хода, в сотнях метров; n — число сторон хода.

Если получившаяся невязка не превышает допуска, то вычисляют уравненные превышения, вводя в вычисленные превышения поправки, рассчитанные по формуле

$$\delta_h = \frac{-f_h}{P} \cdot d_i, \quad (65)$$

где f_h — фактическая невязка хода; P — периметр хода; d_i — горизонтальное проложение стороны хода.

Сумма поправок должна быть равна величине невязки, взятой с обратным знаком, их численные значения — пропорциональны длинам сторон.

Затем вычисляют высоты всех станций хода, прибавляя ее к отметке предыдущей станции и соответствующее уравненное превышение. Отметку исходной станции (точки № 1) задает преподаватель.

Пример. Установили теодолит на станции III, измерили высоту прибора ВП (1,56 м), навели перекрестие сетки нитей на отсчет 1560 черной стороны рейки, установленной на станции II, взяли отсчеты по шкале вертикального круга (КЛ = +0°47', КП = -0°47') и вписали полученные данные в журнал тахеометрического хода (табл. 9). Вычислили место нуля

$$MO = \frac{0^\circ 47' + (-0^\circ 47')}{2} = 0^\circ 00' \text{ и угол наклона } v = 0^\circ 47' - 0^\circ 00' = 0^\circ 47'.$$

Определили дальномерное расстояние ($D = 187,5$ м). Поскольку угол наклона меньше 2°, горизонтальное проложение приняли равным 187,5 м и вычислили табличное превышение $h' = 187,5 \text{ м} \cdot \text{tg } 0^\circ 47' = 2,56$ м. Высота наведения равна высоте прибора, поэтому $h = h' = 2,56$ м.

При нахождении теодолита на станции IV и наведении зрительной трубы на рейку, установленную на станции III получили значения: КЛ = -0°45',

$$\text{КП} = +0^\circ 47', D = 187,5 \text{ м. Вычислили } MO = \frac{-0^\circ 45' + 0^\circ 47'}{2} = 0^\circ 01'. \text{ Расхождение}$$

1' (в пределах допуска). $v = -0^\circ 45' - 0^\circ 01' = -0^\circ 46'$, $d \approx D \approx 187,5$ м; $h' = 187,5 \cdot \text{tg}(-0^\circ 46') = -2,51$ м, $h = h' = -2,51$ м.

Расхождение в прямом и обратном направлении равно 0,05 м (2,56 м – 2,51 м) на 187,5 м линии. На 100 м линии он составляет $0,05 \text{ м} : 1,85 \approx 0,03 \text{ м}$ – не превышает допуска, равного 0,04 м.

Аналогичные вычисления выполнили и по данным, полученным при наведении зрительной трубы со станции I на рейку, установленную на станции II, и со станции II на рейку на станции I, со станции II на рейку станции III, со станции III на рейку на станции II и т.д. Получили расхождения в расстояниях не превышающие 1/400, т.е. в пределах допуска, превышения по абсолютной величине также не превысило допустимое составляющее 0,04 м на 100 м линии.

Результаты также вписали в журнал тахеометрической съемки (табл. 8), а затем перенесли в ведомость уравнивания превышений (табл. 9). Для каждой стороны хода вычислили среднее превышение и записывали в ведомость, поставив знак прямого. Нашли сумму средних превышений (0,11 м), которая не превысила допустимой невязки хода ($\pm 0,14 \text{ м}$) и внесли в каждое превышение поправку, распределив невязку, взятую с обратным знаком, пропорционально длинам линий. Получили уравненные превышения h . Для стороны хода 1 — 2 $h = -2,12 - (0,04) = -2,16$; для стороны 2—3 $h = 6,04 - 0,02 = 6,02$ и т.д.).

Таблица 9

ВЕДОМОСТЬ
уравнивания превышений и вычисления высот точек тахеометрического хода

№ точек	Сторона хода	Горизонтальное проложение, м	Превышения, м					Отметки точек, м
			Прямые	Обратные	Средние	Поправка	Уравненные	
1	1—2	250,75	-2,11	+2,12	-2,12	-0,04	-2,16	41,88
2	2—3	155,0	+6,06	-6,01	+6,04	-0,02	+6,02	39,72
3	3—4	187,5	+2,56	-2,51	+2,54	-0,03	+2,51	45,74
4	4—1	128,7	-6,37	+6,33	-6,35	-0,02	-6,37	48,25
1					+0,11			41,88

$$f_{\text{доп}} = \pm \frac{0,04 \cdot P}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,04 \cdot 7,2}{\sqrt{4}} = \pm 0,14 \text{ м}.$$

Вычислили отметки станции II ($41,88 + (-2,16) = 39,72$), станции III $39,72 + 6,02 = 45,74$ и т.д. Контроль — отметка станции I (41,88).

5.3. Заполнение и обработка журнала тахеометрической съемки

При тахеометрической съемке плановое положение точек местности определяют с точек съемочного обоснования методом полярных координат, а высотное — производством тригонометрического нивелирования.

На точке тахеометрического хода (станции) устанавливают теодолит, центрируют, приводят в рабочее положение, измеряют высоту прибора и ориентируют нулевое деление лимба по направлению одной из соседних точек съемочного обоснования. В журнале тахеометрической съемки (см. табл. 8) фиксируют направление ориентирования лимба, положение вертикального круга (обычно КЛ) и высоту прибора.

В процессе съемки в характерных точках местности устанавливают рейку, берут по ней дальномерные отсчеты, отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита, внося данные в соответствующие графы журнала тахеометрической съемки (табл. 8). В графе «высота визирования» записывают высоту наведения визирного луча, в графе «примечание» — положение точки на местности, например, урез воды, дорога и т.д., или пишут слово «рельеф», когда целью съемки было только определение ее высоты. Работу выполняют без контроля. Одновременно ведут абрис, на котором ориентировочно показывают положение речных (пикетных) точек, линии равномерных скатов между ними (стрелками, направленными в сторону понижения рельефа), контуры ситуации местности.

Обработку журнала начинают с вычисления углов наклона между станцией и пикетными точками по формуле (57). Полученные данные записывают в графу «углы наклона». Вычисляют горизонтальные проложения измеренных сторон (по формулам 58, 59), вписывая их в графу с аналогичным названием. Следующей стадией является вычисление табличных h' и истинных h превышений по формулам (61, 62, 63), которые записывают соответственно в графы «истинное превышение» и «превышение».

Завершают обработку журнала вычислением отметок всех речных точек по формуле:

$$H_{р.т.} = H_{ст.} + h, \quad (66)$$

где $H_{ст.}$ — взятая из ведомости уравнивания превышений и (табл. 9) высота станции, с которой выполнялась съемка местности.

5.4. Построение плана тахеометрической съемки

Используя данные измерений горизонтальных и вертикальных углов и сторон тахеометрического хода вычисляют координаты его точек и выполняют построение съемочного обоснования, как было изложено в п. 2.2.3 «построение плана теодолитной съемки».

По значениям полярных углов и полярных расстояний, взятых соответственно из граф «отсчеты по горизонтальному кругу» и «горизонтальное расстояние» журнала тахеометрической съемки, наносят на план речные точки. Работу выполняют таким образом: центр геодезического транспортира совмещают на плане с точкой (станцией), с которой выполнялась съемка, а его нулевое деление с ее исходным направлением, при котором отсчет по горизонтальному кругу был $0^{\circ}00'$; отмечают на плане направления соответствующие полярным углам; по полученным направлениям от точки тахеометрического хода откладывают в масштабе плана полярные расстояния до речных точек; справа от нанесенных точек подписывают их высоты (с точностью $0,01$ м), выше численных значений высот — номера точек.

Примечание. При отсутствии круговых транспортиров для построения полярных углов, имеющих величины более 180° , с исходным направлением совмещают деление « 180° » полукругового транспортира и полярные углы откладывают по значениям, полученным в результате вычитания из величины полярного угла 180° .

Применяя тахеограф, имеющий деления оцифровки против часовой стрелки, с исходным направлением совмещают не нулевое деление, а отсчет, равный значению полярного угла и по линейке тахеографа откладывают в масштабе плана величину горизонтального проложения.

Между речными точками с линиями равномерного ската (указаны на абрисе стрелками) определяют положение горизонталей. Интерполяцию выполняют одним из описанных п. 4.2. способов. Полученные точки с одинаковыми отметками соединяют плавными кривыми линиями.

На основании информации приведенной в графе «примечание» журнала тахеометрической съемки (табл. 8) в соответствии с абрисом характерные точки ситуации плана соединяют линиями, получая контуры объектов местности. Отдельные строения наносят с использованием результатов их обмера.

Для обеспечения возможности последующего контроля правильности построения плана, все речные точки с их номерами копируют с плана на прозрачную бумагу — кальку высот. При окончательном оформлении плана тушью номера речных точек на нем не проставляют.

План тахеометрической съемки оформляют в соответствии с установленными требованиями, аналогичными требованиям к построению плана теодолитной съемки. Горизонталы вычерчивают линиями коричневого цвета, толщиной $0,1$ мм. каждую пятую утолщают до $0,2$ — $0,3$ мм и подписывают, располагая основания цифр в сторону понижения скатов.

Библиографический список

1. Федотов Г.А. Инженерная геодезия. М. : Высшая школа, 2004. 463 с.
2. Инженерная геодезия / под ред. проф. Д.Ш. Михелева. М. : Высшая школа, 2001. 464 с.

3. *Анопин В.Н.* Курс лекций по инженерной геодезии. Волгоград: ВолгГАСУ, 2013. 67 с.
4. Условные знаки топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. М. : Недра, 1989. 286 с.
5. *Анопин В.Н.* Выполнение топографических съемок и инженерно – геодезических изысканий. Методические указания к учебной геодезической практике для студентов специальности ПГС. Волгоград, 2008. 34с.
6. *Стороженко А.Ф., Сабитова Т.А.* Топографическая съемка: Методические указания к вычислительным и графическим работам. Волгоград: ВолгГАСУ, 2012. 34 с.
7. *Латенко В.Д.* Обработка журнала нивелирования трассы, построение продольного и поперечного профиля. Методические указания к расчетно-графической работе. Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. 10 с.
8. *Анопин В.Н.* Методические указания для выполнения расчетно-графической работы «Составление проекта вертикальной планировки» / В.Н. Анопин, А.В. Клименко. Волгоград, 1988. 13 с.
9. Практикум по геодезии : учебное пособие для вузов / под ред. Г.Г. Поклада. М. : Акад. проект, Гаудемус, 2012. – 485 с.