

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

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ И ГРАФИКИ

*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
6-05-0831-01 Водные биоресурсы и аквакультура*

Горки
Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия
2025

УДК 528.4(075.8)

ББК 26.1я73

Д76

*Рекомендовано методической комиссией
факультета биотехнологии и аквакультуры
26.12.2023 (протокол № 4)
и Научно-методическим советом
Белорусской государственной сельскохозяйственной академии
27.12.2023 (протокол № 4)*

Автор:

кандидат технических наук, доцент *П. В. Другаков*

Рецензенты:

кандидат экономических наук, доцент *Д. А. Чиж*;
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *Е. В. Горбачёва*

Другаков, П. В.

Д76

Основы инженерной геодезии и графики : учебно-методическое пособие / П. В. Другаков. – Горки : Белорус. гос. с.-х. акад., 2025. – 114 с.

ISBN 978-985-882-630-7.

В данном издании изложены краткие теоретические сведения и представлен комплекс лабораторных работ по основам инженерной геодезии и графики. Приведены варианты заданий и образцы их выполнения.

Для студентов учреждений образования, обеспечивающих получение высшего образования по специальности 6-05-0831-01 Водные биоресурсы и аквакультура.

УДК 528.4(075.8)

ББК 26.1я73

ISBN 978-985-882-630-7

© Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Профессиональная деятельность специалиста в области водных биоресурсов и аквакультуры связана с организацией рыбоводного хозяйства в прудах и озерах, эксплуатацией сооружений на них, а также с решением инженерных задач на топографических планах и картах. Поэтому специалист по водным биоресурсам должен уметь использовать планово-картографический материал для проектирования прудов и сооружений, иметь практические навыки работы с основными геодезическими приборами, выполнять топографические съемки небольших участков, составлять топографические планы и профили с использованием методов графики.

В данном издании рассмотрены вопросы, связанные с проектированием и строительством объектов гидротехнического назначения и выполняемыми при этом геодезическими работами.

Прежде всего это связано со строительством линейных сооружений (дорог, мелиоративных каналов). Элементом дороги может служить дамба, возводимая при пересечении водотоков, в результате чего возникает водохранилище. Мелиоративные каналы сами являются водными объектами и могут использоваться при ведении рыбного хозяйства.

Уделено внимание и вертикальной планировке территории. Задачей вертикальной планировки является преобразование существующей поверхности для нужд обустройства сельских территорий и гидромелиорации. При этом такое преобразование выполняется как горизонтальными, так и наклонными оформляющими плоскостями. Полученные навыки по проектированию плоскостей могут быть использованы при выполнении работ по проектированию горизонтальных и наклонных площадок (для обеспечения стока вод), а также по проектированию засыпки и раскрытия замкнутых понижений и общей планировки поверхности сельскохозяйственных угодий. Используемый при вертикальной планировке математический аппарат может применяться непосредственно при выравнивании дна создаваемого водохранилища и вычислении его объема.

Лабораторная работа 1.

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ПЛАНЫ, КАРТЫ. РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ ПО ТОПОГРАФИЧЕСКОМУ ПЛАНУ

Цель работы – изучить содержание и номенклатуру топографических планов и карт, основные формы рельефа, приобрести практические навыки пользования поперечным масштабом, условными знаками, определения прямоугольных координат точек, высот горизонталей, высот точек, уклонов линий, измерений на карте дирекционных углов, вычислений румбов направлений.

1.1. Изучение масштабов

Масштабом плана называют отношение длины линии на плане $S_{пл}$ к горизонтальному проложению соответствующей линии на местности $S_{м}$:

$$\frac{1}{M} = \frac{S_{пл}}{S_{м}}, \quad (1.1)$$

где M – знаменатель масштаба.

Масштабы могут быть выражены численно или представлены графически.

Численный масштаб можно записать в виде дроби или в виде отношения. Например, численный масштаб $\frac{1}{2\,000}$ или 1:2 000 показыва-

ет, что все горизонтальные проложения при переносе их на план уменьшены в 2000 раз, т. е. отрезок в 1 см на плане соответствует расстоянию 20 м на местности.

Применительно к топографическим картам различают масштабы крупные (1:1 000; 1:2 000; 1:5 000; 1:10 000) и мелкие (1:25 000; 1:50 000; 1:100 000 и т. д.). Чем меньше знаменатель численного масштаба, тем крупнее масштаб.

Зная горизонтальное проложение линии на местности и масштаб плана, можно вычислить длину этой линии на плане, и наоборот. Из формулы (1.1) следует:

$$S_{пл} = \frac{S_{м}}{M} \quad (1.2)$$

или

$$S_M = S_{пл} \cdot M. \quad (1.3)$$

Задача 1. Горизонтальное проложение линии на местности равно 126,85 м. Вычислить длину этой линии на плане масштаба 1:2 000.

Согласно формуле (1.2)

$$S_{пл} = \frac{12\,685\text{ см}}{2\,000} = 6,4\text{ см}.$$

Для самостоятельного решения значения S_M и M по вариантам приведены в табл. 1.1.

Таблица 1.1. Исходные данные к задаче 1

Показатель	Вариант														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S_M	118,42	125,82	57,28	74,25	92,41	421,18	842,12	95,64	270,09	675,48	321,39	240,10	367,52	457,10	645,41
M	2 000	1 000	500	500	2 000	10 000	50 000	500	2 000	25 000	10 000	2 000	10 000	2 000	25 000

Окончание табл. 1.1

Показатель	Вариант														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S_M	318,42	225,82	57,28	174,25	92,41	421,18	842,12	195,64	170,09	975,48	221,39	140,10	467,52	157,10	345,41
M	5 000	1 000	1 000	500	500	10 000	25 000	1 000	2 000	50 000	10 000	2 000	10 000	2 000	25 000

Задача 2. Длина отрезка на плане масштаба 1:5 000 равна 2,18 см. Вычислить горизонтальное проложение этой линии на местности.

Согласно формуле (1.3)

$$S_M = 1,18\text{ см} \cdot 5\,000 = 1\,090\,000\text{ см} = 1\,090\text{ м}.$$

Для самостоятельного решения значения $S_{пл}$ и M приведены по вариантам в табл. 1.2.

Таблица 1.2. Исходные данные к задаче 2

Показатель	Вариант														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$S_{пл}, см$	8,46	9,17	1,98	5,08	9,12	10,94	6,28	4,49	9,25	9,12	21,05	1,93	2,46	4,98	2,48
M	10 000	2 000	5 000	500	25 000	50 000	5 000	10 000	1 000	10 000	5 000	5 000	2 000	1 000	10 000

Окончание табл. 1.2

Показатель	Вариант														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$S_{пл}, см$	4,46	3,17	5,98	4,08	6,12	7,94	8,28	9,49	8,25	7,12	12,05	6,93	2,46	5,98	4,48
M	2 000	5 000	500	25 000	50 000	5 000	10 000	1 000	10 000	5 000	5 000	10 000	1 000	10 000	5 000

Графические масштабы бывают линейные и поперечные. При пользовании линейным масштабом часто приходится доли наименьшего деления оценивать на глаз, поэтому невысокая точность этого масштаба ограничивает его применение. При нормальном зрении невооруженным глазом можно различать на бумаге расстояния, равные 0,1 мм. Поэтому пределом графической точности построения и измерения отрезков на бумаге считается 0,1 мм. Такую точность дает поперечный масштаб, которым обычно пользуются при составлении планов (рис. 1.1).

На поперечном масштабе большие деления отрезка AB , называемые основаниями, составляют 2 см. Верхние и нижние малые деления соединены наклонными линиями – трансверсалиями. Отрезок ab на первой горизонтальной линии между вертикалью и ближайшей трансверсалью равен 0,2 мм и называется наименьшим делением. Отрезок $a'b'$ на второй горизонтальной линии равен двум наименьшим делениям, на третьей – трем наименьшим делениям и т. д. Половина наименьшего деления равна 0,1 мм.

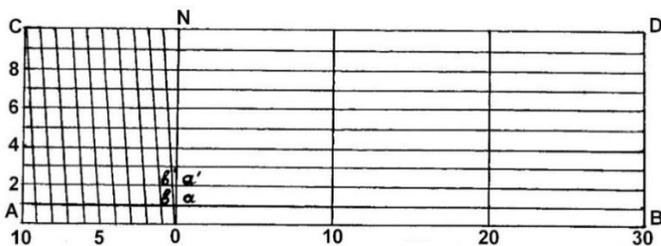


Рис. 1.1. Поперечный масштаб

Горизонтальное проложение линии местности, соответствующее 0,1 мм на плане, называется точностью данного масштаба.

Точность масштаба имеет значение при установлении подробностей местности, подлежащих съемке, для построения плана в данном масштабе.

Прежде чем пользоваться поперечным масштабом, следует рассчитать его основные элементы применительно к заданному численному масштабу, т. е. определить, скольким метрам на местности соответствует основание поперечного масштаба, малое деление и какова точность данного масштаба.

Задача 3. Отложить в масштабе 1:5 000 расстояние 284,67 м. В этом случае 1 см на плане соответствует 50 м на местности. Основание поперечного масштаба соответствует 100 м, малое деление – 10 м, наименьшее – 1 м, а точность масштаба равна 0,5 м. Следовательно, при откладывании расстояний в масштабе 1:5 000 все размеры можно округлять до 0,5 м. Берем измерителем два основания (200 м), затем левую иглу отставляем влево на 8 малых делений (80 м) и перемещаем измеритель вверх на $4\frac{1}{2}$ деления (4,5 м), при этом левая игла должна перемещаться по трансверсали, а правая – по вертикали и обе иглы измерителя должны оказаться на одном уровне.

Задача 4. Отложить в масштабе 1:2 000 расстояние 96,87 м. Рассчитываем элементы масштаба. Так как в этом случае 1 см на плане соответствует 20 м на местности, то основание соответствует 40 м, малое деление – 4 м, наименьшее – 0,4 м. Следовательно, поднимаясь на одно деление вверх, будем увеличивать длину отрезка линии на 0,4 м. Точность масштаба равна 0,2 м, т. е. при откладывании расстояний в этом масштабе все размеры можно округлять до четных десятых. Берем циркулем два основания ($40 \text{ м} \cdot 2 = 80 \text{ м}$), остается 16,8 м. Ото-

двигаем левую иглу на 4 малых деления ($4 \text{ м} \cdot 4 = 16 \text{ м}$), остается $0,8 \text{ м}$. Перемещаем обе иглы вверх на 2 деления ($0,4 \text{ м} \cdot 2 = 0,8 \text{ м}$). Для самостоятельного решения значения S_M и M приведены по вариантам в табл. 1.3.

Таблица 1.3. Исходные данные к задаче 3 и 4

Показатель	Вариант														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
S_M , м	125,41	127,80	58,69	98,31	430,18	380,26	360,11	457,10	100,40	645,11	86,95	67,59	157,84	684,10	845,50
M	2 000	1 000	500	2 000	10 000	5 000	1 000	2 000	500	25 000	2 000	1 000	5 000	25 000	50 000

Окончание табл. 1.3

Показатель	Вариант														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
S_M , м	125,41	47,80	158,69	298,31	130,18	80,26	160,11	57,10	610,40	145,11	104,95	267,59	157,84	684,10	445,50
M	1 000	500	2 000	10 000	5 000	1 000	2 000	500	25 000	2 000	1 000	5 000	2 000	50 000	25 000

Проекция наклонной линии D на горизонтальную плоскость называется горизонтальным проложением S_M линии местности (рис. 1.2).

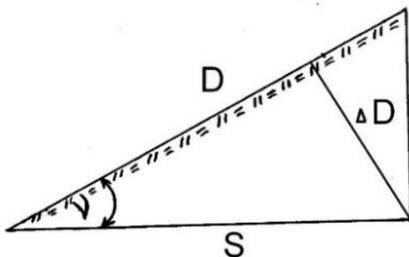


Рис. 1.2. Определение горизонтального проложения линии

Горизонтальное проложение линии вычисляем по следующим формулам:

$$S_m = D \cdot \cos v, \quad (1.4)$$

или

$$S_m = D - \Delta D, \quad (1.5)$$

где D – наклонная линия местности;

v – угол наклона линии местности к горизонту;

$$\Delta D = 2D \sin^2 v / 2. \quad (1.6)$$

Задача 5. Вычислить горизонтальное проложение линии местности S_m . Значения D и v по вариантам приведены в табл. 1.4.

Таблица 1.4. Исходные данные к задаче 5

Показатель	Вариант														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
D , м	125,15	210,28	152,40	312,06	215,18	628,12	185,16	194,13	586,12	167,32	529,11	291,13	111,12	394,15	591,48
v	2° 10'	3° 15'	2° 30'	3° 00'	4° 12'	4° 10'	6° 12'	2° 14'	3° 18'	5° 18'	2° 18'	3° 14'	2° 12'	3° 17'	6° 10'

Окончание табл. 1.4

Показатель	Вариант														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
D , м	125,15	110,28	252,40	212,06	315,18	428,12	585,16	694,13	186,12	267,32	329,11	491,13	511,12	194,15	291,48
v	4° 10'	3° 15'	3° 30'	4° 00'	4° 12'	5° 10'	1° 12'	2° 14'	2° 18'	5° 18'	4° 18'	5° 14'	6° 12'	4° 17'	3° 10'

1.2. Изучение номенклатуры топографических карт

Границами листов топографических карт с востока и запада служат меридианы, а с севера и юга – параллели. Они образуют рамки листов карт, имеющих форму равносторонних трапеций. Деление листа карты одного масштаба на листы карты более крупного масштаба называют

разграфкой. Для удобства пользования многolistными картами введена система обозначения (нумерация) отдельных листов, называемая **номенклатурой карт и планов.**

В основу номенклатуры карт положена международная разграфка листов карты масштаба 1:1 000 000, которые ограничены меридианами и параллелями и имеют размеры по широте 4° (ряды), а по долготe – 6° (колонны). Ряды обозначаются заглавными буквами латинского алфавита от *A* до *V* к северу и югу от экватора, а колонны нумеруются арабскими цифрами от 1 до 60 (рис. 1.3). Номера колонн считаются от меридиана с долготой 180° с запада на восток. Номера колонн и шестиградусных зон координат Гаусса – Крюгера отличаются на 30. Например, лист карты масштаба 1:1 000 000, на котором находится г. Минск, расположенный в 5-й зоне, имеет номенклатуру *N-37*.

Разграфка более крупных масштабов топографических карт и планов указана в табл. 1.5.

Таблица 1.5. Сводные данные о номенклатуре карт и планов

Масштабы	Количество листов в 1 планшете	Размеры рамок		Размеры строк километровой сетки	Номенклатура листов
		по широте	по долготe		
1 листу карты масштаба 1:1 000 000 соответствует					
1:1 000 000	1	4°	6°	–	<i>N-37</i>
1:500 000	4	2°	3°	–	<i>N-37-Б</i>
1:200 000	36	$40'$	1°	5 см	<i>N-37-XXXVI</i>
1:100 000	144	$20'$	$30'$	2 см	<i>N-37-144</i>
1 листу карты масштаба 1:100 000 соответствует					
1:50 000	4	$10'$	$15'$	2 см	<i>N-37-144-Б</i>
1:25 000	16	$5'$	$7'30''$	4 см	<i>N-37-144-Б-г</i>
1:10 000	64	$2'30''$	$3'45''$	10 см	<i>N-37-144-Б-г-4</i>
1:5 000	256	$1,5''$	$1'52,5''$	10 см	<i>N-37-144-(256)</i>
1:2 000	2304	$25''$	$37,5''$	–	<i>N-37-144-(256-и)</i>

Разграфка установлена с соблюдением следующих условий:

- границами карт служат меридианы и параллели;
- размеры листов карты должны быть удобными для издания и практического пользования;
- лист карты масштаба 1:1 000 000 должен делиться на целое число карт более крупного масштаба;

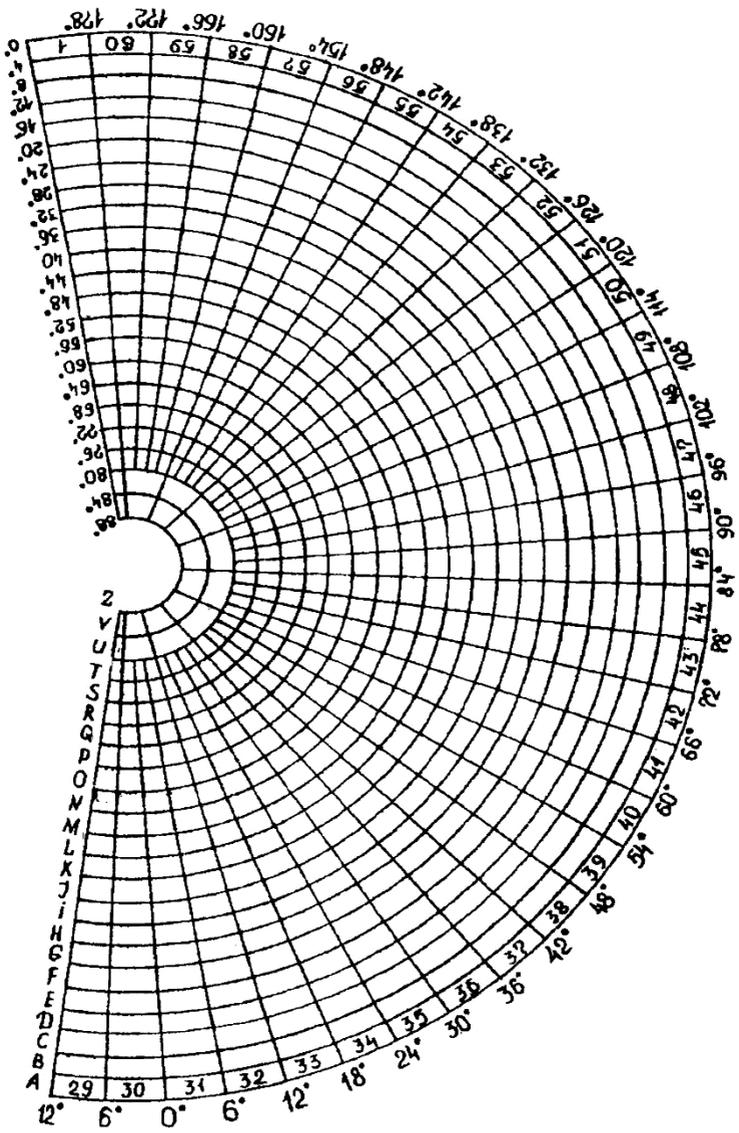


Рис. 1.3. Схема разграфки земной поверхности меридианами и параллелями

- номенклатура листов карт включает номенклатуру карты масштаба 1:1 000 000, а для карт масштаба 1:50 000 и крупнее – номенклатуру листа карты 1:100 000.

Пример формирования номенклатуры листа топографической карты масштаба 1:10 000 приведен на рис. 1.4, 1.5.

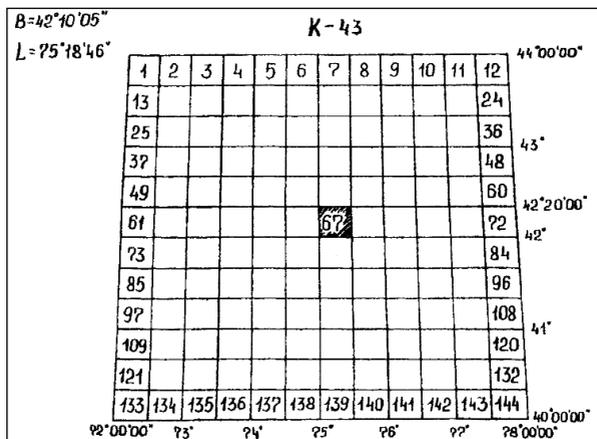


Рис. 1.4. Разграфка трапеции масштаба 1:1 000 000

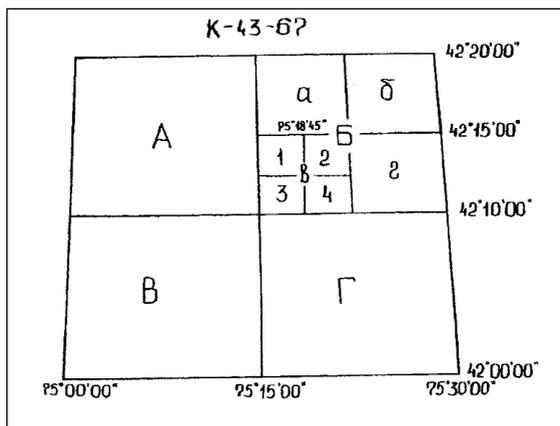


Рис. 1.5. Разграфка трапеции масштаба 1:100 000

Задача 6. Определить номенклатуру листов карт масштаба 1:10 000, смежных к листу согласно варианту (табл. 1.6), результат представить в виде схемы (рис. 1.6).

Таблица 1.6. Исходные данные к задаче 6

№	лист	№	лист	№	лист
1	N-35-121-A-B-б-3-	11	N-37-61-B-в-б-2	21	N-37-96-Б А-а-4
2	N-35-120-Б-Б-в-2	12	N-37-60-Г-в-а-4	22	N-37-85-Б-А-б-3
3	N-35-109-B-B-г-1	13	N-37-49-A-в-б-3	23	N-37-84-Г-Б-в-2
4	N-35-108-Г-Г-а-4	14	N-37-48-Б-в-а-4	24	N-37-73-A-Г-г-1
5	N-35-97-A-B-в-2	15	N-37-37-B-в-г-1	25	N-37-72-Б-Г-в-2
6	N-36-96-Б А-а-4	16	N-35-111-A-B-б-3-	26	N-36-61-B-в-б-2
7	N-36-85-B-A-б-3	17	N-35-110-Б-Б-в-2	27	N-36-60-Г-в-а-4
8	N-36-84-Г-Б-в-2	18	N-35-101-B-B-г-1	28	N-36-49-A-в-б-3
9	N-36-73-A-Г-г-1	19	N-35-102-Г-Г-а-4	29	N-36-48-Б-в-а-4
10	N-36-72-Б-Г-в-2	20	N-35-94-A-B-в-2	30	N-36-37-B-в-г-1

N-36-25-B-Б-а-1	N-36-25-B-Б-а-2	N-36-25-B-Б-б-1
N-36-25-B-Б-а-3	N-36-25-B-Б-а-4	N-36-25-B-Б-б-3
N-36-25-B-Б-в-1	N-36-25-B-Б-в-2	N-36-25-B-Б-г-1

Рис. 1.6. Результат нахождения смежных листов к листу **N-36-25-B-Б-а-4**

1.3. Изучение условных знаков и зарамочного оформления

Зарамочным оформлением карт называется совокупность вспомогательных элементов, обеспечивающих удобство использования карты (легенда, номенклатура, графики заложения, масштабы и др.). Типичное расположение этих элементов на карте представлено на рис. 1.7. Следует добавить, что легенда для карт может находиться справа от картографического изображения или снизу в зависимости от масштаба.

На планах и картах изображают большое количество различных объектов местности. Совокупность этих объектов называют ситуацией. Чтобы научиться понимать содержание карты, необходимо хорошо знать условные знаки, которыми отображают ситуацию. Условные знаки бывают масштабные (площадные), внесмасштабные и пояснительные.

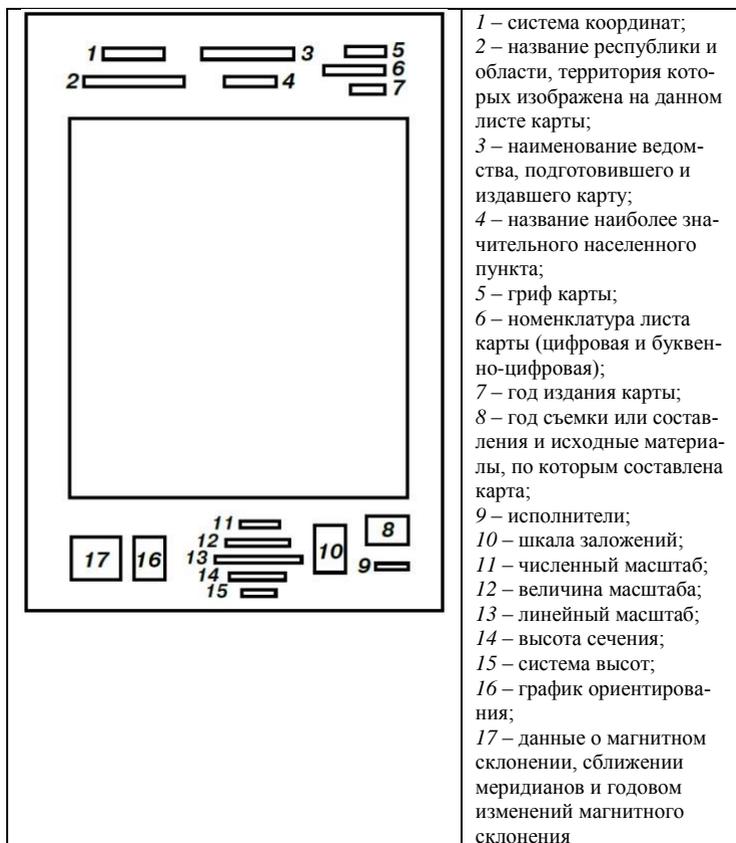


Рис. 1.7. Расположение элементов зарамочного оформления карт масштабов 1:10 000–1:500 000

Масштабные условные знаки применяют для изображения крупных объектов местности, ограниченных ясно выраженными контурами, размеры которых значительно превышают точность масштаба, например: лес, пашня, луговые земли.

Внемасштабными условными знаками изображают предметы местности, которые ввиду их малых размеров нельзя показать в масштабе плана, но по своей значимости они важны. Например, геодезические пункты, мельницы, колодцы, дороги, линии связи и т. д.

Пояснительные условные знаки представляют собой различные надписи и цифровые данные, которые дают дополнительную информацию к основному условному знаку, позволяя определить по карте число домов в населенном пункте, породу леса, размер деревьев, длину моста.

Задача 7. Вычертить в тетради несколько условных знаков и изучить содержание топографической карты, выданной студенту.

1.4. Определение прямоугольных координат точек

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

Для определения прямоугольных координат точки A по карте (рис. 1.8) следует измерить расстояния Δx и Δy до южной и западной сторон квадрата координатной сетки, в котором находится точка A .

Тогда

$$X_A = X_{ю} + \Delta x; \quad Y_A = Y_з + \Delta y, \quad (1.7)$$

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

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

В данном случае $\Delta x = 0,402$ км, $\Delta y = 0,251$ км.

Следовательно, $X_A = 6065$ км + $0,402$ км = $6065,402$ км;

$Y_A = 4312$ км + $0,251$ км = $4312,251$ км.

Задача 8. Определить прямоугольные координаты трех точек (по указанию преподавателя) на топографической карте, выданной студенту.

После определения координат 3 точек необходимо измерить расстояния между ними, а также по координатам точек вычислить приращения координат и длины линий:

$$\Delta x_i = X_{i+1} - X_i; \quad (1.8)$$

$$\Delta y_i = Y_{i+1} - Y_i; \quad (1.9)$$

$$S_{\text{выч}} = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}. \quad (1.10)$$

Результаты измерений и расчетов представить в табл. 1.7.

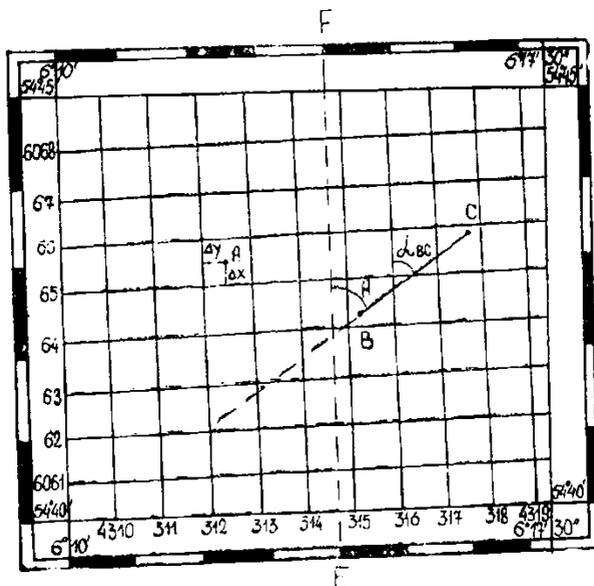


Рис. 1.8. Определение прямоугольных координат точки

Таблица 1.7. Определение прямоугольных координат

Номер точки	Координаты, м		Приращение координат, м		$S_{\text{изм.}}$, м	$S_{\text{выч.}}$, м
	X	Y	Δx	Δy		
1	6067378	4311542				
2	6068236	4312168	+858	+626	1062	1062,09
3	6067124	4312752	-1112	+584	1256	1256,03
			+254	-1210	1730	1729,95
1	6067378	4311542				

1.5. Ориентирование линий

Ориентирование линий производят с помощью углов, называемых дирекционными углами, истинными и магнитными азимутами.

Дирекционным углом (α) называется угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления осевого меридиана или вертикальной линии координатной сетки до данного направления.

Чтобы измерить дирекционный угол линии BC на карте, нулевой диаметр транспортира укладывают по вертикальной линии координатной сетки, совмещая центральную метку с точкой пересечения линий, после чего по ходу часовой стрелки отсчитывают угол α . Он будет искомым дирекционным углом α линии BC (см. рис. 1.8).

Если измеряемый угол близок к 0° или 180° и в пределах листа карты заданная линия не пересекается с абсциссами координатной сетки, то направление сетки параллельно переносят в начальную точку линии с помощью треугольника и линейки или заданную линию продлевают до пересечения с линией координатной сетки, и измерение выполняют, как описано выше.

Истинным (географическим) азимутом (A) называется угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана, проходящего через заданную точку, до данного направления. Если линия местности ориентирована относительно магнитного меридиана, то азимут называется магнитным (A_m).

Чтобы измерить на карте истинный азимут линии BC , проводят ближайший к точке B истинный меридиан, пользуясь минутными делениями северной и южной сторон рамки. На рис. 1.9 проведен меридиан EF . Так как точка B находится недалеко от этого меридиана, то можно считать, что меридиан точки B параллелен проведенному меридиану. Тогда достаточно измерить на карте транспортиром угол A , это и будет искомым азимутом A_{BC} .

Чтобы определить магнитный азимут A_m линии, следует знать склонение магнитной стрелки и сближение меридианов, тогда

$$A_m = \alpha + \gamma - \sigma, \quad (1.11)$$

где γ – сближение меридианов;

σ – склонение магнитной стрелки.

На картах под нижней рамкой часто приводят схематическое изображение склонения магнитной стрелки и сближения меридианов, называемое графиком ориентирования (рис. 1.9).

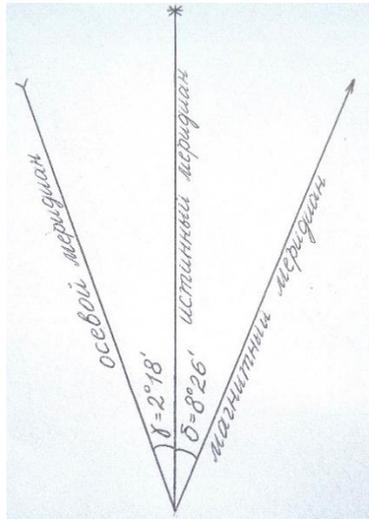


Рис. 1.9. График ориентирования

Задача 9. Для линий, соединяющих на карте выбранные ранее три точки:

- измерить геодезическим транспортиром дирекционные углы в прямом направлении;
- вычислить по прямым дирекционным углам обратные дирекционные углы и углы, заключенные между линиями;
- установить по номерам точек направления линий начала и конца;
- вычислить истинный и магнитный азимуты, а также румбы линий;
- по координатам точек, полученным ранее (см. табл. 1.7), вычислить дирекционный угол одной из линий и сравнить с измеренным значением.

Результаты измерений и расчетов рекомендуется привести в табличной форме (табл. 1.8).

Внутренний угол β , заключенный между двумя линиями, равен разности их дирекционных углов (рис. 1.10).

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

$$\beta_{2 \text{ пр}} = \alpha_{2-1} - \alpha_{2-3} \quad (1.12)$$

и левого угла

$$\beta_{2 \text{ лев}} = \alpha_{2-3} - \alpha_{2-1}. \quad (1.13)$$

Таблица 1.8. 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								

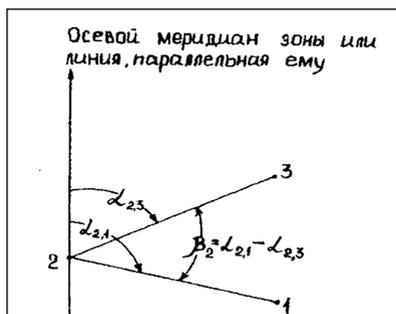


Рис. 1.10. Схема определения внутренних углов через дирекционные углы его сторон

При переходе от прямого дирекционного угла к обратному используют зависимость

$$\alpha_{обр} = \alpha_{пр} \pm 180^\circ. \quad (1.14)$$

Задача 10. По координатам точек, полученным ранее (см. табл. 1.7), вычислить дирекционный угол одной из линий и сравнить с измеренным значением.

Решаем обратную геодезическую задачу – по координатам исходных пунктов A и B находим дирекционный угол стороны $A-B$ по следующей формуле:

$$r_{A-B} = \arctg = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}. \quad (1.15)$$

Для контроля следует вычислить длину стороны по формулам

$$S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}; \quad (1.16)$$

$$S = \frac{\Delta X}{\cos r}; \quad (1.17)$$

$$S = \frac{\Delta Y}{\sin r}. \quad (1.18)$$

Значения тригонометрических функций следует вычислять с точностью до пятого знака после запятой, а расхождения в расстояниях, полученных по формулам (1.16)–(1.17), не должны превышать трех единиц последнего знака.

Определение исходного дирекционного угла следует выполнять в соответствии с табл. 1.9.

Таблица 1.9. Зависимость между дирекционными углами и румбами сторон

Четверть	Значение дирекционного угла	Знаки приращений координат		Название румба	Формулы
		ΔX	ΔY		
1	0–90°	+	+	СВ	$\alpha = r$
2	90–180°	–	+	ЮВ	$\alpha = 180^\circ - r$
3	180–270°	–	–	ЮЗ	$\alpha = 180^\circ + r$
4	270–360°	+	–	СЗ	$\alpha = 360^\circ - r$

Пример решения обратной геодезической задачи приведен в табл. 1.10.

В нашем примере ΔX имеет знак плюс и ΔY также имеет знак плюс, следовательно, румб линии $A-B$ – северо-восточный (СВ), а дирекционный угол

$$\alpha = r = 36,114^\circ = 36^\circ 06' 54''.$$

Таблица 1.10. Решение обратной геодезической задачи

Порядок действий	Наименование пунктов	1. A 2. B	Порядок действий	Наименование пунктов	r α S
	Y_B	4312168	3	$\text{tg } r_{A-B}$	0,72960
	Y_A	4311542	4	r_{A-B}	
1	$\Delta Y = Y_B - Y_A$	626	5	Название румба	СВ
	X_B	6068236	6	α_{A-B}	36,114
	X_A	6067378	7	$S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$	1062,09
2	$\Delta X = X_B - X_A$	858	8	Контроль	
				$S = \frac{\Delta Y}{\sin r_{A-B}}$	1062,10

Вычисленное значение дирекционного угла не отличается от измеренного на карте более чем на 1° , что является допустимым при графическом определении координат и угловых элементов.

1.6. Изучение основных форм рельефа

На топографической карте рельеф изображают горизонталями. Горизонталями называют линии на карте, соединяющие точки с одинаковыми высотами. Расстояние между соседними горизонталями по высоте называют высотой сечения рельефа (h), а горизонтальное расстояние в метрах между соседними горизонталями, измеренное на карте, – заложением (d).

Если необходимо показать рельеф между горизонталями, то пунктирными линиями наносят полугоризонтали с высотой сечения рельефа, вдвое меньшей. Высоты горизонталей всегда кратны высоте сечения рельефа, и они подписываются так, чтобы основание цифр было обращено к подошве ската. На горизонталях ставят бергштрихи, проведенные в направлении стока воды перпендикулярно горизонталям.

В природе различают пять основных форм рельефа.

Гора – возвышенность куполообразной формы. На карте изображается замкнутыми горизонталями, на которых бергштрихи направлены во внешние стороны (рис. 1.11, a). Самая высокая точка горы – вершина.

Котловина – замкнутое углубление, которое изображается замкнутыми горизонталями, на которых бергштрихи направлены внутрь (рис. 1.11, б). Самая низкая точка котловины – дно.

Хребет – возвышение удлиненной формы. Изображается вытянутыми горизонталями с бергштрихами, направленными во внешние стороны (рис. 1.11, в). Линию, соединяющую наивысшие точки хребта, называют водоразделом.

Лощина – углубление вытянутой формы с постепенно понижающимся дном. Линию, проходящую по самым низким точкам лощины, называют тальвегом (рис. 1.11, г). Изображается вытянутыми горизонталями с бергштрихами, направленными внутрь.

Седловина – это место, находящееся между двумя лощинами и двумя хребтами (рис. 1.11, д).

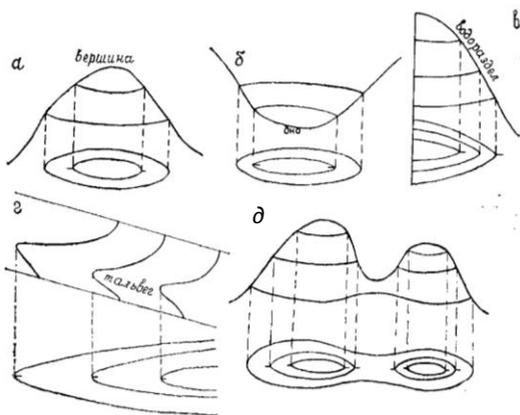


Рис. 1.11. Основные формы рельефа:
а – гора; б – котловина; в – хребет; г – лощина; д – седловина

1.7. Решение задач по карте с горизонталями

Задача 11. Определить высоты выбранных ранее точек. Если точка расположена на горизонтали, то ее высота равна высоте горизонтали (рис. 1.12). Поэтому высота точки А будет равна:

$$h = 2,5 \text{ м,}$$

$$H_A = 200 + 2,5 = 202,5 \text{ м.}$$

Для определения высоты точки B необходимо провести на карте отрезок прямой линии (рис. 1.12), проходящий через точку B и соединяющий соседние горизонталы по кратчайшему расстоянию, и измерить на карте отрезки a и a' .

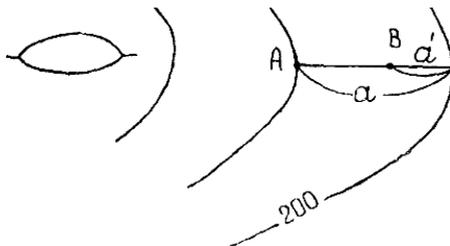


Рис. 1.12. Определение высоты точки

Высота точки B равна:

$$H_B = 200 \text{ м} + h',$$

где $h' = h \frac{a'}{a}$.

Для $a' = 4$ мм и $a = 10$ мм

$$H_B = 200 \text{ м} + 2,5 \frac{4}{10} = 201 \text{ м}.$$

Задача 12. Определить высоту горизонтали по указанной на карте высоте точки:

$$h = 2,5; h = 5 \text{ м}.$$

Высота горизонтали равна числу, ближайшему к указанной высоте точки и кратному высоте сечения рельефа (рис. 1.13). При $h = 2,5$ м высота горизонтали равна 182,5 м, при $h = 5$ м – 180 м.

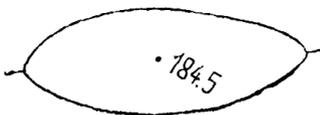


Рис. 1.13. Определение высоты горизонтали

Задача 13. Определить уклон и угол наклона для линий, связывающих ранее выбранные точки.

Уклоном называется тангенс угла наклона или отношение разности высот конечной и начальной точек указанной линии к ее горизонтальному проложению. Значение уклона определяется по формуле

$$i = \operatorname{tg} v = \frac{H_{\text{к}} - H_{\text{н}}}{d}, \quad (1.19)$$

где v – угол наклона;

$H_{\text{к}}, H_{\text{н}}$ – высоты конечной и начальной точек линии соответственно;
 d – горизонтальное проложение.

Угол наклона линии между горизонталями также определяется по графику заложений (рис. 1.14).

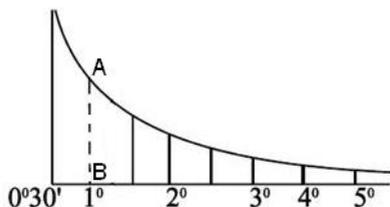


Рис. 1.14. График заложений

Затем по таблице натуральных значений тригонометрических функций или с помощью микрокалькуляторов находят тангенс угла наклона. Для указанной на рис. 1.12 линии AB угол наклона $v = 1^\circ$,

$$i_{AB} = \operatorname{tg} 1^\circ = 0,017 = 1,7 \% = 17 \text{‰}.$$

Уклон выражается в процентах или промилле (тысячных долях).

Результаты решения задач 11–13 рекомендуется внести в табл. 1.11.

Таблица 1.11. **Определение высот точек и уклонов**

Номер точки	Высота точки, м	Превышение, м	Расстояние, м	Уклон		
				тыс. ед.	%	‰
A	185,00					
		–3,75	1062	–0,00353	–0,353	–3,53
B	181,25					
		5,41	1256	0,00431	0,431	4,31
C	186,66					
		–1,66	1730	–0,00096	–0,096	–0,96
A	185,00					

Задача 14. Запроектировать линию с заданным уклоном между двумя точками, указанными на топографической карте.

Указанная задача возникает при проектировании дорог и других линейных сооружений. Условие можно записать так:

$$i < i_{\text{зад}}, \quad (1.20)$$

где i – проектный уклон;

$i_{\text{зад}}$ – заданное его значение.

Определяем величину заложения горизонталей, которая будет удовлетворять указанному требованию:

$$a \geq \frac{h}{i}, \quad (1.21)$$

где h – высота сечения рельефа.

Берем это расстояние в масштабе карты измерителем, ставим одну его ножку в точку A , а второй делаем засечку на горизонтали 1, (рис. 1.15). Если ножка измерителя не будет доставать горизонтали 1, то проводим линию по кратчайшему направлению. Далее откладываем это расстояние от полученной точки до горизонтали 2, затем – до горизонтали 3. Минимальное расстояние от горизонтали 3 до точки B вычислим по следующей формуле:

$$a_1 = \frac{h_1}{i_{\text{зад}}}, \quad (1.22)$$

где $h_1 = H_3 - H_B$.

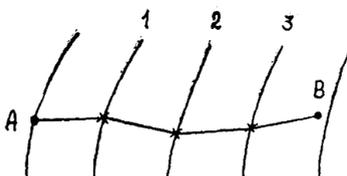


Рис. 1.15. Проложение линии с заданным уклоном

Если расстояние на карте между точкой 3 на горизонтали и точкой B окажется меньше вычисленного, то положение точек на предыдущих горизонталях нужно изменить без нарушения условия (1.21).

Задача 15. Определить на карте границу водосборной площади для заданного створа.

Водосборной называется площадь, с которой стекает вода к данному пункту водотока. Для ее определения следует наметить на карте границу водосбора и определить площадь внутри этой границы. Граница водосбора проходит от заданного створа *E* перпендикулярно горизонталям по высоким точкам хребта и седловинам (рис. 1.16). Площадь водосбора измеряют палеткой или планиметром. Она позволяет определить мощность потока, которая необходима для расчета создаваемых на водотоках искусственных сооружений: плотин, дамб, мостов и т. д.

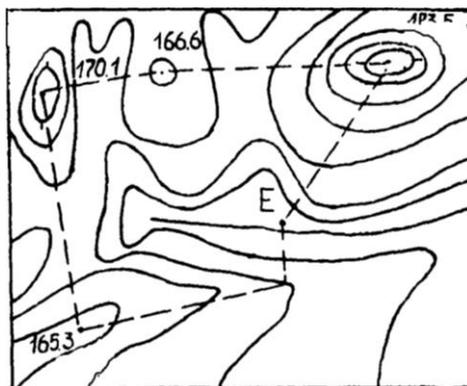


Рис. 1.16. Определение границ водосборной площади

Каждый студент должен самостоятельно решить все рассмотренные задачи для точек на топографической карте, указанных преподавателем.

Лабораторная работа 2. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕОДОЛИТОВ

2.1. Изучение устройства технических теодолитов Т30

Цель работы – изучить устройство технических теодолитов, выполнить поверки и освоить методику измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Технические оптические теодолиты Т30, 2Т30, 2Т30П предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодо-

литных и тахеометрических ходах. Ими можно также измерять расстояния с помощью нитяного дальномера.

С учетом принципа измерения горизонтального угла и угла наклона теодолит имеет следующие основные части (рис. 2.1): горизонтальный круг *1*, он состоит 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 (лимб вертикального круга неподвижно скреплен с осью вращения зрительной трубы); цилиндрический уровень *5* при вертикальном круге, по которому задается горизонтальная линия. Теодолит также имеет отсчетное приспособление (штриховой или шкаловой микроскоп).

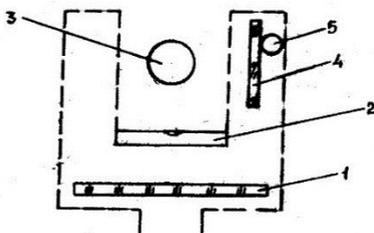


Рис. 2.1. Схема теодолита:

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 напыливанием 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. Уровень состоит из ампулы, оправы, регулировочного (исправительного) устройства (рис. 2.2). Ампула заполняется этиловым спиртом.

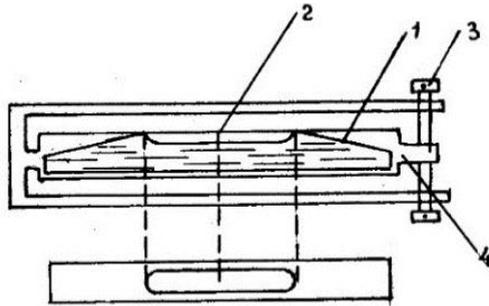


Рис. 2.2. Цилиндрический уровень:
 1 – рабочая поверхность; 2 – нуль-пункт; 3 – винты; 4 – конец ампулы

Незаполненная часть ампулы образует пузырек. Цилиндрический уровень имеет рабочую поверхность 1 определенной кривизны. Центр рабочей поверхности 2 называют нуль-пунктом. В теодолитах Т60, Т30, 2Т30 ампула с оправой соединяется заливкой гипсом. Регулирующее (исправительное) устройство цилиндрического уровня выполняется в виде винтов 3 (рис. 2.2), 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. 2.3). 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) его изображение AB должно попадать между фокусом $F_{ок}$ и оптическим центром окуляра O . 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. 2.4), 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.

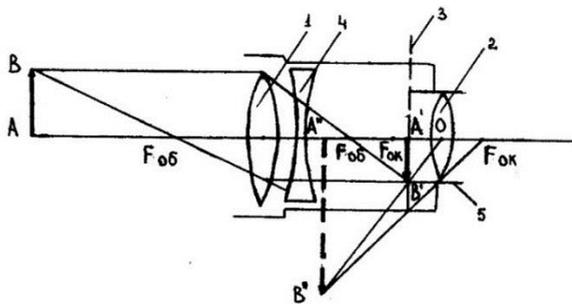


Рис. 2.3. Ход лучей в зрительной трубе:
 1 – объектив; 2 – окуляр; 3 – сетка нитей; 4 – двояковогнутая линза;
 5 – окулярное колено

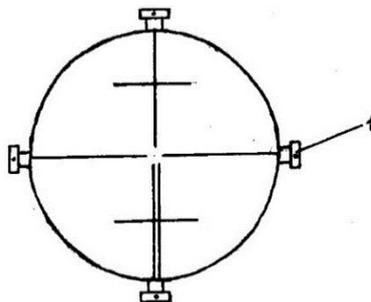


Рис. 2.4. Сетка нитей:
 1 – исправительные винты

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

Закрепительные, наводящие и подъемные винты. Для обеспечения стационарного положения основных частей теодолита имеются закрепительные винты лимба 1 (рис. 2.5), алидады 2 и трубы 3. Для придания плавности движению основных частей при наведении теодолита на точку имеются наводящие винты лимба 4 (рис. 2.6); алидады 5 и трубы 6. Внизу теодолита находится треугольная подставка с тремя подъемными винтами 13 (рис. 2.6). Под ними установлена специальная пластина – трегер 15, через которую с помощью станкового винта теодолит крепится к штативу.

На рис. 2.5 представлено устройство теодолита 2Т30 с перевернутым изображением зрительной трубы. На рис. 2.6. представлено устройство теодолита 2Т30П с прямым изображением зрительной трубы. На рис. 2.7 представлено устройство теодолита Т30, который отличается от представленных ранее приборов отсутствием цилиндрического уровня при трубе и отсчетной системой.

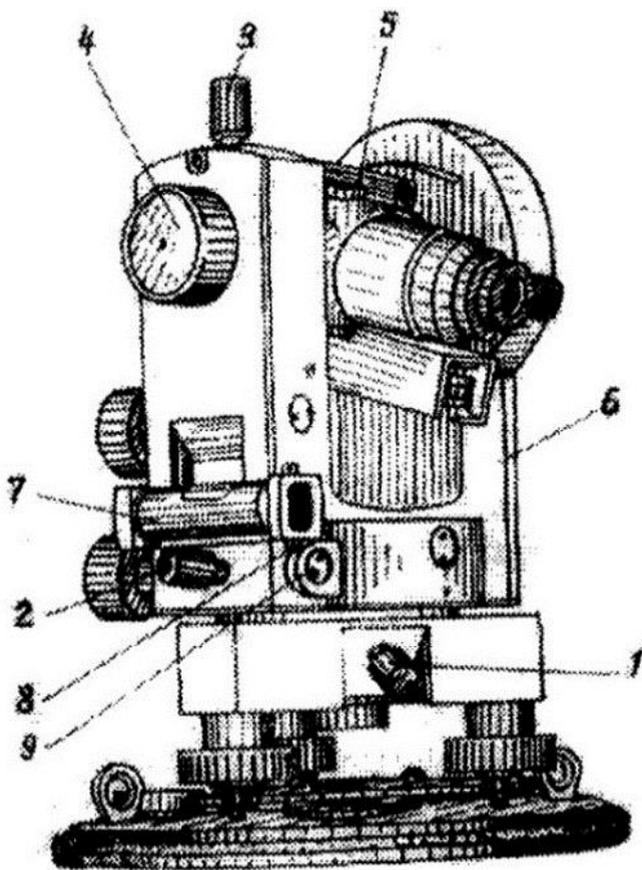


Рис. 2.5. Теодолит 2Т30: 1 – закрепительный винт лимба;
 2 – закрепительный винт алидады; 3 – закрепительный винт трубы; 4 – кремальера;
 5 – визир; 6 – колонка; 7 – уровень при алидаде; 8 – юстировочный винт;
 9 – гильза

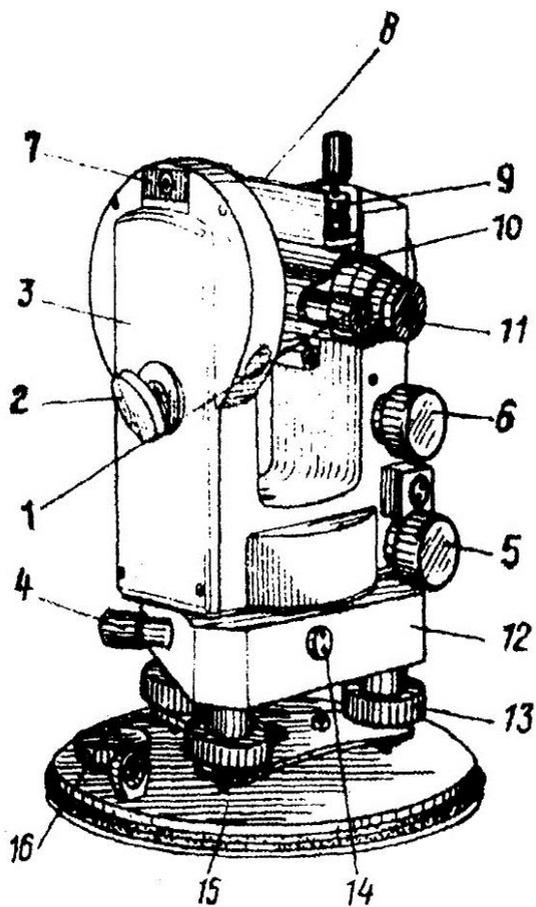


Рис. 2.6. Теодолит 2Т30П: 1 – окуляр микроскопа;
 2 – зеркало подсветки; 3 – боковая крышка;
 4 – наводящий винт лимба; 5 – наводящий винт
 алидады; 6 – наводящий винт трубы; 7 – посадочный
 паз для буссоли; 8 – уровень при трубе;
 9 – юстировочная гайка; 10 – колпачок;
 11 – диоптрийное кольцо окуляра; 12 – подставка;
 13 – подъемные винты; 14 – втулка; 15 – трегер;
 16 – крышка

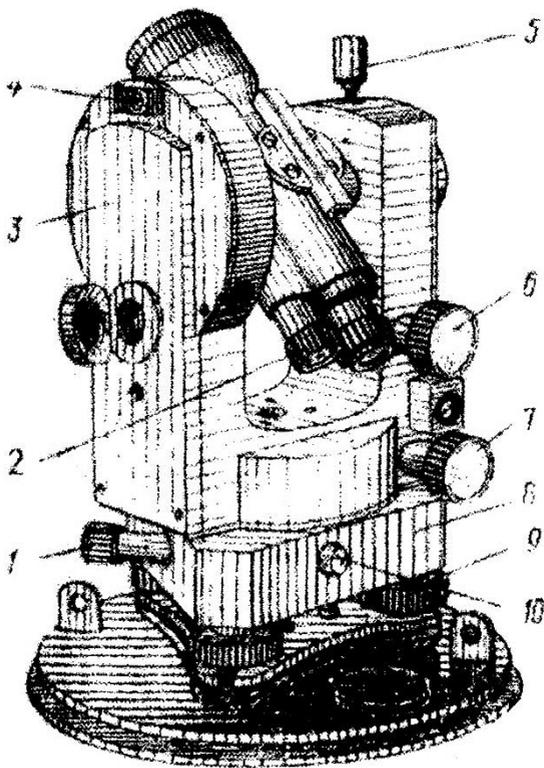


Рис. 2.7. Теодолит Т30: 1 – наводящий винт лимба; 2 – окуляр микроскопа; 3 – боковая крышка; 4 – посадочный паз для буссоли; 5 – закрепительный винт трубы; 6 – наводящий винт трубы; 7 – наводящий винт алидады; 8 – подставка; 9 – подъемные винты подставки; 10 – втулка

2.2. Отсчетные приспособления теодолитов

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

Вид поля зрения штрихового микроскопа показан на рис. 2.8.

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

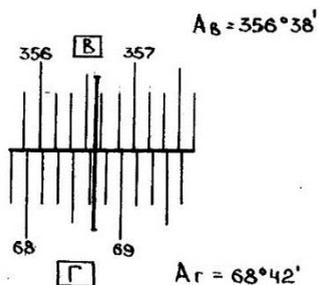


Рис. 2.8. Штриховая система отсчетов

Вид поля зрения шкалового микроскопа теодолита 2Т30 показан на рис. 2.9. В поле зрения видны градусные деления лимба и шкала, цена деления которой равна 5'.

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 $-7^{\circ} 12'$.

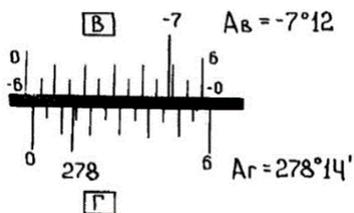


Рис. 2.9. Шкаловая система отсчета в теодолите 2Т30

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

2.3. Приведение теодолита в рабочее положение

Перед выполнением измерений теодолит с помощью станкового винта крепится 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 станковом винте. После этого штатив располагают так, чтобы отвес проецировался 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. 2.10, *а*). Вращением этих винтов в разные стороны приводят пузырек уровня в нуль-пункт. После этого поворачивают алидаду на 90° (рис. 2.10, *б*) и вращением третьего подъемного винта приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Эти операции повторяют 2–3 раза до тех пор, пока при любом положении алидады и соответственно уровня его пузырек не будет отклоняться от нуль-пункта более чем на 1–2 деления.

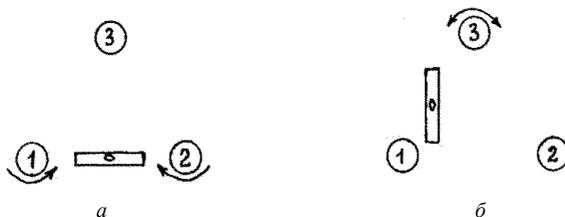


Рис. 2.10. Схема горизонтирования прибора

2.4. Основные оси и поверки теодолита

Ось вращения прибора ZZ_1 (рис. 2.11), называемая также вертикальной осью, при измерении угла должна совпадать с линией отвеса, проходящей через вершину угла.

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.

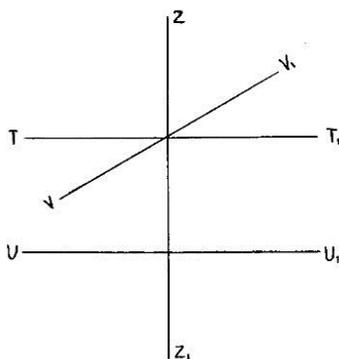


Рис. 2.11. Схема осей прибора

Ось вращения зрительной трубы (TT_1 на рис. 2.11) – геометрическое место точек самого цилиндра трубы.

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

2.4.1. Поверки теодолита

Для определения правильности взаимного расположения осей теодолита производят его поверки. Каждая поверка 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 на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси.

Установив уровень по направлению двух подъемных винтов, приводят пузырек на середину. Затем поворачивают алидаду на 90° , ориентируют ось цилиндрического уровня по направлению третьего подъемного винта и его вращением вновь приводят пузырек на середину. Сделав отсчет по лимбу, поворачивают алидаду ровно на 180° . Если пузырек остается на середине, то условие выполнено. В противном случае делают юстировку уровня. Для этого, действуя подъемными винтами, перемещают пузырек на половину дуги отклонения, после чего юстировочными винтами уровня приводят пузырек на середину. После юстировки следует повторить поверку.

Если при повороте алидады на 180° пузырек уровня упирается в конец ампулы, то величина отклонения пузырька определяется шагом подъемных винтов.

Проверка 2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна горизонтальной оси.

Для выполнения проверки выбирают точку местности, при наблюдении на которую зрительная труба устанавливается приблизительно горизонтально.

Приведя вертикальную ось теодолита в отвесное положение, закрепляют лимб и, вращая алидаду, визируют на эту точку при двух положениях круга (КЛ и КП). При этом записывают отсчеты по горизонтальному кругу (a_1 и a_2).

Коллимационная ошибка, выражающая угловую величину отклонения визирной оси от перпендикулярного положения, определяется по формуле

$$C = \frac{a_1 - a_2 \pm 180^\circ}{2}. \quad (2.1)$$

Если величина C превышает двойную точность теодолита, то следует выполнить исправление. Для этого наводящим винтом алидады устанавливают на лимбе правильный отсчет

$$a = \frac{a_1 + a_2 \pm 180^\circ}{2} \quad (2.2)$$

после чего зрительная труба переместится, а перекрестие сетки нитей отойдет от наблюдаемой точки. Потом отвинчивают колпачок, закрывающий юстировочные винты сетки нитей, ослабляют их и боковыми винтами перемещают сетку нитей так, чтобы ее центр совпал с наблюдаемой точкой. После этого проводятся контрольные измерения.

Проверка 3. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна вертикальной оси.

Приведя вертикальную ось теодолита в отвесное положение, визируют на длинную нить отвеса, подвешенного на расстоянии 10–20 м от теодолита. Плавно вращая рукой зрительную трубу, наблюдают за перекрестием нитей сетки. Если оно сходит с изображения нити отвеса, то условие не выполнено.

Выполнение этого условия гарантируется заводом, однако, если оно не выполнено, то исправление возможно только в мастерской.

Поверка 4. Вертикальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен оси вращения зрительной трубы.

С целью проверки этого условия приводят вертикальную ось прибора в отвесное положение и визируют на хорошо видимую точку местности. Вращая трубу наводящим винтом, наблюдают, сходит ли изображение точки местности с основного вертикального штриха сетки нитей. Если изображение точки не сходит со штриха, то условие считается выполненным. В противном случае исправление сетки выполняют ее поворотом. После этого поверка повторяется.

2.5. Измерение горизонтального угла

Измерение горизонтальных углов выполняют при двух положениях круга (КП и КЛ). При КП закрепляют лимб горизонтального круга и, вращая алидаду, наводят трубу на выбранную точку 3 (рис. 2.12).

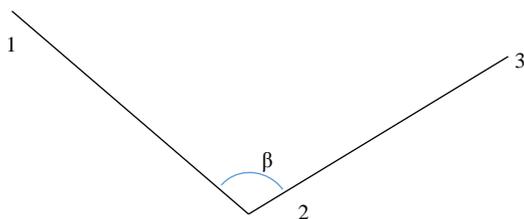


Рис. 2.12. Схема горизонтального угла

Точное наведение перекрестия сетки нитей на точку осуществляют наводящими винтами алидады и трубы. Если в точке визирования стоит веха, то перекрестие наводят на основание вехи. Полученный отсчет a_3 по горизонтальному кругу записывают в журнал измерения углов. Затем открепляют алидаду, делают наведение трубы на точку 1 и записывают отсчет a_1 .

Второй полуприем выполняют при КЛ так же, как и первый, но перед его началом необходимо перевести трубу через зенит, переместить лимб на несколько градусов и снова закрепить его. Значения измеренных углов в обоих полуприемах получают как разности отсчетов $a_3 - a_1$. Если значения углов не отличаются более, чем на двойную точность отсчета, то вычисляют среднее арифметическое, являющееся результатом измерения угла полным приемом. В противном случае измерение угла считается неправильным.

Образец журнала измерения углов приведен ниже (табл. 2.1).

Таблица 2.1. Журнал измерения горизонтальных углов

№ точек		КП КЛ	Отсчеты по горизонтальному кругу		Угол при КЛ, средний угол, угол при КП
стояния	наблюдения		°	'	
	3	КП	42	22	60° 51'
	1		341	31	60° 51,5'
2	3		225	51	60° 52'
	1	КЛ	164	59	

2.6. Измерение вертикальных углов

При измерении вертикальных углов необходимо определить место нуля (МО) вертикального круга.

Местом нуля называется отсчет по вертикальному кругу, когда визирная ось трубы горизонтальна, а пузырек уровня находится в нуль-пункте.

У алидады вертикального круга нет уровня и его заменяет уровень при алидаде горизонтального круга, расположенный параллельно коллимационной плоскости зрительной трубы. Перед отсчетом по лимбу вертикального круга пузырек уровня приводят на середину с помощью подъемного винта, по направлению которого расположен уровень, и подправляют визирование наводящим винтом зрительной трубы.

Определение МО выполняют одновременно с измерением вертикального угла (v) в следующем порядке:

а) на выбранную точку наводят среднюю горизонтальную нить сетки, действуя наводящим винтом трубы, и записывают отсчет по вертикальному кругу (КЛ);

б) переводят трубу через зенит, наводят среднюю нить сетки на ту же точку и записывают отсчет (КП);

в) определяют место нуля по формуле

$$МО = \frac{КЛ + КП - 180^\circ}{2}; \quad (2.3)$$

г) если найденное МО не превышает двойную точность теодолита, то определяют угол наклона v по следующим формулам:

$$v = КЛ - МО; \quad v = МО - КП + 180^\circ. \quad (2.4)$$

Все отсчеты и результаты вычислений записывают в журнал (табл. 2.2).

Таблица 2.2. Журнал измерения вертикальных углов

№ точек		КЛ КП	Отсчет по вертикаль- ному кругу		МО, угол наклона
стояния	наблюдения		°	'	
1	2	КЛ	5	37	360° 01'
	2	КП	174	25	+5° 36'

Для исправления места нуля (в случае, если оно превышает двойную точность отсчитывания) наводящим винтом трубы устанавливают на лимбе отсчет, равный измеренному углу v . При этом труба переместится и горизонтальная нить сетки отойдет от точки наблюдения. Затем вертикальными исправительными винтами сетки нитей перемещают сетку так, чтобы ее центр совпал с точкой наблюдения.

Если вертикальный угол измеряют теодолитом 2Т30, то методика такая же, как и при измерении теодолитом Т30, но формулы вычислений другие:

$$MO = \frac{КЛ + КП}{2}; \quad (2.5)$$

$$v = MO - КП; \quad (2.6)$$

$$v = КЛ - MO. \quad (2.7)$$

2.7. 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

$$D = (n_2 - n_1) \cdot 100 \text{ мм}. \quad (2.8)$$

В нашем случае (рис. 2.13) $n_1 = 1\,000$ мм, $n_2 = 1\,098$ мм, тогда $D = (1\,098 - 1\,000) \cdot 100 = 98 \cdot 100$ (мм) = 9,8 м. Результаты измерений записываются в табл. 2.3.

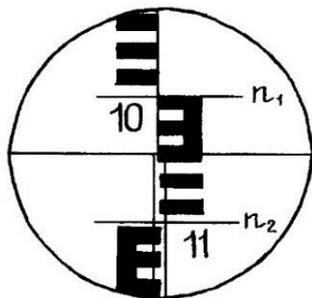


Рис. 2.13. Измерение расстояний нитяным дальномером

Таблица 2.3. Измерение расстояний нитяным дальномером

Точка стояния	Точка наведения	Отсчеты, мм		$n_2 - n_1$	$D, \text{ м}$
		n_1	n_2		
2	3	1 000	1 098	98	9,8

Лабораторная работа 3. ИЗУЧЕНИЕ НИВЕЛИРОВ

3.1. Изучение устройства нивелиров

Цель работы – изучить устройство нивелиров, выполнить поверки, освоить порядок работы на станции при измерении превышений.

В зависимости от устройства, применяемого для приведения визирной оси в горизонтальное положение, нивелиры выпускаются двух типов: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона.

Нивелир НЗ (рис. 3.1, а) служит для нивелирования III и IV классов и технического нивелирования. Он имеет зрительную трубу с внутренней фокусировкой, наглухо скрепленную с цилиндрическим контактным уровнем, изображение концов пузырька которого передается системой призм в поле зрения трубы. С помощью элевационного винта производят точную установку визирной оси трубы в горизонтальное положение перед отсчетом по рейке, совмещая изображения концов пузырька цилиндрического уровня.

Для юстировки цилиндрического уровня в корпусе трубы со стороны окуляра имеется четыре исправительных винта, закрытых крыш-

кой. Нивелир приводят в рабочее положение с помощью круглого уровня, имеющего три исправительных винта.

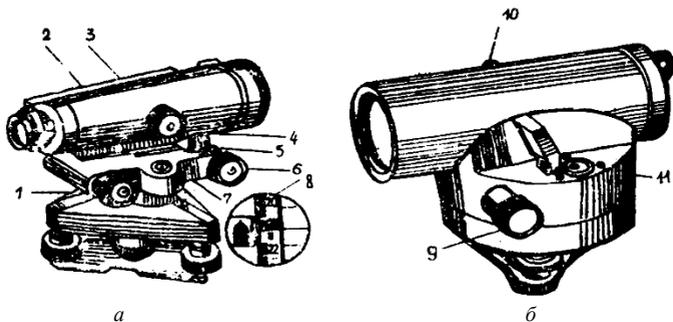


Рис. 3.1. Нивелиры: *а* – НЗ; *б* – НЗК; 1 – элевационный винт; 2 – зрительная труба; 3 – цилиндрический уровень; 4, 10 – кремальера; 5 – закрепительный винт; 6, 9 – наводящие винты; 7, 11 – круглый уровень; 8 – поле зрения зрительной трубы

Нивелир НЗК (рис. 3.1, *б*) с самоустанавливающейся линией визирования предназначен для нивелирования III и IV классов и технического нивелирования. Для приближенного приведения визирной оси в горизонтальное положение служит круглый уровень. Точное наведение нивелира на рейку производят с помощью наводящего винта. Грубое наведение нивелира осуществляется путем вращения рукой верхней части прибора. Закрепительных устройств нивелир не имеет.

Нивелир снабжен призмным компенсатором, обеспечивающим установку визирной оси в горизонтальное положение при наклоне подставки прибора в диапазоне $\pm 15'$. Для юстировки линии визирования в оправе сетки нитей имеются два винта, позволяющие перемещать сетку нитей в вертикальном направлении.

3.2. Поверки нивелира

У нивелиров с цилиндрическим уровнем, а также у нивелиров с компенсатором проверяют выполнение следующих условий.

Поверка 1. Ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси нивелира.

Осью круглого уровня называют линию радиуса сферической поверхности, проходящую через нуль-пункт.

Для выполнения поверки подъемными винтами приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Поворачивают нивелир вокруг вертикальной оси на 180° . Если пузырек оказался в нуль-пункте, то условие выполнено. Если же он отклонился от центра, то исправительными винтами уровня его перемещают на половину дуги отклонения, а подъемными винтами приводят в нуль-пункт. После этого нивелир снова поворачивают на 180° и в случае, если пузырек вновь сойдет с нуль-пункта, производят вторичное исправление. Так действуют до тех пор, пока при повороте нивелира пузырек останется в нуль-пункте.

Поверка 2. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна вертикальной оси нивелира.

Для поверки этого условия на расстоянии 5–8 м от нивелира устанавливают рейку и берут отсчеты по одному и другому концам горизонтальной нити. Если отсчеты будут одинаковыми, то условие выполнено. Если же отсчеты различаются более чем на 1 мм, то с помощью исправительных винтов поворачивают сетку до получения одинаковых отсчетов.

Поверка 3. Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (у нивелиров с цилиндрическими уровнями) или визирная ось должна быть горизонтальна (у нивелиров с компенсаторами). Это основное геометрическое условие нивелиров проверяют следующим образом. На концах линии длиной 60–70 м забивают колья. Установив нивелир на равном расстоянии между закрепленными точками (рис. 3.2, *а*), а на них рейки, измеряют методом из середины превышение между этими точками не менее трех раз, изменяя горизонт прибора. В качестве окончательного (эталонного) принимают среднее значение превышения.

После этого устанавливают нивелир около одной из точек и определяют превышение нивелированием вперед (рис. 3.2, *б*). Затем вычисляют погрешность x как разность между превышением h , определенным нивелированием вперед, и эталонным превышением $h_{\text{эт}}$, полученным из середины:

$$x = h - h_{\text{эт}}. \quad (3.1)$$

Допустимое значение погрешности x не должно превышать 5 мм. Для установления допустимости погрешности x можно также вычислить угол i , характеризующий невыполнение основного геометрического условия, по формуле

$$i = \frac{x\rho}{S}, \quad (3.2)$$

где S – расстояние между точками;
 $\rho'' = 206\,265''$.

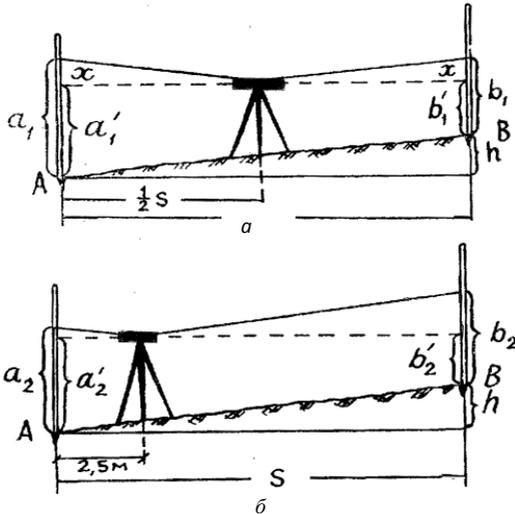


Рис. 3.2. Выполнение проверки главного геометрического условия нивелира

Если величина угла i превышает $45''$ (у технических нивелиров), то исправляют непараллельность осей. Для этого сначала вычисляют правильный отсчет по рейке на второй станции:

$$b = a - h_{\text{ст}}, \quad (3.3)$$

где a – отсчет, взятый по ближней рейке.

Затем у нивелиров с цилиндрическими уровнями элевационным винтом приводят горизонтальную нить сетки на исправленный отсчет, после чего вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня совмещают изображения концов пузырька уровня.

У нивелиров с компенсаторами приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт, после чего вертикальными исправительными винтами сетки наводят горизонтальную нить на исправленный отсчет.

Для контроля проверку повторяют.

3.3. Измерение превышений

Геометрическое нивелирование из середины выполняют с помощью нивелира и нивелирных реек.

Удобны в работе двусторонние трехметровые рейки. На них нанесены сантиметровые и дециметровые деления. У этих реек одна сторона рабочая, на ней сантиметровые деления и нуль, нанесенные черной краской, совпадают с пяткой рейки, а другая сторона дополнительная, на ней деления нанесены красной краской так, чтобы пятка рейки совпадала с отсчетом 4683 или 4783 мм. Эти числа называются разностью нулей рейки.

Для определения превышения между точками A и B нивелированием из середины в этих точках устанавливают отвесно рейки, а между ними по возможности на одинаковых расстояниях – нивелир (рис. 3.2, a). Визируют зрительной трубой на рейки, установленные в точках A и B . Снимают отсчеты по черным и красным сторонам реек.

Если точку A считать задней, а точку B передней, то превышение равно разности отсчетов на заднюю и переднюю рейки $a - b$. Расхождение в значениях превышений, полученных по черной и красной сторонам реек, допускается не более 5 мм (для технического нивелирования).

Все отсчеты по рейкам, полученным во время нивелирования, записывают в соответствующие графы журнала, образец которого приведен ниже (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Журнал геометрического нивелирования

Номер станции	Номера точек наблюдения	Отсчеты по рейкам		Превышения	Средние превышения
		задние	передние		
	A	2451		+1279	
1		7134			+1280,8
	B		1172	+1282	
			5852		

Для определения расстояний от нивелира до точки, на которой установлена рейка, необходимо выполнить отсчеты по рейке, пользуясь верхним и нижним дальномерными штрихами сетки, и полученную разность отсчетов умножить на коэффициент нитяного дальномера 100.

Лабораторная работа 4. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

Цель работы – научиться выполнять обработку результатов геодезических измерений при создании планового съемочного обоснования проложением теодолитных ходов.

Вычислить координаты точек разомкнутого теодолитного хода, изображенного на рис. 4.1. Измеренные углы задаются по нулевому варианту и приведены на рис. 4.1. Координаты исходных пунктов, исходные дирекционные углы и длины линий задаются по вариантам из табл. 4.1 преподавателем.

1. Составляем схематический чертеж хода, на котором показываем названия пунктов, значения измеренных горизонтальных углов и длин линий (рис. 4.1).

2. Заполняем графы «№ точки», «Измеренные углы» и «Длины линий» ведомости вычисления координат (табл. 4.2). В графы «Дирекционные углы» и «Координаты» выписываем исходные дирекционные углы сторон $A-B$ и $C-D$ в строках между исходными пунктами и координаты исходных пунктов B и C , заданных по условию задачи.

3. Вычисляем угловую невязку теодолитного хода по формуле

$$f_{\beta} = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_{\text{т}}, \quad (4.1)$$

где $\sum \beta_{\text{пр}}$ – сумма всех измеренных углов теодолитного хода (сумма практическая);

$\sum \beta_{\text{т}}$ – теоретическая сумма углов теодолитного хода.

В разомкнутом ходе она вычисляется по следующим формулам:

для левых по ходу измеренных углов –

$$\sum \beta_{\text{т}} = \alpha_{\text{к}} + 180^{\circ} \cdot n - \alpha_{\text{н}}; \quad (4.2)$$

для правых по ходу измеренных углов –

$$\sum \beta_{\text{т}} = \alpha_{\text{н}} + 180^{\circ} \cdot n - \alpha_{\text{к}}, \quad (4.3)$$

где n – число углов в ходе;

$\alpha_{\text{н}}$ и $\alpha_{\text{к}}$ – соответственно начальный и конечный дирекционные углы.

В нашем примере для левых по ходу углов

$$\sum \beta_{\text{т}} = 45^{\circ} 00' + 180^{\circ} \cdot 5 - 158^{\circ} 12' = 786^{\circ} 48,0'.$$

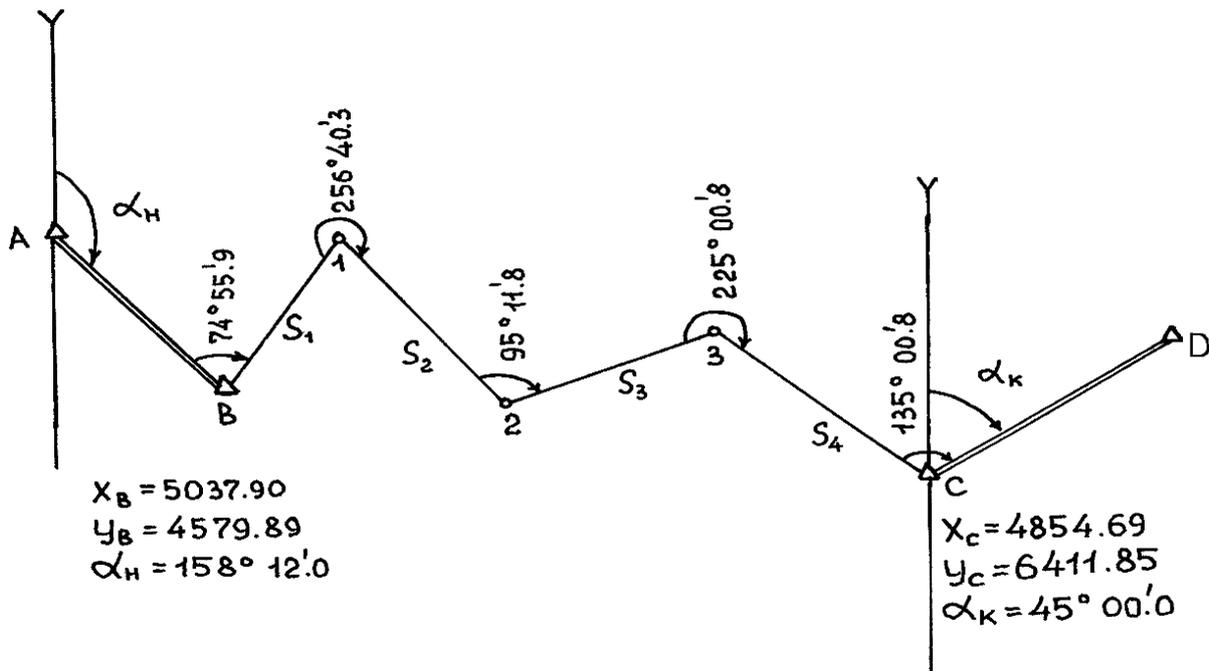


Рис. 4.1. Схема разомкнутого теодолитного хода

Таблица 4.1. Варианты исходных данных для разомкнутого теодолитного хода

№ варианта	S_1	S_2	S_3	S_4	X_B	Y_B	X_C	Y_C	α_{A-B}	α_{C-D}
1	233,69	364,67	330,00	233,63	2215,43	2450,15	2308,46	3390,31	161°04,9'	47°52,8'
2	238,27	371,82	336,47	238,21	2195,38	2554,17	2266,11	3514,85	162°31,3'	49°19,2'
3	242,86	378,97	342,94	242,79	2171,17	2658,70	2218,94	3639,35	163°57,9'	50°45,6'
4	247,44	386,12	349,41	247,37	2143,67	2763,60	2166,91	3767,26	165°24,1'	52°12,0'
5	252,02	393,27	355,88	251,95	2111,94	2868,76	2110,61	3887,61	166°50,5'	53°38,4'
6	256,60	400,42	362,35	256,54	2076,26	2974,04	2048,22	4011,03	168°16,8'	55°04,8'
7	261,19	407,57	368,82	261,12	2036,60	3079,30	1981,54	4133,76	169°43,2'	56°31,2'
8	265,77	414,72	375,29	265,70	1992,93	3184,41	1909,96	4255,62	171°09,7'	57°57,6'
9	270,35	421,67	381,77	270,28	1945,25	3289,23	1833,49	4376,45	172°36,0'	59°24,0'
10	274,93	429,02	388,24	274,86	1893,53	3393,64	1752,13	4496,08	174°02,4'	60°50,4'
11	284,10	443,32	401,18	284,02	1777,99	3600,64	1574,82	4731,05	176°55,3'	63°43,2'
12	288,68	450,47	407,65	288,60	1714,15	3702,96	1478,90	4846,05	178°21,8'	65°09,6'
13	293,26	547,63	414,12	293,18	1646,27	3804,31	1387,19	4954,17	179°48,1'	66°36,0'
14	297,84	464,78	420,59	297,76	1574,37	3904,55	1272,71	5070,25	181°14,5'	68°02,4'
15	302,43	471,93	427,06	302,35	1498,40	4003,54	1162,50	5179,10	182°40,8'	69°28,8'
16	307,01	479,08	433,53	306,93	1418,55	4101,14	1047,62	5285,56	184°07,3'	70°55,2'
17	311,59	486,23	440,00	311,51	1334,67	4197,22	928,11	5389,48	185°33,7'	72°21,6'
18	316,17	493,38	446,47	316,09	1246,84	4291,63	804,04	5490,68	187°00,1'	73°48,0'
19	320,75	500,53	452,94	320,67	1155,10	4384,24	675,45	5588,99	188°26,5'	75°14,4'
20	325,34	507,68	459,41	325,25	1059,48	4474,91	542,42	5684,26	189°53,0'	76°40,8'
21	329,92	514,83	465,88	329,83	960,02	4563,50	405,03	5776,32	191°19,4'	78°07,2'
22	334,50	521,98	472,35	334,41	856,77	4649,89	263,35	5865,02	190°21,8'	79°33,6'
23	339,08	529,13	478,82	338,99	749,78	4733,92	117,47	5950,20	194°12,0'	81°00,0'
24	343,66	536,28	485,29	343,57	639,10	4815,47	-32,53	6031,69	195°38,5'	82°26,4'
25	348,25	543,43	491,77	348,16	524,79	4894,41	-186,55	6109,35	197°04,9'	83°52,8'

Таблица 4.2. Ведомость вычисления координат точек разомкнутого теодолитного хода

№ точки	Внутренние углы				Дирекционные углы		Румбы			Длины линий	Вычисленные приращения		Исправленные приращения		Координаты	
	измеренные		исправленные								ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	X	Y
	град	мин	град	мин	град	мин	название	град	мин	м	ΔX	ΔY	ΔX	ΔY	X	Y
A					158	12,0										
B	74	55,9	74	55,6							-0,10	+0,04			5037,90	4579,89
1	256	40,3	256	40,4	53	07,6	СВ	53	07,6	458,22	+274,95	+366,56	+274,85	+366,60	5312,75	4946,49
2	95	11,8	95	11,5	129	47,6	ЮВ	50	12,4	715,04	-457,64	+549,41	-457,80	+549,47	4854,95	5495,96
3	225	00,8	135	00,5	44	59,1	СВ	44	59,1	647,46	+457,94	+457,70	+457,80	+457,75	5312,75	5953,71
C	135	00,8		00,4	89	59,6	СВ	89	59,6	458,10	+0,05	+458,10	-0,05	+458,14	5312,70	6411,85
					45	00										

$$\sum \beta_{пр} = 786^\circ 49,6'$$

$$\sum S = 2278,82 \quad \sum \Delta X = +275,30 \quad \sum \Delta Y = +1831,77$$

$$\sum \beta_T = 786^\circ 48,0'$$

$$\sum \Delta X_T = +274,80 \quad \sum \Delta Y_T = +1831,96$$

$$f_\beta = +1,6'$$

$$f_X = +0,50 \quad f_Y = -0,19$$

Контроль:

$$f_S = \sqrt{0,50^2 + (-0,19)^2} = 0,53 \quad \frac{f_S}{\sum S} = \frac{0,53}{2280} = \frac{1}{4300} < \frac{1}{2000}$$

$$\sum V_\beta = 1,6'$$

$$\sum \beta' = 786^\circ 48,0'$$

Сумма измеренных углов составит:

$$\sum \beta_{\text{пр}} = 786^{\circ} 49,6'.$$

Невязка хода

$$f_{\beta} = 786^{\circ} 49,6' - 786^{\circ} 48,0' = +1,6'.$$

Допустимая угловая невязка вычисляется по формуле

$$f_{\beta\text{доп}} = \pm 1' \sqrt{n}, \quad (4.4)$$

где n – число углов.

В данном примере $f_{\beta\text{доп}} = \pm 1' \sqrt{5} = \pm 2,2'$.

Значения $\sum \beta_{\text{пр}}$, $\sum \beta_{\text{т}}$, f_{β} , $f_{\beta\text{доп}}$ записываем в ведомости вычисления координат (табл. 4.2) под измеренными углами.

4. В случае допустимости угловой невязки хода ($f_{\beta} \leq f_{\beta\text{доп}}$) распределяем ее поровну на каждый измеренный угол с обратным знаком и получаем поправку в углы:

$$V_{\beta} = -\frac{f_{\beta}}{n}. \quad (4.5)$$

Полученные поправки записываем в ведомости вычисления координат над соответствующими измеренными углами.

Контроль. Сумма поправок должна быть равна невязке хода с обратным знаком:

$$\sum V_{\beta} = -f_{\beta}. \quad (4.6)$$

В нашем примере

$$V_{\beta} = -\frac{(+1,6')}{5} = -0,32'.$$

Поскольку значения углов вычисляются с точностью до десятых долей минуты, то поправки в углы целесообразно представить с такой же точностью. Тогда первые четыре угла получают поправки по $-0,3'$, а пятый – $-0,4'$:

$$(-0,3') + (-0,3') + (-0,3') + (-0,3') + (-0,4') = -1,6'.$$

С учетом полученных поправок вычисляем исправленные углы по формуле

$$\beta' = \beta + V_{\beta}, \quad (4.7)$$

где β – измеренный угол.

Например, исправленный угол в точке B равен:

$$74^{\circ} 55,9' + (-0,3') = 74^{\circ} 55,6'.$$

5. Вычисляем дирекционные углы сторон теодолитного хода по исправленным горизонтальным углам. При этом будем использовать формулы связи между дирекционными углами предыдущей и последующей сторон для левых по ходу измеренных углов:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - 180^{\circ} + \beta'_i. \quad (4.8)$$

Если в выражении (4.8) сумма $\alpha_i + \beta'_i$ будет меньше 180° , то к ней необходимо прибавить 360° .

6. Контролем правильности вычисления дирекционных углов сторон теодолитного хода является получение значения дирекционного угла конечной стороны хода. В нашем примере измерены левые по ходу углы, поэтому дирекционный угол стороны $B-1$ хода вычисляем следующим образом:

$$\alpha_{B-1} = \alpha_{A-B} - 180^{\circ} + \beta'_i = 158^{\circ} 12,0' - 180^{\circ} + 74^{\circ} 55,6' = 53^{\circ} 07,6'.$$

Аналогично вычисляем дирекционные углы остальных сторон хода и записываем в соответствующую графу ведомости вычисления координат. Конечный дирекционный угол стороны $C-D$

$$\alpha_{C-D} = \alpha_{3-C} - 180^{\circ} + \beta'_5 = 89^{\circ} 59,6' - 180^{\circ} + 135^{\circ} 00,4' = 45^{\circ} 00,0'.$$

По вычисленным дирекционным углам определяем название румба и его величину. При этом удобно пользоваться табл. 1.9. Например, для стороны хода 1–2

$$\text{ЮВ: } r = 180^{\circ} - \alpha_{1-2} = 180^{\circ} - 129^{\circ} 47,6' = \text{ЮВ: } 50^{\circ} 12,4'.$$

7. Вычисляем приращения координат по формулам

$$\left. \begin{aligned} \Delta X &= S \cos r \\ \Delta Y &= S \sin r \end{aligned} \right\} \quad (4.9)$$

Полученные значения приращений записываем в соответствующую графу ведомости вычисления координат с округлением до сотых долей метра. Там же указываем знаки приращений координат, определенные по названию румба из табл. 1.9. При вычислении приращений координат удобно пользоваться специальными таблицами или микрокалькуляторами.

8. Увязываем приращения координат. Для этого вычисляем невязки приращений координат по осям абсцисс и ординат:

$$\left. \begin{aligned} f_X &= \sum \Delta X - \sum \Delta X_T \\ f_Y &= \sum \Delta Y - \sum \Delta Y_T \end{aligned} \right\}, \quad (4.10)$$

где $\sum \Delta X$ и $\sum \Delta Y$ – вычисленные (практические) суммы приращений координат для всех сторон хода;

$\sum \Delta X_T$ и $\sum \Delta Y_T$ – теоретические суммы приращений координат.

Для разомкнутых ходов

$$\left. \begin{aligned} \sum \Delta X_T &= X_K - X_H \\ \sum \Delta Y_T &= Y_K - Y_H \end{aligned} \right\}, \quad (4.11)$$

где X_K, Y_K, X_H, Y_H – соответственно координаты конечной и начальной точек хода.

Для нашего примера начальной является точка B , конечной – точка C , поэтому $\sum \Delta X_T = X_C - X_B$, $\sum \Delta Y_T = Y_C - Y_B$. Числовые значения указанных величин, а также $\sum \Delta X$, $\sum \Delta Y$ и невязок f_X , f_Y приведены в табл. 4.2.

Вычисляем абсолютную линейную невязку хода по формуле

$$f_S = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2} \quad (4.12)$$

и длину хода $\sum S$, а по ним – относительную невязку теодолитного хода:

$$\frac{f_S}{\sum S} = \frac{1}{P}, \quad (4.13)$$

где $P = \frac{\sum S}{f_S}$.

Относительная невязка должна удовлетворять следующему неравенству:

$$\frac{1}{P} \leq \frac{1}{2000}. \quad (4.14)$$

Для нашего примера результаты вычислений по формулам (4.12)–(4.14) приведены в табл. 4.2.

Очевидно, что

$$\frac{1}{4300} < \frac{1}{2000}.$$

Выполнение неравенства (4.14) позволяет заключить, что все линейные и угловые измерения проведены качественно и можно приступить к вычислению поправок в приращения координат. Значения ΣS , $\Sigma \Delta X$, $\Sigma \Delta Y$, $\Sigma \Delta X_T$, $\Sigma \Delta Y_T$, f_X , f_Y , f_S , $\frac{f_S}{\Sigma S}$ записываем в ведомость вычисления координат (табл. 4.2).

Допустимые невязки f_X и f_Y приращений координат распределяем пропорционально длинам сторон хода. При этом поправки в приращения с округлением до сотых долей метра вычисляем по формулам

$$\begin{aligned} V_{\Delta X_i} &= -\frac{f_X}{\Sigma S} S_i; \\ V_{\Delta Y_i} &= -\frac{f_Y}{\Sigma S} S_i, \end{aligned} \quad (4.15)$$

где S_i – длина стороны, в приращения которой вычисляются поправки.

Например, в данном случае $\Sigma S = 2278,22$ м, а длина стороны между пунктами B и 1 равна $458,22$ м. Учитывая правила действий с приближенными числами, округляем эти значения до 2280 и 460 . Тогда поправки в приращения координат стороны $B-1$ хода будут равны:

$$V_{\Delta X_1} = \frac{-f_X}{\Sigma S} S_1 = \frac{(-0,50)}{2280} \cdot 460 = -0,10 \text{ м};$$

$$V_{\Delta Y_1} = \frac{-f_Y}{\Sigma S} S_1 = \frac{(+0,19)}{2280} \cdot 460 = +0,04 \text{ м}.$$

Поправки записываем в ведомость (табл. 4.2) над вычисленными приращениями и выполняем контроль: суммы поправок приращений координат по осям координат должны равняться невязкам приращений f_X и f_Y с обратным знаком.

В нашем примере по оси абсцисс

$$\sum V_{\Delta X} = (-0,10) + (-0,16) + (-0,14) + (-0,10) = -0,50 \text{ м.}$$

9. Вычисляем исправленные приращения координат по следующим формулам:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X'_i &= \Delta X_i + V_{\Delta X_i} \\ \Delta Y'_i &= \Delta Y_i + V_{\Delta Y_i} \end{aligned} \right\} \quad (4.16)$$

Например, исправленные приращения координат стороны B-1 хода будут равны:

$$\left. \begin{aligned} \Delta X'_1 &= +274,95 - 0,10 = +274,85 \\ \Delta Y'_1 &= +366,56 + 0,04 = +366,60 \end{aligned} \right\}.$$

10. Вычисляем координаты точек 1, 2 и т. д.

$$X_1 = 5037,90 + 274,85 = 5312,75 \text{ м;}$$

$$Y_1 = 4579,89 + 366,60 = 4946,49 \text{ м;}$$

$$X_2 = 5312,75 + (-457,80) = 4854,95 \text{ м;}$$

$$Y_2 = 4946,49 + 549,47 = 5495,96 \text{ м.}$$

Контролем правильности вычислений координат точек хода является получение координат конечной (исходной) точки C по координатам последней определяемой точки. В нашем примере

$$\left. \begin{aligned} X_C &= X_3 + \Delta X'_3 = 5312,75 + (-0,05) = 5312,70 \text{ м} \\ Y_C &= Y_3 + \Delta Y'_3 = 5953,71 + 458,14 = 6411,85 \text{ м} \end{aligned} \right\}.$$

Вычисленные координаты точек теодолитного хода записываем в соответствующую графу ведомости вычисления координат (табл. 4.2). В результате решения задачи каждый студент должен представить:

а) схему хода в масштабе 1:10 000, построенную по координатам исходных пунктов, измеренным углам и линиям, на которой следует указать исходные дирекционные углы, длины линий, углы;

б) пояснительную записку с кратким описанием хода работ, основными формулами и примерами расчета;

в) ведомость вычисления координат точек разомкнутого теодолитного хода (см. табл. 4.2).

Лабораторная работа 5. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ПО КВАДРАТАМ

Цель работы – ознакомиться с методикой обработки полевых материалов и составлением топографических планов по результатам нивелирования поверхности.

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.

Нивелированием поверхности называют топографическую съемку местности с применением геометрического нивелирования для съемки рельефа. В результате получают топографический план с изображением контуров ситуации и рельефа.

В зависимости от способа определения планового положения снимаемых контуров и нивелируемых точек различают способы нивелирования поверхности – по квадратам, параллельным линиям, магистральям и полярный.

Нивелирование поверхности выполняют в масштабах 1:500, 1:1 000, 1:2 000 или 1:5 000. Планы составляют на бумажном носителе, а также в цифровой форме, используемой в системах автоматизированного проектирования (САПР).

Планово-высотное съемочное обоснование на участке съемки может создаваться теодолитным и ходами. Высотные координаты пунктов съемочного обоснования определяют нивелированием IV класса и техническим. Электронные тахеометры позволяют строить планово-высотное съемочное обоснование более эффективными методами.

Нивелирование по квадратам применяют на свободной от застройки и зарослей, достаточно ровной местности. Получаемые этим способом планы наиболее точны для инженерных расчетов по вертикальной планировке территории для определения соответствующих объемов земляных масс (земляных работ).

Нивелирование поверхности по квадратам обычно выполняется на относительно небольшом участке местности для создания плана в масштабе 1:500. Большие участки разбиваются на квадраты с размерами сторон 100 или 200 м. Для каждой из вершин квадратов определяют высоту. Для отображения рельефа с большей детальностью каждый большой квадрат разбивают на более мелкие со сторонами 10, 20 м. И выполняется нивелирование малых квадратов в границах большого, исходными пунктами служат вершины большого квадрата.

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

Номер варианта и высоты точки A (репера) выдается каждому студенту преподавателем по вариантам из табл. 5.1.

Таблица 5.1. **Высоты точки A**

№ варианта	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

5.1. Порядок обработки полевых измерений

В рассматриваемом примере нивелирование выполнено с одной станции, на которой отсчеты взяты по черным сторонам реек. Значения отсчетов по черной стороне рейки на всех вершинах приведены на схеме. Порядок записи соответствует последовательности перехода реечника по вершинам квадратов в процессе нивелирования.

Перед началом обработки результатов полевых измерений следует выписать на схему сети из табл. 5.1 высоту точки A для своего варианта. Схема привязки к реперу для определения горизонта прибора представлена на рис. 5.1. Горизонт прибора вычисляется по формуле

$$ГП = H_A + ч_A \quad (5.1)$$

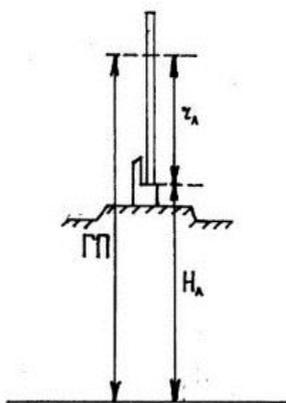


Рис. 5.1. Привязка к реперу

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 выполнять по формуле

$$H_i = \text{ГП} - \text{ч}_i. \quad (5.2)$$

где ч_i – отсчет по черной стороне рейки на пикете i .

Пример вычисления представлен на рис. 5.2.

5.2. 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.

$H_A = 201,900$

$Ч_A = 0832$

5	202,441	6	201,858	15	201,281	16	200,783	24	200,122	26	200,141
	291		874		1451		1949		2610		2591
4	202,01	7	201,481	14	200,848	17	200,581	25	200,459	27	199,814
	722		1251		1884		2151		2273		2918
					ГП = 202,732						
3	201,662	8	201,099	13	200,613	18	200,344	23	200,481	28	200,302
	1070		1633		2119		2388		2251		2430
2	201,303	9	200,803	12	201,051	19	201,357	22	201,611	29	200,941
	1429		1,929		1681		1375		1121		1791
1	201,098	10	201,651	11	202,051	20	202,252	21	202,454	30	201,523
	1634		1,081		681		480		278		1209

Рис. 5.2. Полевая схема нивелирования поверхности с результатами обработки

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. 5.3, 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

$$S_1 = S_{1-2} \frac{h_1}{H_2 - H_1}; \quad S_0 = S_{1-2} \frac{h_0}{H_2 - H_1}; \quad S_2 = S_{1-2} \frac{h_2}{H_2 - H_1}. \quad (5.3)$$

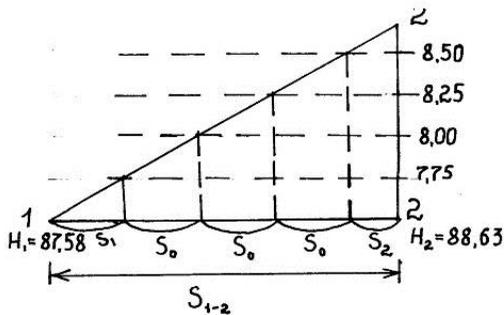


Рис. 5.3. Положение горизонталей при аналитическом расчете

Контроль вычислений состоит в следующем:

$$S_1 + nS_0 + S_2 = S_{1-2}. \quad (5.4)$$

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

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

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

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. 5.3 пояснена на рис. 5.4. и 5.5.

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

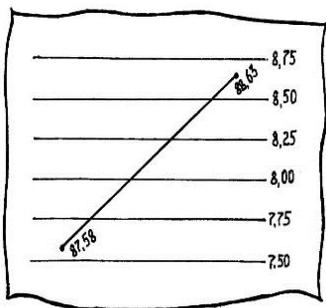


Рис. 5.4. Графическое интерполирование с помощью палетки из параллельных линий, нанесенных на восковку

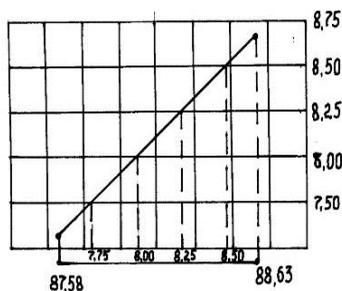


Рис. 5.5. Графическое интерполирование, с использованием миллиметровой бумаги

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 (рис. 5.6). Вверху над планом написать «Топографический план участка»; внизу посередине – «Масштаб 1:500», строчкой ниже – «Высота сечения ре-

льефа горизонталями 0,25 м»; внизу справа указать фамилию и инициалы студента, а также факультет, курс, группу и дату выполнения работы.

В результате выполнения расчетно-графической 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.

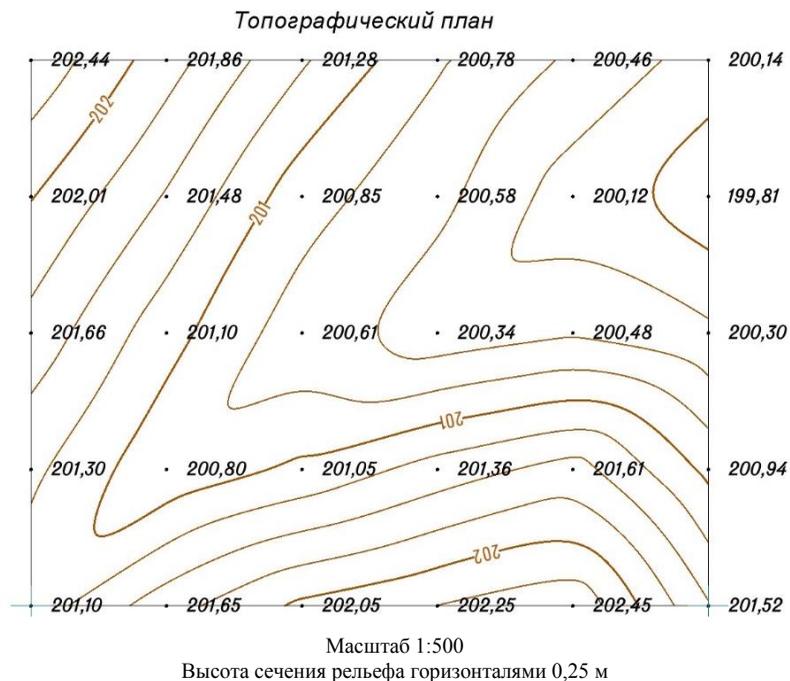


Рис. 5.6. Образец плана

Лабораторная работа 6.

КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА

Цель работы – по данным геодезических измерений и полевого абриса составить план тахеометрической съемки в масштабе 1:2 000 с сечением рельефа через 1 м.

Перед выполнением лабораторной работы студенты должны освоить основные теоретические положения, которые изложены в источниках [1, 3]. Особое внимание следует уделить вопросам обработки материалов тахеометрической съемки: вычислениям горизонтальных расстояний и превышений точек местности.

Лабораторная работа включает два задания: обработку результатов полевых измерений тахеометрической съемки; составление и оформление плана тахеометрической съемки. В заданиях приведены указания по их выполнению и соответствующие примеры.

Каждый студент сдает выполненную лабораторную работу на проверку преподавателю в недельный срок после ее завершения. Приемка работ по тахеометрической съемке осуществляется преподавателем в два приема: проверяется правильность вычислительной обработки, а также качество графического оформления и точность изображения на плане ситуации и рельефа местности.

6.1. Краткие сведения о полевых работах

Тахеометрическая съемка участка выполнена по точкам съемочного обоснования в соответствии с требованиями инструкции по ее проведению [2]. При этом плановое и высотное съемочное обоснование создавалось путем проложения разомкнутого теодолитного хода и геометрическим нивелированием станций. Координаты станций представлены в табл. 6.1.

Таблица 6.1. Каталог координат и высот станций теодолитного хода

Название пункта съемочной сети	Координаты, м		Высота точки, м
	X	Y	
Станция 4	3936,12	8890,22	44,27
Станция 5	4170,18	8812,15	54,43

До начала измерений на станциях произвели рекогносцировку местности с целью определения контурных и высотных точек (пикетов), при этом речные точки на местности не закреплялись.

Горизонтальные и вертикальные углы измерялись теодолитом 2Т30 одним полным приемом, а расстояния определялись по нитяному дальномеру с использованием нивелирных реек. Результаты измерений фиксировались в журнале тахеометрической съемки табл. 6.2.

При съемке ситуации и рельефа максимальное расстояние до контурных точек не превышало 200 м, до пикетных – 250 м, что соответствует требованиям действующей инструкции по производству топографической съемки [2].

Одновременно со съемкой велся абрис (схематический чертеж), на котором отмечались все точки визирования (опорные пункты и линии, с которых производилась съемка), положение снимаемых элементов ситуации (местных предметов, контуров и т. д.) с пояснительными надписями (пашня, луг, дорога и т. д.). Абрис составлялся от руки в достаточно крупном произвольном масштабе и велся карандашом на плотной бумаге с соблюдением действующих условных знаков (рис. 6.1).

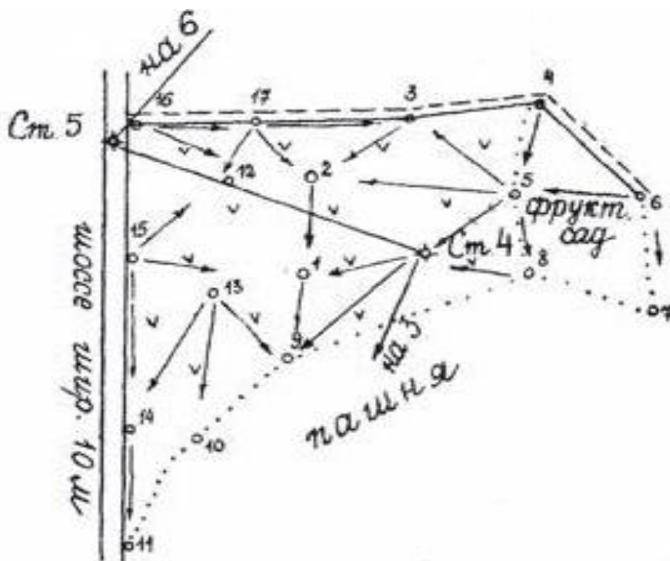


Рис. 6.1. Абрис тахеометрической съемки

Таблица 6.2. Журнал тахеометрической съемки

Номер точек	Расстояние, взятое по рейке или лентой D , м	Отсчеты по кругу		Углы наклона v	Горизонтальное проложение S , м	Превышение			Отметки H , м	Высота наведения v , м
		Горизонтальный	Вертикальный			h'	$i - v$	h		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Станция ст4 $i = 1,37$ $MO = 0^\circ 01'$ $H_{ст} = 44,27$ Круг лево (КЛ)										
ст5	250	0° 00'	–	–	–	–	–	–	–	1,37
1	42,6	0° 00'	359° 37'	+0° 24'	42,6	+0,29	0	+0,29	44,56	1,37
2	95,0	24° 55'	359° 18'	+0° 43'	95,0	+1,19	0	+1,19	45,46	1,37
3	143,5	43° 00'	358° 45'	+1° 16'	143,4	+3,16	0	+3,16	47,43	1,37
4	146,0	57° 55'	358° 21'	+1° 40'	146,0	+4,24	0	+4,24	48,51	1,37
5	71,5	73° 45'	357° 26'	+2° 35'	71,4	+3,22	0	+3,22	47,49	1,37
6	148,2	98° 45'	355° 52'	+4° 09'	147,4	+10,7	0	+10,7	54,97	1,37
7	122,7	145° 00'	358° 57'	+1° 04'	122,6	+2,28	0	+2,28	46,55	1,37
8	47,0	162° 05'	358° 37'	+1° 24'	47,0	+1,15	0	+1,15	45,42	1,37
9	56,0	254° 15'	0° 55'	–0° 54'	56,0	–0,88	0	–0,88	43,39	1,37
10	98,4	286° 35'	359° 43'	+0° 18'	98,4	+0,51	0	+0,51	44,78	1,37
11	149,0	286° 35'	358° 36'	+1° 25'	148,9	+3,68	0	+3,68	47,95	1,37
Станция ст5 $i = 1,50$ $MO = 0^\circ 01'$ $H_{ст} = 54,43$ Круг лево (КЛ)										
ст4	251	–	–	–	–	–	–	–	–	1,50
12	93,0	0° 00'	04° 08'	–04° 07'	92,5	–6,66	0	–6,66	47,77	1,50
13	170,0	16° 10'	02° 02'	–02° 01'	169,8	–5,98	0	–5,98	48,45	1,50
14	170,0	32° 40'	02° 52'	–02° 51'	169,5	–8,44	0	–8,44	45,99	1,50
15	91,5	28° 00'	02° 20'	–02° 19'	91,3	–3,70	0	–3,70	50,73	1,50
16	19,0	341° 30'	04° 27'	–04° 26'	18,9	–1,46	0	–1,46	52,97	1,50
17	98,0	327° 30'	03° 11'	–03° 10'	97,5	–5,41	0	–5,41	49,02	1,50

Таблица 6.3. Отсчеты по вертикальному кругу на пикетные точки по вариантам

№ варианта	Пикеты					
	4	5	6	8	14	15
	о ,	о ,	о ,	о ,	о ,	о ,
1	358 21	357 26	355 52	358 37	2 52	2,20
2	358 16	357 21	355 47	358 32	2 56	2 15
3	358 02	357 07	355 33	358 18	3 10	2 28
4	358 11	357 16	355 42	358 27	3 01	2 20
5	358 20	357 25	355 51	358 36	2 52	2 11
6	358 15	357 20	355 46	358 31	2 57	2 16
7	357 59	357 04	355 30	358 15	3 13	2 32
8	358 08	357 13	355 39	358 24	3 04	2 23
9	357 55	357 00	355 26	358 11	3 17	2 36
10	358 03	357 08	355 24	358 19	3 09	2 28
11	358 14	357 19	355 45	358 30	2 58	2 17
12	358 09	357 14	355 40	358 25	3 03	2 22
13	358 00	357 05	355 31	358 16	3 12	2 31
14	358 12	357 07	355 43	358 18	3 00	2 19
15	358 09	357 23	355 49	358 34	2 54	2 13
16	358 06	357 25	355 24	358 37	2 52	2 11
17	358 03	357 27	355 26	358 32	2 56	2 13
18	358 25	357 29	355 30	358 18	3 10	2 15
19	358 28	357 31	355 31	358 27	3 01	2 16
20	357 31	357 33	355 33	358 36	2 52	2 17
21	357 34	357 35	355 39	358 31	2 57	2 19
22	357 36	357 37	355 40	358 15	3 13	2 20
23	357 38	357 39	355 42	358 24	3 04	2 20
24	357 41	356 59	355 43	358 11	3 17	2 22
25	357 43	356 57	355 45	358 19	3 09	2 23
26	357 45	356 54	355 46	358 30	2 58	2 28
27	357 48	356 51	355 47	358 25	3 03	2 28
28	357 51	356 48	355 49	358 16	3 12	2 31
29	358 00	356 45	355 51	358 18	3 00	2 32
30	357 29	356 42	355 52	358 34	2 54	2 36

6.2. Обработка журнала тахеометрической съемки

Обработка журнала в данной лабораторной работе заключается в вычислении высот пикетных точек. Для этого следует переписать в графу 4 журнала тахеометрической съемки (табл. 6.2) отсчеты по вертикальному кругу на пикетные точки, которые представлены по вариантам в табл. 6.3. При этом варианты задания распределяет преподаватель.

Так как съемку пикетных точек выполняют теодолитом ТТ30 при положении вертикального круга – КЛ, то углы наклона визирного луча (вертикальные углы) вычисляют по формуле

$$v = MO - КЛ. \quad (6.1)$$

Однако при вычислении к отсчетам, близким к $360^\circ 00'$, всегда следует прибавить 360° . Например, на станции 4 место нуля (МО) равно $0^\circ 01'$, следовательно, углы наклона для пикетных точек 1 и 9 равны:

$$\begin{aligned} v_1 &= (0^\circ 01' + 360^\circ) - 359^\circ 37' = +0^\circ 24'; \\ v_9 &= 0^\circ 01' - 0^\circ 55' = 0^\circ 54'. \end{aligned}$$

Как видно из приведенного примера, в первом случае к месту нуля прибавлено 360° , так как отсчет при круге лево находится в последней четверти делений вертикального круга. В остальных случаях, в частности как показано на примере пикета 9 (табл. 6.2), величина 360° к МО не прибавляется. Тем не менее в большинстве вычислений углы наклона на пикетные точки со станций вычисляются по формуле (6.1), так как отсчеты по вертикальному кругу на них взяты при КЛ. Вычисленные значения углов наклона записывают в графу 5 журнала тахеометрической съемки (табл. 6.2).

Горизонтальное проложение S между точками тригонометрического нивелирования определяется по формуле

$$S = D \cos v = D' \cos^2 v, \quad (6.2)$$

где D' – расстояние, взятое по нивелирной рейке.

При этом если $v > 2^\circ$, то горизонтальное проложение линии вычисляется как $S = D \cos^2 v$, если $v < 2^\circ$, тогда $S = D$. Например, $S_5 = D_5 \cos v_5 = 71,50 \cos 2^\circ 35' = 71,35$ м. Результат вычислений вносится в графу 6 журнала тахеометрической съемки напротив соответствующей пикетной точки.

Превышения пикетных точек относительно станций 4 и 5 тахеометрического хода вычисляют в соответствии с формулой тригонометрического нивелирования:

$$h = h' + i - v; \quad (6.3)$$

$$h' = \frac{1}{2} D' \sin 2v, \quad (6.4)$$

где D' – расстояние, взятое по нивелирной рейке;

v – угол наклона;
 i – высота прибора;
 v – отсчет по рейке, на которую наводилась зрительная труба теодолита.

При вычислении h' следует помнить, что знак этой величины соответствует знаку угла наклона. Поправки в превышения за десятые доли метра в дальномерном расстоянии всегда увеличивают абсолютную величину h' . Записывают вычисленную величину h' в графу 7 журнала тахеометрической съемки. Далее находят значение $i - v$. В данном случае оно равно нулю, так как при съемке пикетных точек $i = v$. Поэтому в графу 8 для всех пикетов двух станций вписываем ноль. При этом окончательное значение h находим по формуле (6.3), суммируя данные в графах 7 и 8. Однако следует учесть, что при съемке этих точек $i = v$, поэтому в данном вычислении значение $h = h'$. Результат вычислений величины h вписывают в графу 9 (табл. 6.2).

Высоты пикетных точек находятся по правилу: к высоте станции алгебраически прибавляется превышение пикетной точки над этой станцией. Как следствие, это правило контролируется формулой

$$H_i = H_{\text{ст}} + h_i, \quad (6.5)$$

где i – номер пикетной точки;

$H_{\text{ст}}$ – высота станции;

h_i – превышение со станции на пикетную точку.

Например, следуя этому правилу, высота пикетных точек 1 и 9 (табл. 6.2) будет равна:

$$H_1 = H_{\text{ст4}} + h_1 = 44,27 + 0,29 = 44,56 \text{ м};$$

$$H_9 = H_{\text{ст4}} + h_9 = 44,27 - 0,88 = 43,39 \text{ м}.$$

Вычисленные высоты пикетных точек вписывают в графу 10 журнала тахеометрической съемки (табл. 6.2).

6.3. Составление плана тахеометрической съемки

Составление плана начинают с построения координатной сетки. При этом координатную сетку строят одним из способов: линейкой Дробышева или способом диагоналей. При контроле построения сетки измерителем определяют расхождения в длине сторон и диагоналей квадратов, которые не должны превышать 0,2 мм. Координатную сет-

ку подписывают соответственно значениям координат пунктов точек съемочного обоснования так, чтобы план размещался в центре листа.

Далее наносят по координатам точки съемочного обоснования. При этом каждую точку съемочного обоснования следует наколоть измерителем, обвести кружочком диаметром 1 мм, справа от кружочка провести черту, на которой сверху подписать номер станции и высоту этой точки над уровнем моря. При этом нанесение пары точек контролируется измерением расстояния между ними, значение которого не должно отличаться от записанного в журнале тахеометрической съемки более чем на 0,3 мм.

Накладку пикетных точек на план производят полярным способом с помощью тахеографа или геодезического транспорта и масштабной линейки. Для нанесения пикетов используют журнал тахеометрической съемки и полевой абрис. Например, для нанесения пикетов на станции 4 центр кругового тахеографа или геодезического транспорта совмещают с точкой 4, а нулевое деление – с нулевым направлением станции 4 (на станцию 5). При этом на тахеографе или геодезическом транспорте по ходу часовой стрелки отмечаются направления на пикеты, взятые из графы 3 журнала тахеометрической съемки.

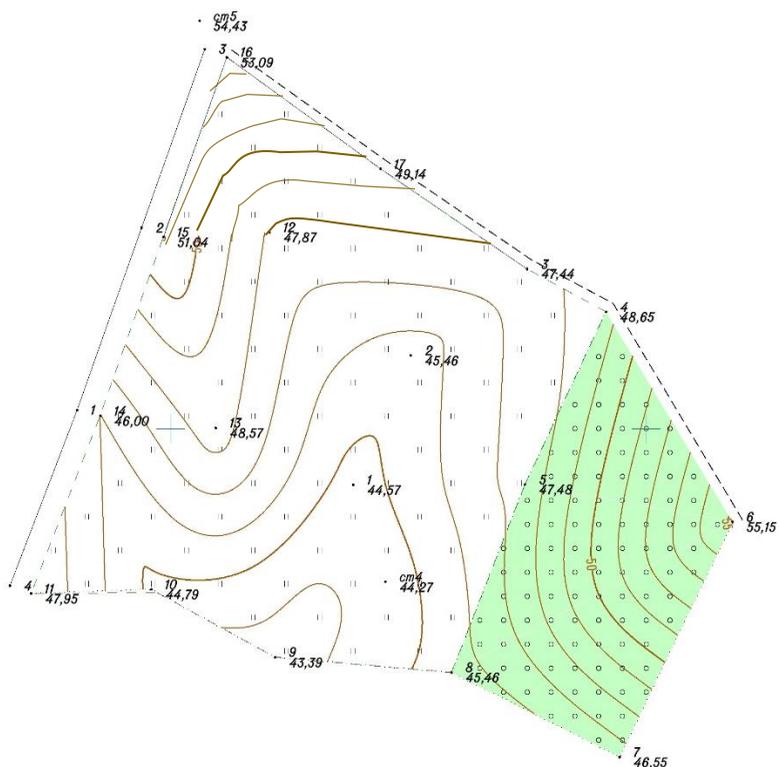
Затем вдоль направлений откладываются горизонтальные расстояния, взятые из графы 6, от станции до этих пикетов. Полученные точки накальваются измерителем и используются для изображения элементов ситуации в соответствии с полевым абрисом. Рядом с каждой пикетной точкой подписывается ее высота с округлением до 0,1 мм.

Рельеф на плане изображается горизонталями, которые интерполируют на глаз. При сложном рельефе горизонтали интерполируют при помощи палетки. Интерполирование горизонталей между точками с известными отметками выполняется через 1 м в соответствии с абрисом только по направлениям, указанным стрелками (см. рис. 6.1). Для графического интерполирования можно использовать палетку из параллельных линий, проведенных через 3 или 5 мм на кальке. Например, если наименьшая высота точки равна 48,59 м, то нижняя линия палетки будет иметь отметку 48,00 м.

Пример оформления плана представлен на рис. 6.2.

Внимание! *Через дороги, строения, овраги и реки горизонтали не проводятся.*

Топографический план



Масштаб 1:2000

Сечение рельефа горизонталями через 1 метр

Рис. 6.2. Пример оформления топографического плана

Высоты каждой из горизонталей подписываются через 5 м от самой меньшей отметки точки на плане, округленной до значения, кратно-го 5 м. Толщина горизонталей должна находиться в пределах 0,1–0,15 мм. Горизонталы, кратные пяти сечениям рельефа, утолщают-

ся до 0,3 мм. В разрыве горизонталей подписываются их высоты, располагая цифры основанием к понижению рельефа. Бергштрихами длиной 1 мм указывают направления ската. В тех случаях, когда формы рельефа не могут быть достаточно четко выражены горизонталями, дополнительно проводятся полугоризонтالي.

Элементы ситуации наносятся в заданном масштабе согласно полемому абрису тахеометрической съемки (см. рис. 6.1). По данным полевого абриса на плане отображаются общегеографические и специальные условные знаки: шоссе, полевая дорога, границы контуров угодий, объекты местности и т. д.

Проверенный и откорректированный план вычерчивается тушью в соответствии с действующими условными знаками [5]. При этом необходимо, чтобы вычерчивание имело достаточно высокое качество и не искажало более чем на 0,1 мм нанесенные карандашом контуры.

Сверху плана размещается надпись «План тахеометрической съемки» (шрифт – рубленый полужирный высотой 10 мм). Внизу по середине записываются: масштаб 1:2 000 (шрифт – рубленый остовный высотой 3–4 мм) и высота сечения рельефа через 1 м (шрифт – рубленый остовный высотой 2–3 мм). Внизу с правой стороны плана размещается штамп, на котором указываются все данные исполнителя тахеометрической съемки.

Лабораторная работа 7. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ

Цель работы – выполнить проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ.

Задачей вертикальной планировки является преобразование существующей поверхности для нужд обустройства сельских территорий и гидромелиорации. При этом такое преобразование выполняется как горизонтальными, так и наклонными оформляющими плоскостями. Полученные навыки по проектированию плоскостей студенты будут использовать при выполнении работ по проектированию площадок горизонтальных и наклонных (для обеспечения стока вод), а также по проектированию засыпки и раскрытия замкнутых понижений и общей планировки поверхности сельскохозяйственных земель. В соответствии с этим каждому студенту выдается задание.

При выполнении настоящего задания необходимо пользоваться учебниками [1, с. 312–316; 2, с. 184–189].

Устный зачет по заданию принимается по мере представления графических и расчетных материалов, список которых приведен в конце настоящих методических указаний.

Исходные данные: топографический план нивелирования поверхности участка по квадратам в масштабе 1:500 со стороной квадрата, равной 20 м, полученный при выполнении лабораторной работы 5¹ (рис. 7.1).

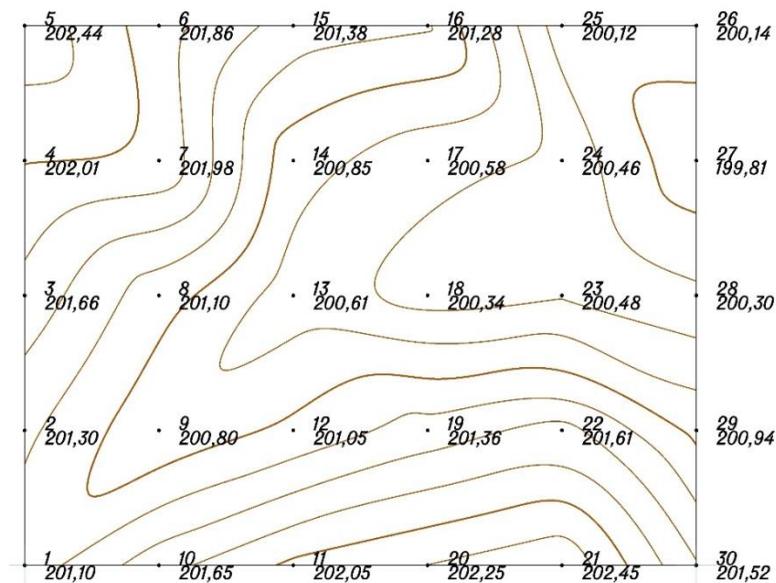


Рис. 7.1. Топографический план участка

7.1. Выполнение работы

1. Вычислить условные отметки h вершин квадратов по формуле

$$h = H_{\phi} - H, \quad (7.1)$$

¹ Объяснение хода выполнения работы проведено на основе измененного плана из лабораторной работы 5.

где H_{ϕ} – физические отметки вершин квадратов;
 H – наименьшая из фактических отметок вершин квадратов,
 округленная до дециметра. В нашем примере $H = 199,80$ м.
 Числовые значения условных отметок показаны на рис. 7.2.

	2,64	2,06	1,58	1,48	0,32	0,34
	2,21	2,18	1,05	0,78	0,66	0,01
	1,86	1,30	0,81	0,54	0,68	0,00
	1,50	1,00	1,25	1,56	1,81	1,14
	1,30	1,85	2,25	2,45	2,65	1,72

Рис. 7.2. Условные отметки вершин квадратов

2. Вычислить проектную отметку горизонтальной плоскости по формуле

$$H_{\text{пр}} = H + \frac{\sum h_1 + 2\sum h_2 + 3\sum h_3 + 4\sum h_4}{4 \cdot n}, \quad (7.2)$$

где $\sum h_1$ – сумма условных отметок вершин, принадлежащих только одному квадрату;

$\sum h_2, \sum h_3, \sum h_4$ – сумма условных отметок вершин, общих для двух, трех и четырех смежных квадратов соответственно;

n – число квадратов.

Для участка, изображенного на рис. 7.1, проектная отметка горизонтальной плоскости

$$\begin{aligned}
 H_{\text{пр}} &= 199,80 + \frac{(1,30 + 2,64 + 0,34 + 1,72)}{4 \cdot 20} + \\
 &+ \frac{2(1,50 + 1,86 + 2,21 + 2,06 + \dots + 1,85)}{4 \cdot 20} + \\
 &+ \frac{4(1,00 + 1,30 + 2,18 + 1,05 + \dots + 1,81)}{4 \cdot 20} = 201,09 \text{ (м)}.
 \end{aligned}$$

3. Пользуясь величиной $H_{\text{пр}}$ и значениями фактических отметок вершин квадратов, определить рабочие отметки r как разности между проектной и фактическими отметками:

$$r = H_{\text{пр}} - H_{\text{ф}}. \quad (7.3)$$

Числовые значения рабочих отметок для нашего примера показаны на картограмме земляных работ (рис. 7.3) у соответствующих вершин квадратов.

4. Для вычисления объемов земляных работ (объемов выемки и насыпи) целесообразно составить картограмму земляных работ (рис. 7.3).

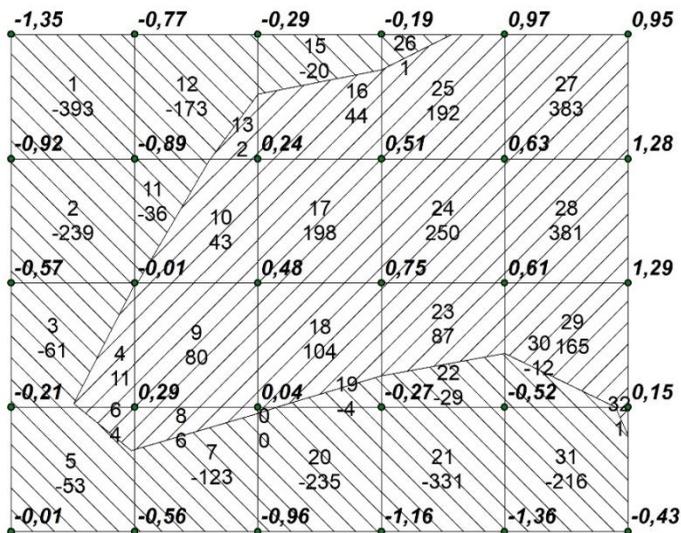


Рис. 7.3. Картограмма земляных работ

На картограмме определяют положение линии нулевых работ (линии пересечения проектной плоскости с топографической поверхностью участка).

Для этого предварительно находят положение точек нулевых работ на сторонах квадратов, вершины которых имеют рабочие отметки с противоположными знаками.

Положение точек нулевых работ на сторонах квадратов определяется величиной отрезка l по формуле

$$l = \frac{|r_1| \cdot a}{|r_1| + |r_2|}, \quad (7.4)$$

где r_1 и r_2 – абсолютные значения рабочих отметок двух соседних вершин квадрата;

a – сторона квадрата.

Например, положение точки нулевых работ на стороне квадрата 16–25 (см. рис. 7.1) будет определено, если от вершины 16 к вершине 25 отложить отрезок

$$l = \frac{0,19 \cdot 20}{0,19 + 0,97} = 3,28 \text{ м.}$$

Аналогично находят положение точек нулевых работ на других сторонах квадратов. Соединив все смежные точки нулевых работ, получают положение линии нулевых работ. На картограмме земляных работ она показана пунктирной линией.

Положение точки нулевых работ может быть также определено путем графических построений, которые выполняют на сторонах сетки квадратов. Для этого рабочие отметки откладывают на перпендикулярах к сторонам квадратов в одном и том же произвольном масштабе. Длину отрезков l_1 и l_2 получают с точностью масштаба плана.

Порядок построения на стороне квадрата 16–25 для определения положения точки нулевых работ показан на рис. 7.4.

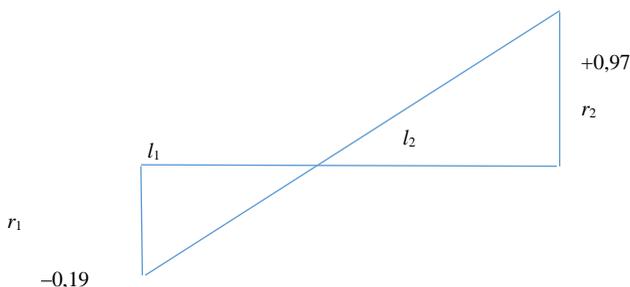


Рис. 7.4. Определение точки нулевых работ

5. Вычислить объемы земляных работ отдельно для выемки и насыпи. В целых квадратах, не пересекаемых линией нулевых работ, объем земляных работ подсчитывают по формуле

$$V_4 = \frac{\sum r_i}{4} a^2, \quad (7.5)$$

где $i = 1, 2, \dots, 4$.

Квадраты пересекаемых линией нулевых работ (переходные квадраты), предварительно расчленяют на элементарные фигуры (чаще всего треугольники).

Объем земляного тела, основанием которого служит треугольник, вычисляют по формуле

$$V_3 = \frac{\sum r_i}{3} P, \quad (7.6)$$

где $i = 1, 2, 3$;

P – площадь треугольника.

В случае, если основанием земляного тела служит пятиугольник, то объем такого тела можно вычислить по формуле

$$V_5 = V_4 - V_3. \quad (7.7)$$

Результаты вычисления объемов выемки и насыпи для нашего примера приведена в табл. 7.1.

Таблица 7.1. **Ведомость вычисления объемов земляных работ**

Номер фигуры	Площади фигур, м ²	Средняя рабочая отметка, м	Объем земляного тела, м ³	Объем земляных работ, м ³	
				насыпь (+)	выемка (-)
1	400	0,9825	–		–393
2	400	–0,5975	–	5,2	–239
...					

Далее для оценки баланса земляных работ вычисляют сумму объемов выемки и насыпи для всех квадратов и определяют баланс земляных работ по формуле

$$k = \frac{|V_n - V_v|}{|V_n + V_v|} \cdot 100, \quad (7.8)$$

где V_n – объем насыпи;

V_v – объем выемки.

При этом отличие баланса земляных работ от нулевого значения допускается не более 3 % от общего объема земляных работ.

После вычислительной обработки на плане (рис. 7.3) вычерчивается картограмма земляных работ с нанесением всех проектных значений и линий. Внизу посередине указывают масштаб 1:500 (шрифт – рубленый остовный высотой 3–4 мм). Вверху подписывают название «Картограмма земляных работ» (шрифт – рубленый остовный высотой 10 мм).

Лабораторная работа 8. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ТРАССЫ ЛИНЕЙНОГО СООРУЖЕНИЯ

Цель работы – ознакомиться с методикой камеральной обработки полевых материалов, полученных при продольном нивелировании.

Задание состоит из двух частей и заключается в следующем:

1. В журнале продольного нивелирования необходимо вычислить высоты всех пронивелированных точек и выполнить контроль вычислений.

2. На основании данных обработанного журнала построить продольный профиль канала и поперечник; на профиль нанести проектную линию, вычислить рабочие отметки и определить расстояния до точек нулевых работ.

8.1. Исходные данные

При продольном нивелировании линейного сооружения разбивают пикетаж через равные промежутки (100 м), отмечают на характерных перегибах ската плюсовые точки (их не нумеруют, а указывают расстояния до них от заднего пикета). На крутых ровных склонах с большими превышениями, когда невозможно определить превышение между соседними пикетами с одной станции, берут дополнительные связующие точки, расстояния до которых не определяют и на профиль их не наносят, – «иксовые» точки.

По пикетным точкам прокладывают нивелирный ход. При двухсторонних рейках каждую пару соседних пикетных точек нивелируют по способу «из середины» по двум сторонам реек.

Плюсовые точки нивелируют только по рабочей стороне рейки. Все отсчеты по рейкам, полученные во время нивелирования, записывают в соответствующие графы полевого журнала, составленного по определенной форме (табл. 8.1). На рис. 8.1 показана схема расположения нивелира и реек при нивелировании некоторой части хода, а ниже приведен полевой журнал применительно к этой схеме.

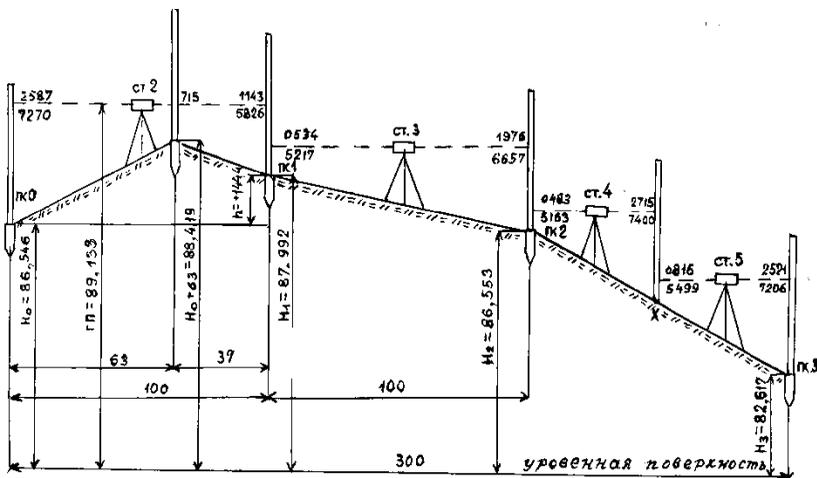


Рис. 8.1. Продольное нивелирование трассы

Таблица 8.1. Журнал геометрического нивелирования
трассы канала

№ станции	№ пикета	Отсчеты по рейкам		
		задний	передний	промежуточный
1	Реп.1	0839		
	ПК0	5638	2159 6958	
2	ПК0	1983		
	НК	6783	2014 6814	
	Л + 2,0			0781
	Л + 20,0			0733
	ПР + 2,0			0763
	ПР + 20,0			0463
3	НК	1157		
	ПК1	5958	1176 5977	
4	ПК1	1483		
	КК	6283	1496 6296	
5	КК	1501		
	ПК2	6300	1538 6337	
6	ПК2	1489		
	ПК3	6289	1539 6339	
	ПК2 + 50			0494
7	ПК3	1843		
	Реп.2	6283	1593 6393	

Вариант с высотами исходных реперов Rp1 и Rp2 и румб линии ПК0-БУ № 1 выдаются преподавателем из табл. 8.2.

Т а б л и ц а 8.2. **Исходные данные по вариантам**

№ варианта	Румб линии ПК0-ВУ № 1	<i>H</i> Реп.1	<i>H</i> Реп.2	№ варианта	Румб линии ПК0-ВУ № 1	<i>H</i> Реп.1	<i>H</i> Реп.2
1	СВ : 14 28	58,790	57,582	16	ЮВ : 15 10	52,84	51,600
2	СВ : 32 17	63,140	61,907	17	ЮЗ : 35 11	74,19	72,990
3	СВ : 48 50	55,900	54,693	18	ЮЗ : 20 05	52,71	51,469
4	СЗ : 10 24	67,25	66,016	19	ЮВ : 14 15	52,95	51,751
5	СЗ : 63 52	53,16	51,954	20	СЗ : 50 13	62,15	60,908
6	ЮВ : 28 14	64,93	63,695	21	СЗ : 53 40	40,83	39,632
7	ЮВ : 74 30	70,58	69,375	22	СВ : 42 40	43,26	42,017
8	ЮЗ : 18 43	48,68	47,444	23	СВ : 68 18	62,35	61,153
9	ЮЗ : 36 14	47,76	46,556	24	СЗ : 85 14	54,62	53,376
10	ЮЗ : 49 50	60,81	59,573	25	СЗ : 37 50	68,02	66,824
11	СЗ : 82 12	67,52	66,317	26	СВ : 24 30	54,53	53,300
12	СЗ : 19 41	46,89	45,652	27	СВ : 52 17	45,83	44,620
13	СВ : 60 04	68,55	67,348	28	ЮВ : 34 10	71,91	70,679
14	СВ : 70 08	70,92	69,681	29	СЗ : 63 40	37,89	36,681
15	ЮВ : 62 21	67,80	66,599	30	СЗ : 72 13	47,84	46,611

8.2. Обработка журнала нивелирования

Конечной целью обработки нивелирного журнала является получение высот всех пронивелированных точек. Журнал продольного нивелирования обрабатывают в такой последовательности.

1. *Вычисление превышений между связующими точками (пикетными и иксовыми).* Так как пикетные точки нивелировались по способу «из середины», то превышение между ними вычисляют по формуле

$$h = a - в, \quad (8.1)$$

где *h* – превышение;

a – отсчет на заднюю рейку;

в – отсчет на переднюю рейку.

Полученные результаты записывают в графу 6. В приведенном примере (табл. 8.3) на ст. 1 превышение между Рр1 и ПК0 по отсчетам, взятым по рабочим сторонам реек,

$$h = 2451 - 1172 = +1279 \text{ (мм)},$$

а по отсчетам, взятым по дополнительным сторонам реек, –

$$h = 7134 - 5852 = +1282 \text{ (мм)}.$$

Т а б л и ц а 8.3. Журнал технического нивелирования

Номера станции	Номера пикетов реперов и промежуточных точек	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм		Горизонт нивелира, м	Отметки земли, м
		задние	передние	промежуточные	вычисленные	средние		
1	Rp1 ПК0	2451 7134	1172 5852		+1279 +1282	+2,5 +1280,5 +1283		85,264 86,547
	ПК0	2587 7270					89,134	86,547
2	+63 ПК1		1143 5826	715	+1444 +1444	+2 +1444 +1446	89,136 89,136	88,420 87,993
3	ПК1	534 5217	1976 6657	2842 1675 1067 2814	-1442 -1440	+2 -1441 -1439	88,527 88,528 88,53	87,993
	ПК2							86,554
	ПР 12 ПР 20 ЛВ 6 ЛВ 20							85,686 86,853 87,461 85,714
4	ПК2 X	483 5163	2715 7400		-2232 -2237	+2,5 -2234,5 -2232		86,554 84,322
5	X ПК3	816 5499	2521 7206		-1705 -1707	+2 -1706 -1704		84,322 82,618
6	ПК3	2884 7566	811 5492		+2073 +2074	+2,5 +2073,5 +2076		82,618
	Rp2							84,694
	Σ	47604	48771	Σ Σ	+9596 -10763	+4798 -5381,5		

$$\text{Контроль: } \frac{47604 - 48771}{2} = -583,5; \quad \sum h_{\text{выч}} = 9596 - 10763 = -1167;$$

$$\sum h_{\text{теор}} = H_{\text{к}} - H_{\text{н}} = 84,694 - 85,264 = -0,570 \text{ м} = -570 \text{ мм};$$

$$\text{невязка } f_h = -583,5 - (-570) = -13 \text{ мм}.$$

Расхождение в полученных превышениях, определенных по рабочей и дополнительной сторонам реек, допускается не более 5 мм. Так как в нашем примере это расхождение ($1282 - 1279 = 3$ мм) получилось допустимым, то из этих значений вычисляют среднее арифметическое и записывают его в графу 7.

В том случае, если задний отсчет меньше переднего, превышение получается отрицательное.

Таким способом вычисляют превышения между пикетными точками на всех станциях.

В рассматриваемом примере ПК2 и ПК3 нельзя было пронивелировать с одной станции «из середины», так как превышение между ними больше длины рейки (рис. 8.2).

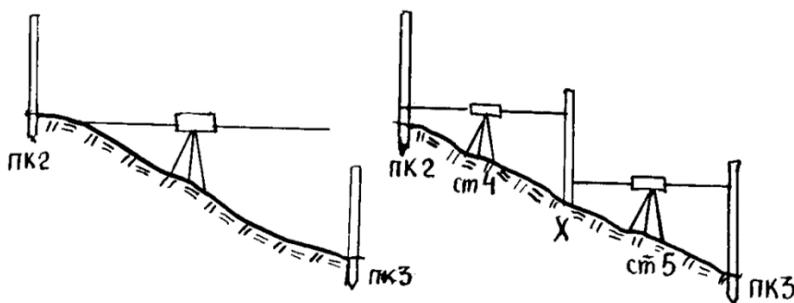


Рис. 8.2. Нивелирование на крутом склоне

В таких случаях пикет нивелируют по частям, используя иксовые точки. Между ПК2 и ПК3 была взята точка, называемая X . Станция 4 взята между ПК2 и X , а станция 5 между X и ПК3. В процессе обработки журнала отметку иксовой точки вычисляют так же, как и пикетной. Если в этом случае между пикетными точками есть плюсовая точка, то ее нивелируют, как пикетную, вместо иксовой.

2. *Постраничный контроль вычисления превышений.* Для выполнения постраничного контроля необходимо:

- найти сумму всех задних отсчетов $\sum a$, т. е. сложить все отсчеты в графе 3 на каждой странице;
- найти сумму всех передних отсчетов $\sum b$, т. е. сложить все отсчеты в графе 4 на каждой странице;
- вычислить разность между суммами $\sum a - \sum b$;

г) сложить все превышения отдельно в графах 6 и 7 и найти алгебраическую сумму средних превышений.

Сущность контроля заключается в следующем: разность между суммой всех задних отсчетов на данной странице журнала и суммой всех передних отсчетов должна быть равна удвоенной алгебраической сумме всех средних превышений или алгебраической сумме превышений в графе 6.

В нашем примере

$$\frac{\sum a - \sum b}{2} = \frac{47604 - 48771}{2} = -583,5;$$

$$\sum h_{cp} = +4798 - 5381,5 = -583,5.$$

Следовательно, превышения между связующими точками вычислены правильно. Контролируется каждая страница, поэтому такой контроль называют постраничным.

3. *Вычисление невязки в превышениях и ее распределение.* Полученная алгебраическая сумма всех средних превышений теоретически должна быть равна разности высот конечного и начального реперов. Практически же вследствие ошибок в измерениях получается невязка, которая подсчитывается по формуле

$$f_h = \sum h_{cp} - (H_k - H_n). \quad (8.2)$$

Невязка равна разности между алгебраической суммой средних превышений и разностью высот конечного и начального реперов. В разбираемом примере

$$f_h = -583,5 - (84,694 - 85,264) = -13,5 \text{ (мм)}.$$

Допустимость невязки проверяют по формуле

$$\text{пред.} f_h = 30 \text{ мм} \sqrt{l}, \quad (8.3)$$

где l – число километров нивелирного хода.

В нашем примере $l = 0,5$ и допустимая невязка равна:

$$\text{пред.} f_h = 30 \text{ мм} \sqrt{0,5} = \pm 21 \text{ (мм)}.$$

Полученная невязка, равная 13,5 мм, меньше предельной, равной 21 мм, следовательно, ее можно распределять. Невязку распределяют по возможности равными долями по всем превышениям, округляя до целых миллиметров. Сумма всех поправок должна быть равна величине невязки, взятой с обратным знаком.

Полученные поправки подписывают над каждым средним превышением со знаком, обратным знаку невязки. Для получения исправленных (увязанных) превышений к вычисленным превышениям алгебраически прибавляют поправки.

4. *Вычисление высот связующих точек.* Высоты связующих точек вычисляют последовательно от известной высоты начального репера по формуле

$$H_0 = H_n + h_{n-0}, \quad (8.4)$$

$$H_0 = 85,264 + 1,283 = 85,547 \text{ м};$$

высота ПК1 –

$$H_1 = H_0 + h_{0-1},$$

$$H_1 = 85,547 + 1,446 = 87,993 \text{ (м)};$$

отметка ПК2 –

$$H_2 = H_1 + h_{1-2},$$

$$H_2 = 87,993 - 1,439 = 86,554 \text{ (м)};$$

высота точки X –

$$H_x = H_2 + h_{2-x},$$

$$H_x = 86,554 - 2,232 = 84,322 \text{ (м)};$$

высота ПК3 –

$$H_3 = H_x + h_{x-3},$$

$$H_3 = 84,322 - 1,704 = 82,618 \text{ (м)}.$$

Следует помнить, что высоты записывают в метрах, а вычисленные в журнале превышения получают в миллиметрах, поэтому при вычислении высот превышения необходимо выражать в метрах.

Контролем правильности вычисления высот связующих точек является получение точного значения H_{Rp2} , вычисленного по исправленным превышениям.

5. *Вычисление высот промежуточных точек.* Высоты этих точек определяют через горизонт нивелира.

Горизонтом нивелира (прибора) называют высоту луча визирования над уровненной поверхностью или отметку луча визирования.

На рис. 8.3 видно, что горизонт нивелира равен:

$$ГН = H_a + a, \quad ГН = H_e + e, \quad (8.5)$$

где H_a – высота задней связующей точки;

a – отсчет по рейке на задней связующей точке, взятый по рабочей стороне;

H_e – высота передней связующей точки;

e – отсчет по рейке на этой точке, взятый по рабочей стороне.

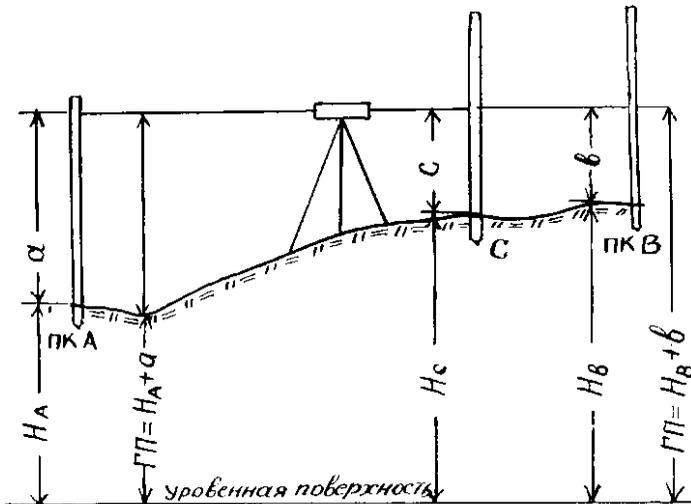


Рис. 8.3. Определение высот промежуточных точек через горизонт нивелира

Отметка плюсовой точки H_c равна:

$$H_c = \text{ГН} - c, \quad (8.6)$$

где c – отсчет по рейке на данную плюсовую точку.

Так как промежуточные точки нивелируют только по рабочей стороне рейки, то для вычисления горизонта нивелира на станции используют отсчеты, взятые по рабочей стороне реек.

Графу 8 журнала заполняют только для тех станций, с которых нивелировались промежуточные точки. На станции 2 горизонт нивелира равен:

$$\text{ГН}_2 = 86,547 + 2,587 = 89,134 \text{ (м);}$$

$$\text{ГН}_2 = 87,993 + 1,143 = 89,136 \text{ (м).}$$

Полученные значения ГН не должны отличаться больше, чем на 10 мм (для вычисления промежуточных точек можно взять любые значения ГН из двух вычисленных или среднее значение из двух). В примере взято среднее значение ГН.

Высота плюсовой точки ПК0 + 63 определена как разность между этим горизонтом и отсчетом по рейке на плюсовую точку, т. е.

$$H_{\text{ПК0} + 63} = 89,135 - 0,715 = 88,420 \text{ (м).}$$

Также вычисляют отметки всех остальных плюсовых точек.

Чтобы выяснить характер рельефа местности, прилегающей к оси нивелирного хода, нивелируют поперечники. Точки поперечников нивелируют так же, как и плюсовые точки, – один раз по рабочей стороне реек.

В разбираемом примере поперечник был разбит на ПК2 и пронивелирован со станции 3. Перпендикулярно оси нивелирного хода на пикете 2 была разбита линия (рис. 8.4). На ней в характерных местах рельефа были намечены точки, расстояния до которых от ПК2 измерены рулеткой. После того, как со станции 3 были пронивелированы ПК1 и ПК2, были сделаны отсчеты по рейкам на точки поперечника, которые записаны в графу нивелирного журнала. На точку, расположенную вправо от оси нивелирного хода на 12 м (Пр 12), был получен отсчет 2842 (см. нивелирный журнал), на точку вправо от оси на 20 м (Пр 20) – 1675, на точку, расположенную влево на 6 м (Лв 6), – 1067 и влево на 20 м (Лв 20) – 2814.

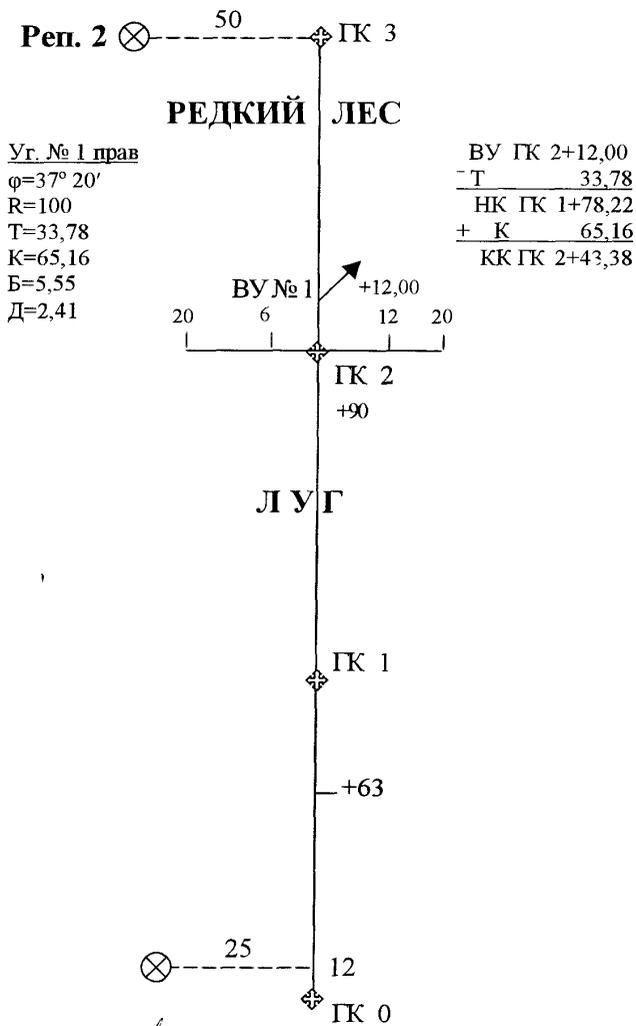


Рис. 8.4. Пикетажный журнал

Горизонт нивелира на этой станции равен:

$$ГН_3 = 87,993 + 0,534 = 88,527 \text{ (м)}$$

$$\Gamma H_3 = 86,554 + 1,976 = 88,530 \text{ (м);}$$

$$\Gamma П_{\text{ср}} = 88,528;$$

высота точки ПР 12 –

$$88,528 - 2,842 = 85,686 \text{ (м);}$$

высота точки ПР 20 –

$$88,528 - 1,675 = 86,853 \text{ (м);}$$

высота точки ЛВ 6 –

$$88,528 - 1,067 = 87,461 \text{ (м);}$$

высота точки ЛВ 20 –

$$88,528 - 2,814 = 85,714 \text{ (м).}$$

6. *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. 8.5), по измеренному углу поворота φ и назначенному радиусу кривой R с помощью специальных таблиц или на микрокалькуляторе по формулам (8.7)–(8.10) определяют ее элементы: тангенс T , кривую K , биссектрису B и домер D .

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}; \quad (8.7)$$

$$K = R \frac{\pi \varphi}{180^\circ}; \quad (8.8)$$

$$B = R \left(\sec \frac{\varphi}{2} - 1 \right); \quad (8.9)$$

$$D = 2T - K. \quad (8.10)$$

В рассматриваемом примере $\varphi = 37^\circ 20'$ и $R = 100$ м. В таблицах находим величины T , K , D , B для угла $\varphi = 37^\circ 20'$ и $R = 1000$ м. Так как заданный радиус кривой равен 100 м, а не 1000 м, то все табличные значения надо уменьшить в 10 раз. Таким образом, для $\varphi = 37^\circ 20'$ и $R = 100$ м получаем: $T = 33,78$ м; $K = 65,16$ м; $B = 5,55$ м; $D = 2,41$ м.

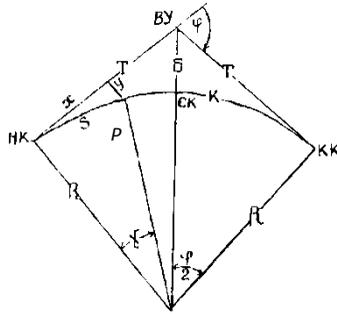


Рис. 8.5. Круговая кривая

При разбивке пикетажа пикеты, оказавшиеся на тангенсах (на рис. 8.5 точка P'), 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 или вычисляются по формулам

$$X = R \sin \gamma; \quad (8.11)$$

$$Y = 2R \sin^2 \frac{\gamma}{2}. \quad (8.12)$$

Величина угла γ , в свою очередь, определяется по формуле

$$\gamma = 180^\circ \frac{S}{\pi R}, \quad (8.13)$$

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

8.3. Построение продольного профиля

После вычисления отметок всех пронивелированных точек приступают к построению продольного профиля и поперечников.

Профиль строят на миллиметровой бумаге, на которой все размеры откладывают без измерителя. Для построения профиля надо в принятом масштабе отложить все горизонтальные расстояния между пронивелированными точками, а в вертикальном направлении – все отметки этих точек в масштабе для вертикальных линий.

Масштабы для горизонтальных линий, в зависимости от вида профиля, будут следующие: 1:1 000, 1:2 000, 1:5 000, 1:10 000.

Масштабы для вертикальных линий обычно принимают в 10 раз крупнее масштаба для горизонтальных линий, благодаря чему профиль принимает большую наглядность.

Профиль строят в следующем порядке.

Вычерчивают карандашом профильную сетку. Профильная сетка состоит из ряда горизонтальных линий и имеет различные графы. Для данной работы рекомендуется расположение граф и их размеры взять согласно рис. 8.6.

Уклоны проект. линии	1 см	
Проектные отметки	11,5 см	
Отметки земли	1,5 см	
Расстояния	1 см	
Пикеты	1 см	
Длины прямых и кривые	2 см	
План	2 см	

Рис. 8.6. Профильная сетка

Верхнюю линию профильной сетки (т. е. верхнюю линию графы «Уклоны проектной линии») следует совместить с одной из утолщенных линий на миллиметровой бумаге, а нижняя линия графы сетки должна отстоять от нижнего края линии на 4–5 см.

В графе «Расстояния» откладывают в принятом масштабе для горизонтальных линий расстояния между пикетными точками. В масштабе 1:2 000 стометровые расстояния между соседними пикетами будут изображены отрезками в 5 см. В промежутках между пикетами наносят в том же масштабе плюсовые точки и подписывают расстояния между ними и соседними пикетными точками. Иксовые точки на профиль не наносят. Затем под этой графой подписывают номера пикетов. В графу «Отметки земли» записывают из журнала вычисленные отметки пикетных и плюсовых точек с округлением их до сотых долей

метра. Например, если вычисленная по журналу отметка ПК0 равна 86,547, то на профиле против ПК0 нужно подписать 86,55.

Для того чтобы профиль на бумаге не получился по высоте чрезмерно большим, принимают линию AB (рис. 8.7), являющуюся верхней границей графа, за условный горизонт. Отметку условного горизонта обычно назначают в целых десятках метров, несколько меньше самой низкой точки на профиле (на 4–8 м).

Отметки всех точек откладывают от линии условного горизонта на вертикалях, проведенных через эти точки, в выбранном масштабе вертикальных линий. Соединив по линейке полученные точки, получают профиль трассы.

Например, отметка ПК0 равна 86,55 м, отметка условного горизонта – 80 м, следовательно, ПК0 должен быть расположен выше линии условного горизонта на $86,55 - 80 = 6,55$ м, т. е. в принятом масштабе 1:200 надо отложить от условного горизонта 3,28 см, или 3 см и 2,8 мм.

План местности наносят по пикетажной книжке в принятом для данного профиля масштабе для горизонтальных линий в соответствующей графе профильной сетки.

Для заполнения графы «Длины прямых и кривые» нужно найти положение начала и конца кривой.

Если трасса повернула влево, то выпуклость кривой направлена вниз, и наоборот. Внутри кривой столбиком выписывают значения Т, К, Д, Б.

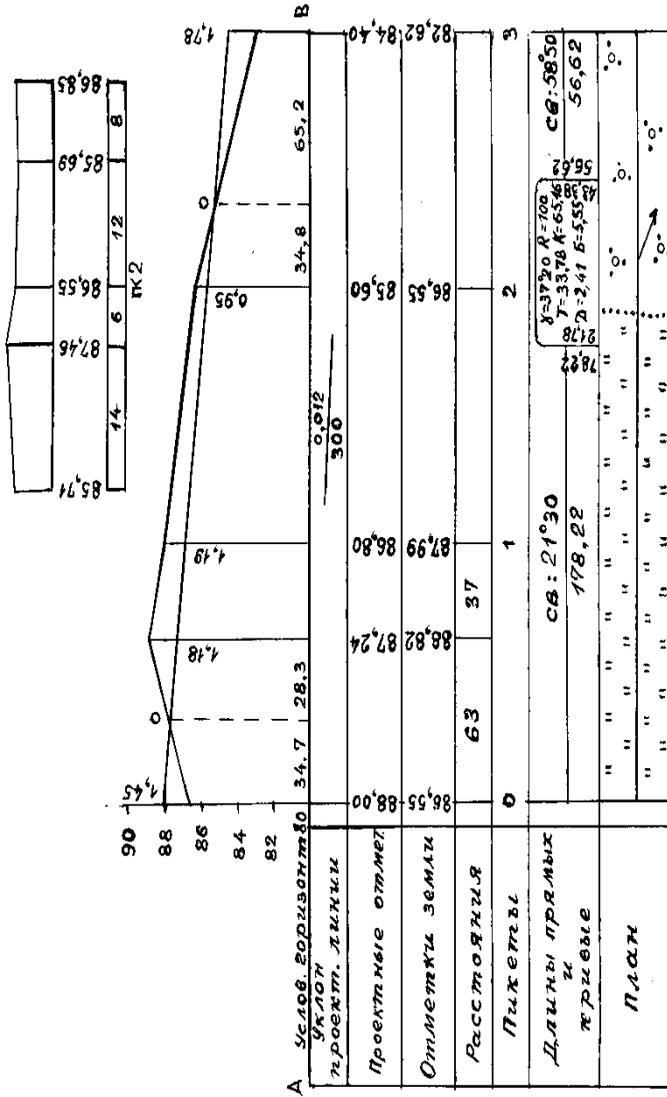
По расстояниям до начала и конца кривых вычисляют и подписывают длины прямых вставок между кривыми (рис. 8.8).

Для этого делают следующие подсчеты:

- выписывают расстояние до угла поворота $ПК2 + 12,00$;
- вычитают тангенс $T - 33,78$;
- получают расстояние до начала кривой $НК - ПК1 + 78,22$;
- прибавляют длину кривой $K + 65,16$;
- получают расстояние до конца кривой $КК = ПК2 + 43,38$.

Прямые отрезки между концом и началом кривых наносят в принятом для профиля масштабе горизонтальных линий. Их длины подписывают, как показано на рис. 8.7. Румб начального направления выбирается из табл. 8.2. Румб следующего прямого отрезка рассчитывается по углу поворота. Например, при угле поворота $\varphi = 37^\circ 20'$ вправо для различно ориентированных начальных направлений, с угловой величиной $21^\circ 30'$ румб второй прямой рассчитывается следующим образом (рис. 8.8):

Профиль трассы дороги



Масштабы: горизонтальный 1:2 000,
 вертикальный 1:2 000,
 поперечный 1:500

Рис. 8.7. Образец профиля трассы

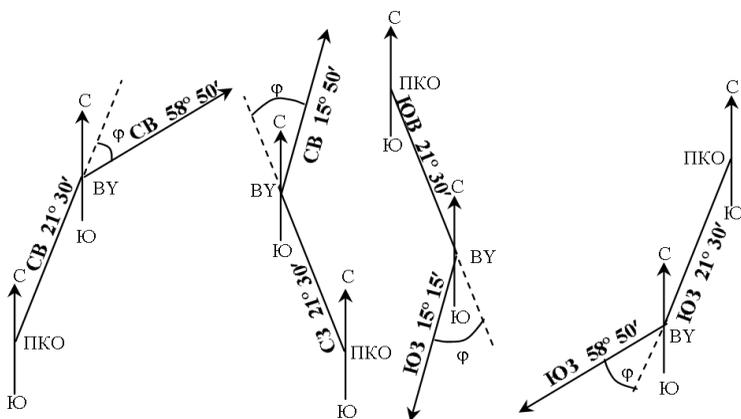


Рис. 8.8. Ориентирование прямых отрезков трассы

$CB\ 21^\circ 30' + 37^\circ 20' \rightarrow CB\ 58^\circ 50'$;

$CЗ\ 21^\circ 30' + 37^\circ 20' \rightarrow CB\ 15^\circ 50'$;

$ЮВ\ 21^\circ 30' + 37^\circ 20' \rightarrow ЮЗ\ 150^\circ 50'$;

$ЮЗ\ 21^\circ 30' + 37^\circ 20' \rightarrow ЮЗ\ 58^\circ 50'$.

После заполнения этих граф на профиль наносят проектную линию строящегося сооружения. Для этого необходимо вычислить и подписать ее отметки в каждой из нанесенных на профиль точек в соответствующей графе профильной сетки. Исходными данными для вычисления проектных отметок являются: заданная проектная отметка начальной точки, проектируемые уклоны и длины участков проектной линии.

Уклон линии равен тангенсу угла наклона этой линии или, как видно из рис. 8.9, уклон есть отношение превышения к горизонтальному положению линии или

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{d},$$

где i – продольный уклон линии AB ;

ν – угол наклона линии AB к горизонту;

h – превышение между точками A и B ;

d – горизонтальное положение линии AB .

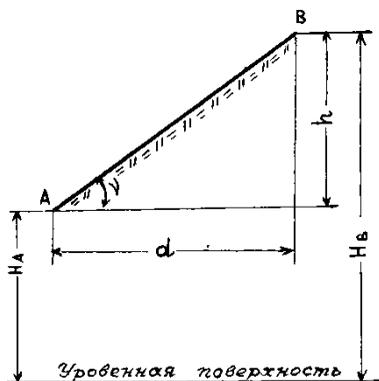


Рис. 8.9. Вычисление отметок проектной линии

Если известен уклон i и горизонтальное проложение d , то превышение между точками A и B

$$h = i \cdot d.$$

Следовательно, если отметка точки A известна, то отметку точки B вычисляют так:

$$H_B = H_A \pm h \text{ или } H_B = H_A \pm i \cdot d.$$

Проектная отметка следующей точки равна проектной отметке данной точки плюс или минус произведение проектного уклона на горизонтальное проложение линии между этими точками. Знак плюс берут в случае, если проектная линия идет с подъемом, а знак минус, если она имеет спуск.

В основу выбора уклонов отдельных участков проектной линии и ее начальной отметки должны быть положены следующие соображения: 1) проектная линия должна быть проведена так, чтобы объем земляных работ был минимальным; 2) количество земляных работ по выемкам и по насыпям должно быть по возможности одинаковым, чтобы землю из выемок можно было использовать для насыпей; 3) уклоны, выбранные для проектной линии, должны быть в пределах величин, рекомендуемых техническими условиями для данного сооружения.

В данной работе уклоны проектной линии и начальная отметка намечаются по заданию. Заданные уклоны выписывают на профиле в графу «Уклоны проектной линии». В этой графе число, стоящее над

чертой, выражает уклон, а число под чертой показывает длину участка, на котором проектная линия проходит под указанным уклоном. Наклон черты, разделяющей эти два числа, указывает на подъем или спуск проектной линии на данном участке.

В рассматриваемом примере проектная линия от ПК0 на участке в 300 м имеет спуск с уклоном 0,012; исходная проектная отметка нулевого пикета была принята 88,00 м.

Проектные отметки пикетных и плюсовых точек вычислены следующим образом:

$$H_{\text{ПК0+63}} = H_{\text{ПК0}} - i \cdot d = 88,00 - 0,012 \cdot 63 = 87,24 \text{ (м)};$$

$$H_{\text{ПК1}} = 88,00 - 0,012 \cdot 100 = 86,80 \text{ (м)};$$

$$H_{\text{ПК2}} = 86,80 - 0,012 \cdot 100 = 85,60 \text{ (м)};$$

$$H_{\text{ПК3}} = 85,60 - 0,012 \cdot 100 = 84,40 \text{ (м)}.$$

Вычисленные отметки подписывают на профиле в графе «Проектные отметки» против соответствующих им точек.

Отметки проектной линии откладывают от условного горизонта в принятом масштабе так же, как и отметки земли. Для окончательного проведения проектной линии нет необходимости откладывать все подписанные на профиле отметки, достаточно отложить только те, которые расположены в точках изменения уклонов. Соединив по линейке точки, получают проектную линию.

Высоты насыпей и глубины выемок на данных точках профиля называют рабочими отметками.

Рабочие отметки вычисляют как разность между проектной отметкой и отметкой земли одной и той же точки.

Рабочие отметки выписывают около проектной линии на вертикалях соответствующих им точек: в случае насыпи – над проектной линией, а в случае выемки – под проектной линией.

В рассматриваемом примере высота насыпи на ПК0 получилась равной $88,00 - 86,55 = 1,45$ м, а глубина выемки на ПК0 + 63 равна $88,42 - 87,24 = 1,18$ м.

Точками нулевых работ на профиле называют такие, в которых проектная линия пересекает земную поверхность, т. е. в которых рабочие отметки равны нулю.

Знание точного положения точек нулевых работ на профиле имеет большое значение при строительстве сооружения и при подсчете объемов земляных работ, а поэтому его определяют аналитически.

Расстояние от точки нулевых работ до ближайшей предыдущей точки, нанесенной на профиле, определяется следующим образом.

Пусть требуется определить расстояние x от точки O до точки M , нанесенной на профиле (рис. 8.10).

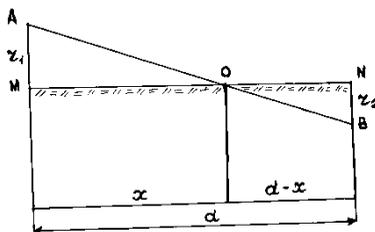


Рис. 8.10. Определение местоположения точек нулевых работ

Здесь AB – проектная линия;

MN – линия земной поверхности;

M и N – ближайшие точки на профиле, между которыми лежит искомая точка нулевых работ O ;

d – расстояние между точками M и N ;

r_1 и r_2 – рабочие отметки в точках M и N .

Из подобия треугольников AOM и BON имеем

$$\frac{d}{d-x} = \frac{r_1}{r_2}, \text{ откуда } d = \frac{d}{r_1+r_2} \cdot r_1, \quad d-x = \frac{d}{r_1+r_2} \cdot r_2.$$

Так, в приведенном примере расстояния от точки нулевых работ до ПК0 и ПК0 + 63

$$x = \frac{63}{1,45+1,18} \cdot 1,45 = 34,7 \text{ (м)};$$

$$d-x = \frac{63}{1,45+1,18} \cdot 1,18 = 28,3 \text{ (м)}.$$

На профиле над точкой нулевых работ выписывают зеленой тушью нуль. От этой точки вниз до условного горизонта проводят зеленую линию. В промежутках между этой линией и вертикалями ближайших точек профиля справа и слева зеленой тушью выписывают вычисленные расстояния x и $d-x$.

Поперечники вычерчивают так же, как и продольный профиль, по отметкам точек и расстояниям между ними, только масштабы для горизонтальных и вертикальных линий принимают одинаковыми.

Над точкой продольного профиля, на которой был взят данный поперечник, прочерчивают ось поперечника (см. рис. 8.7). Для построения поперечника берут упрощенную профильную сетку, состоящую только из граф «Отметки земли» и «Расстояния». От прочерченной оси поперечника откладывают в масштабе (в разбираемом примере от оси вправо отложены 12 и 20 м, а влево – 6 и 20 м) и подписывают расстояния между этими точками.

Над полученными точками подписывают их отметки, взятые из нивелирного журнала, и откладывают их в том же масштабе от принятого для поперечника условного горизонта.

Красной тушью вычерчивают проектную линию и надписывают ее уклоны, проектные и рабочие отметки. Точки нулевых работ, расстояния, указывающие их положение на профиле, надписывают зеленой или синей тушью. Все остальные вычерчивают черной тушью. Насыпи раскрашивают красной краской (или карандашом), а выемки – желтой. Внизу у продольного профиля и поперечников указывают масштабы.

Лабораторная работа 9. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПЕРЕНЕСЕНИИ ПРОЕКТА НА МЕСТНОСТЬ

Цель работы – приобрести практические навыки по подготовке геодезических данных и непосредственно перенесению на местность проектируемых объектов.

9.1. Подготовка геодезических данных для перенесения проекта на местность

Для выполнения данной части задания следует на плане, полученном по материалам тахеометрической съемки, на продолжении створа между пикетными точками 17 и 3 на удалении 5 м от точки 3 построить перпендикуляр 15 м в сторону от снятой территории и нанести на план точку *С*. Графически снять координаты построенной точки. Соединить точку *С* со станцией ст4. Построенная линия есть ось запроектированного канала. Координаты станций ст4 и ст5 взять из табл. 6.1. Перенесение проекта возможно разными способами. Выбор способа

зависит от имеющихся в наличии геодезических приборов и условий местности.

Подготовка данных выполняется графическим способом или аналитическим. В первом случае графически снимают с плана разбивочные элементы (углы и расстояния). Во втором координаты этих точек определяются по плану и считаются проектными. Например, для плана на рис. 9.1 проектные точки соответствуют значениям, приведенным в табл. 9.1.

Проектную точку C необходимо перенести на местность относительно точек съёмочного обоснования ст5 и ст4. При этом перенесение каждой из проектных точек (C) может быть выполнено из двух точек съёмочного обоснования следующими способами: угловой засечки, линейной, полярных координат и их комбинациями.

Проектные углы β и длины сторон S , необходимые для выноса оси инженерного сооружения на местность, находятся из решения обратных геодезических задач. При этом следует напомнить, что проектные углы β находятся по вычисленным дирекционным углам α . Пример решения обратной геодезической задачи приведен в табл. 9.2.

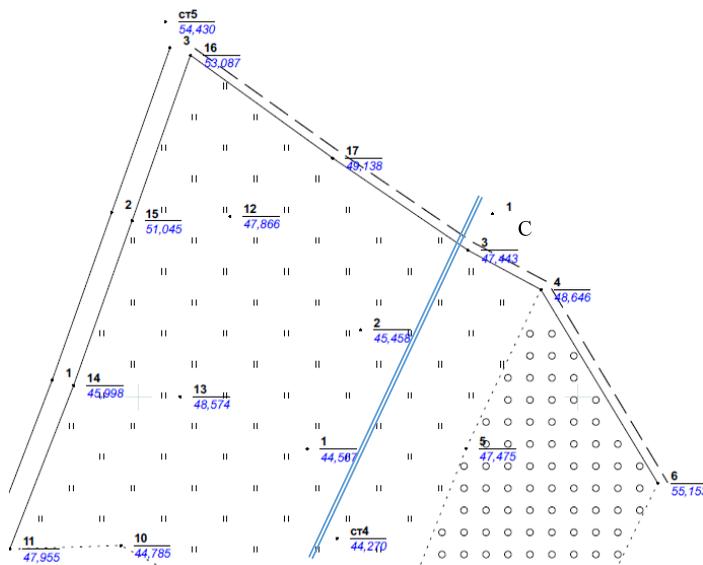


Рис. 9.1. Фрагмент плана теодолитной съёмки с нанесенной проектной осью

Таблица 9.1. Каталог координат проектных и исходных точек

Название проектных точек	X, м	Y, м
Станция 4	3936,12	8890,22
Станция 5	4170,18	8812,15
C	4083,16	8961,12

Таблица 9.2. Ведомость решения обратной геодезической задачи

№ п. п.	Формулы	Пункты		
		ст5-1 C-2	C-1 ст4-2	ст4-1 ст5-2
1	X_2	4083,16	3936,12	4170,18
2	X_1	4170,18	4083,16	3936,12
3	$\Delta X = X_2 - X_1$	-87,02	-147,04	234,06
4	Y_2	8961,12	8890,22	8812,15
5	Y_1	8812,15	8961,12	8890,22
6	$\Delta Y = Y_2 - Y_1$	148,97	-70,9	-78,07
7	$\operatorname{tg} r = \frac{\Delta Y}{\Delta X}$	-1,71191	0,48218	-0,33355
8	r	-59,709	25,742	-18,446
9	Четверть	ЮВ : П	ЮВ : П	СЗ : П
10	α	120,291	205,742	341,554
11	$S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$	172,52	163,24	246,74
Контроль				
12	$\cos r$	-0,50439	-0,90076	0,94862
13	$\sin r$	0,86347	-0,43432	-0,31641
14	$s = \frac{\Delta X}{\cos r}$	172,52	163,24	246,74
15	$s = \frac{\Delta Y}{\sin r}$	172,52	163,24	246,74

Из рис. 9.2 следует, что углы β можно найти по формулам:

$$\beta_1 = \alpha_{CT5-CT4} - \alpha_{CT5-C} = \alpha_{CT4-CT5} - 180^\circ - \alpha_{CT5-C};$$

$$\beta_2 = \alpha_{CT4-C} - \alpha_{CT4-CT5} = \alpha_{C-CT4} - 180^\circ - \alpha_{CT4-CT5}.$$

В нашем случае

$$\beta_1 = 341,554 - 180 - 120,291 = 41,263^\circ = 41^\circ 16';$$

$$\beta_2 = 205,742 - 180 - 341,554 = -315,812 + 360 = 44,188^\circ = 44^\circ 11'.$$

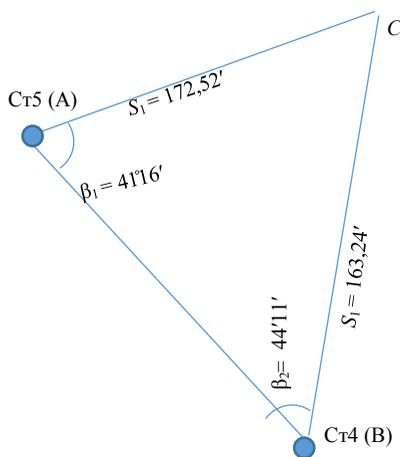


Рис. 9.2. Разбивочные элементы

Далее составляется схематичный чертеж выноса на местность проектных точек с обозначением на них необходимых проектных углов и расстояний.

9.2. Перенесение проектных точек на местность

Перенесение инженерного сооружения на местность производится следующими способами: угловой и линейной засечки, полярных координат.

Способ угловой засечки. Для выноса на местность проектной точки C вначале из точки A выносятся на местность проектный угол β_1 . Его направление на проектную точку C закрепляется точкой A_1 (рис. 9.3, а).

После этого выносятся на местность проектный угол β_2 с фиксацией его направления на проектную точку C точкой B_1 . Для определения местоположения проектной точки C реечник передвигается в створе линии AA_1 до пересечения его направления с линией BB_1 . В месте пересечения двух линий фиксируется проектная точка C .

Способ линейной засечки. В этом способе из точки A (рис. 9.3, б) радиусом S_1 прочерчивается на местности дуга. Такая же дуга прочерчивается радиусом S_2 из проектной точки B . В пересечении двух дуг

фиксируется проектная точка C . Способ применяется в тех случаях, когда S_1 и S_2 меньше длины мерной ленты или рулетки.

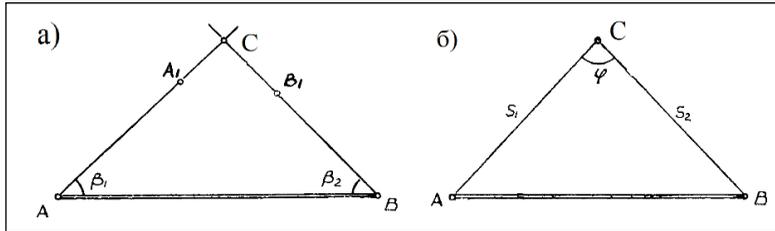


Рис. 9.3. Вынос на местность проектной точки C :
 a – способом угловой засечки; b – способом линейной засечки

Способ полярных координат. При этом способе для выноса на местность проектной точки C вначале откладывается проектный угол β (рис. 9.4) и вдоль его направления на проектную точку C откладывается проектное расстояние S , которым и фиксируется проектная точка C .

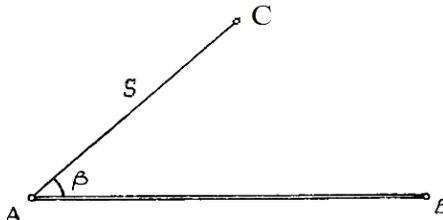


Рис. 9.4. Вынос на местность проектной точки C
 способом полярных координат

9.3. Перенос на местность проектной высоты

Перенос проектной высоты производится по закрепленным на местности в плановом положении проектным точкам B и C (рис. 9.2). По этим точкам выносятся проектный уклон линии BC , закрепленный кольшками через каждые 5 м. При этом соблюдается определенный порядок действий:

1. Перенос проектной высоты заключается в установлении отсчета b (рис. 9.5), вычисляемого по отсчету a на репер и по отметкам: репера $H_{\text{реп}}$ и проектной $H_{\text{пр}}$.

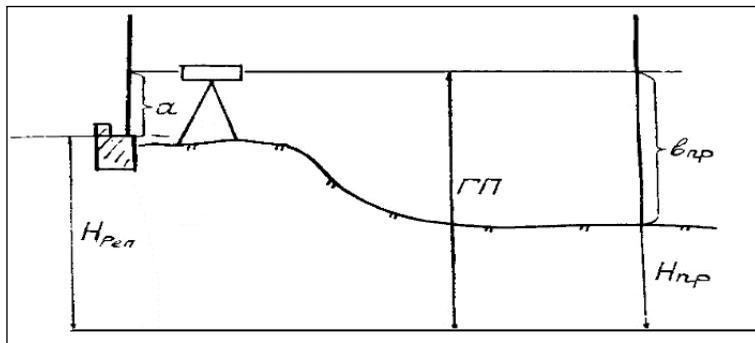


Рис. 9.5. Вынос на местность проектной отметки

2. Вычисление высоты проектной точки производится по формуле

$$b = ГП - H_{пр}, \quad (9.1)$$

где $ГП = H_{реп} + a$; при этом отсчет a – горизонт прибора.

Лабораторная работа 10. РАБОТА С АЭРОФОТОСНИМКОМ

Цель работы – изучить возможности применения аэрофотоснимков для решения геодезических задач.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Ознакомиться с центральной проекцией как геометрической основой аэрофотоснимка.
2. Определить масштаб аэрофотоснимка (АФС) по элементам ориентирования.
3. Определить масштаб АФС по базисам, измеренным на снимке и на топографической карте. Вычислить поправки за рельеф местности и ввести их согласно знакам превышений в измеренные базисы.
4. Выполнить стереоскопическое наблюдение снимков.

Для выполнения лабораторной работы используются топографическая карта масштаба 1:10 000 У-35-38-А-б-3 и гиостабилизированный аэрофотоснимок той же местности, измеритель, транспортир, масштабная линейка, карандаш, микрокалькулятор, стереоскоп.

10.1. Центральная проекция как геометрическая основа аэрофотоснимка

Под проекцией следует понимать изображение пространственных фигур на плоскости или какой-либо другой поверхности.

В ортогональной проекции все точки фигуры проектируются на горизонтальную плоскость по прямым линиям, перпендикулярным этой плоскости. Эти прямые линии являются в данном случае отвесными линиями.

Центральная проекция получается в результате проектирования всех точек фигуры на какую-либо плоскость или поверхность по прямым линиям, выходящим из определенной точки S , называемой центром проекции (рис. 10.1).

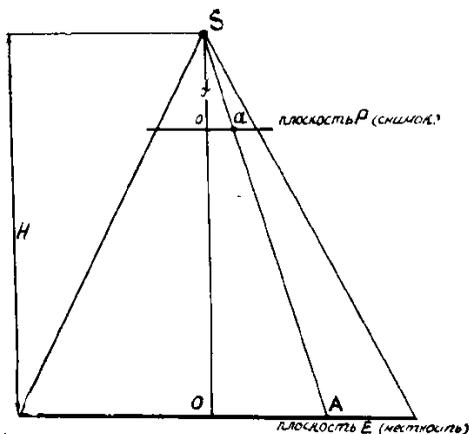


Рис. 10.1. Центральная проекция (горизонтальный аэрофотоснимок)

При центральном проектировании используются следующие основные плоскости, линии и точки:

E – горизонтальная плоскость, проходящая через какую-либо точку местности и называемая плоскостью основания. Ее еще называют предметной плоскостью;

P – картинная плоскость (аэрофотоснимок). На этой плоскости размещается центральная проекция объектов предметной плоскости;

SoO – главный луч;

$So-f$ – фокусное расстояние объектива фотокамеры;
 H – высота съемки – расстояние центра проекции относительно основания;

o – главная точка аэрофотоснимка;

O – проекция главной точки на предметную плоскость.

Различают перспективную ($\alpha > 3^\circ$) и плановую ($0 \leq \alpha \leq 3^\circ$) аэрофотосъемки.

Когда $\alpha = 0^\circ$, съемка горизонтальная, и центральная проекция имеет вид, приведенный на рис. 10.1.

10.2. Определение масштаба аэроснимка по элементам ориентирования

Будем полагать наш аэроснимок горизонтальным. Тогда, если местность представляет собой горизонтальную плоскость, масштаб аэрофотоснимка определится соотношением

$$\frac{1}{m} = \frac{oa}{OA}, \quad (10.1)$$

где m – знаменатель масштаба АФС.

Но поскольку

$$\frac{oa}{oa} = \frac{f}{H}, \quad (10.2)$$

то

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}. \quad (10.3)$$

Из формулы (10.3) можно вычислить высоту фотографирования:

$$H = f \cdot m, \quad (10.4)$$

если известен ее масштаб и фокусное расстояние фотокамеры.

Задача 1. Вычислить высоту фотографирования, если фокусное расстояние фотокамеры $f = 70$ мм, а масштаб аэрофотосъемки 1:12 000.

Пояснение к решению задачи 1: использовать формулу (10.4).

10.3. Определение масштаба АФС по базисам, измеренным на снимке и на топографической карте

Задача 2. На аэрофотоснимке и топографической карте выбрать два базиса. Измерив длину каждого из них s_k на карте и s_c с учетом поправок за рельеф на снимке, определить масштаб горизонтального аэрофотоснимка. Из двух значений масштаба найти среднее арифметическое.

Пояснения к выполнению задачи 2. Если длина отрезка на карте масштаба 1:М равна s_k , то его длина на местности

$$S_M = s_k \cdot M. \quad (10.5)$$

Тогда, полагая в формуле (10.1)

$$\begin{aligned} oa &= s_c, \\ OA &= S_M, \end{aligned}$$

перепишем ее в следующем виде:

$$\frac{1}{m} = \frac{s_c}{s_k \cdot M}. \quad (10.6)$$

Тогда знаменатель масштаба аэрофотоснимка

$$m = M \frac{s_k}{s_c}. \quad (10.7)$$

Его определение выполняют по обоим базисам. За окончательное принимается среднее значение.

Формулы (10.7), (10.8) справедливы в том случае, когда местность представляет собой горизонтальную плоскость. В общем случае в измеренные длины базисов необходимо вводить поправки, учитывающие смещение точек снимка, вызванные рельефом местности.

10.4. Определение смещения точек снимка, вызванного рельефом местности

Из рис. 10.2 и 10.3 видно, что при положительном превышении точки M относительно опорной плоскости ее положение смещается от

главной точки горизонтального снимка, а при отрицательном превышении это смещение направлено к главной точке.

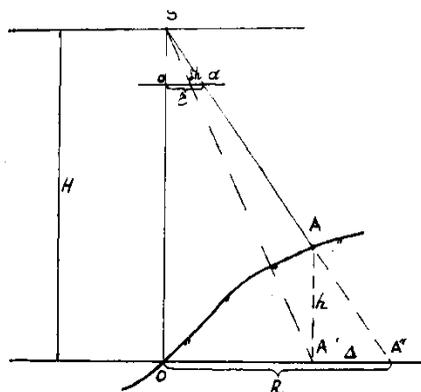


Рис. 10.2. Смещение точки на аэрофотоснимке при положительном превышении ее относительно главной точки

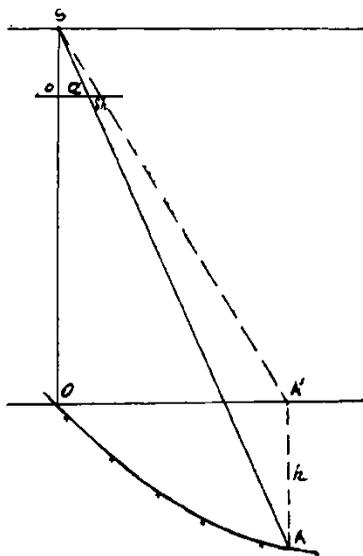


Рис. 10.3. Смещение точки на аэрофотоснимке при отрицательном превышении ее относительно главной точки

Для вычисления величины этого смещения запишем соотношение пропорциональных отрезков:

$$\frac{\delta_h}{r} = \frac{\Delta}{R}. \quad (10.8)$$

Но из подобия треугольников $AA'A''$ и SOA'' следует, что

$$\frac{\Delta}{R} = \frac{h}{H}. \quad (10.9)$$

Тогда на основании (10.8) и (10.9) можно составить соотношение

$$\frac{\delta_h}{r} = \frac{h}{H}, \quad (10.10)$$

из которого определяем величину смещения положения точки A за рельеф:

$$\delta_h = \frac{h}{H} \cdot r. \quad (10.11)$$

Если превышение точки положительное, то поправку за рельеф следует вводить в отрезок oa со знаком минус, если отрицательное, то поправка вводится со знаком плюс.

Исходя из формул (10.7) и (10.11), можно записать требования к выбору базисов.

1. Базисы должны проходить вблизи главной точки АФС, лишь тогда будет справедлива формула (10.11).

2. Если концы базисов будут располагаться на одинаковых высотах, то при их асимметрии до 1,5 см поправки за рельеф можно не учитывать.

3. Концам базиса должны быть выбраны такие контурные точки, которые однозначно опознаются с погрешностью не более 0,1 мм.

4. Из возможных вариантов выбираются базисы наибольшей длины.

5. С целью учета влияния углов наклона снимка базисы выбираются под углом 90° . Поскольку наш снимок принимается горизонтальным, то это требование выполнять не обязательно.

Порядок решения задачи 2

1. В соответствии с вышеизложенными требованиями выбрать два базиса.
2. Каждый из них опознать на карте и аэрофотоснимке. С точностью 0,1 мм измерить длину базиса на снимке s'_c и на карте s_k .
3. Найти главную точку снимка. Для этого соединить противоположные координатные метки снимка двумя прямыми линиями. Их пересечение даст главную точку снимка.
4. Опознать на карте главную точку аэрофотоснимка.
5. С точностью ± 1 м определить превышение точек начала и конца базиса относительно главной точки снимка.
6. Определить на снимке расстояния r_1 и r_2 от главной точки до точек начала и конца базиса.
7. Для обеих точек базиса найти поправки за рельеф по формуле (10.11).
Если превышение h по модулю меньше 1 м, то поправка за рельеф принимается равной нулю.
8. Ввести эти поправки в измеренную на снимке длину базиса и получить исправленную длину:

$$S_c = S'_c = \delta_h. \quad (10.12)$$

9. По формуле (10.7) определить знаменатель масштаба.

Аналогичные действия выполнить для второго базиса и по двум значениям знаменателя масштаба аэрофотоснимка найти средний. Результаты измерений записать в табл. 10.1

Таблица 10.1. **Определение масштаба аэрофотосъемки по базисам**

Название базиса $i-j$	s'_c , мм	h_i , мм	r_i , мм	δ_{hi} , мм	h_j , мм	r_j , мм	δ_{hj} , мм	s_c , мм	s_k , мм	m	$m_{ср}$
1-2	150,8	-1	91	+0,1	+6	66	-0,5	150,4	197,0	13098	
											12988
3-4	117,6	+4	28	0,1	+4	92	-0,5	117,0	149,6	12879	

10.4. Стереоскопическое наблюдение снимков

Используя стереопару снимков, необходимо рассмотреть объемное изображение местности с помощью стереоскопа, а также получить обратный и нулевой стереоэффекты.

Для получения модели объекта местности и его объемного изображения необходимо иметь два аэрофотоснимка этого участка местности, полученных с разных точек фотографирования. Такие два снимка называют стереопарой снимков. Слово *stereos* – греческое и означает объемный, пространственный.

Положение точек такой модели определяется пространственными координатами X, Y, H , где X, Y – плановые координат, а H – высота точки.

По единственному снимку можно определить только плановые координаты точки X, Y .

Для определения ее высоты необходим другой снимок с изображением этой же точки, но полученный с другой точки фотографирования. В результате такого фотографирования проектирующие лучи создают пространственную засечку точки местности, однозначно определяющую ее пространственные координаты.

Такая засечка с точек $S_{л}$ и $S_{пр}$ показана на рис. 10.4. Полученные в результате левый и правый снимок составляют стереопару.

По ней уже можно вычислить высоту H точки A относительно линии горизонта $S_{л}S_{пр}$, а также и превышение между точками. Из рис. 10.4 можно записать

$$\frac{x_{пр}}{X_{пр}} = \frac{f}{H}. \quad (10.13)$$

Тогда

$$H = \frac{f \cdot X_{пр}}{x_{пр}}. \quad (10.14)$$

В (10.13) $X_{пр}$ неизвестно. Для его получения составим пропорцию:

$$\frac{x_{пр}}{X_{пр}} = \frac{x_{л}}{X_{л}}. \quad (10.15)$$

Поскольку

$$X_{л} = B - X_{пр}, \quad (10.16)$$

то после подстановки (10.16) в (10.15) получим:

$$X_{np} = B \frac{x_{np}}{x_n + x_{np}}. \quad (10.17)$$

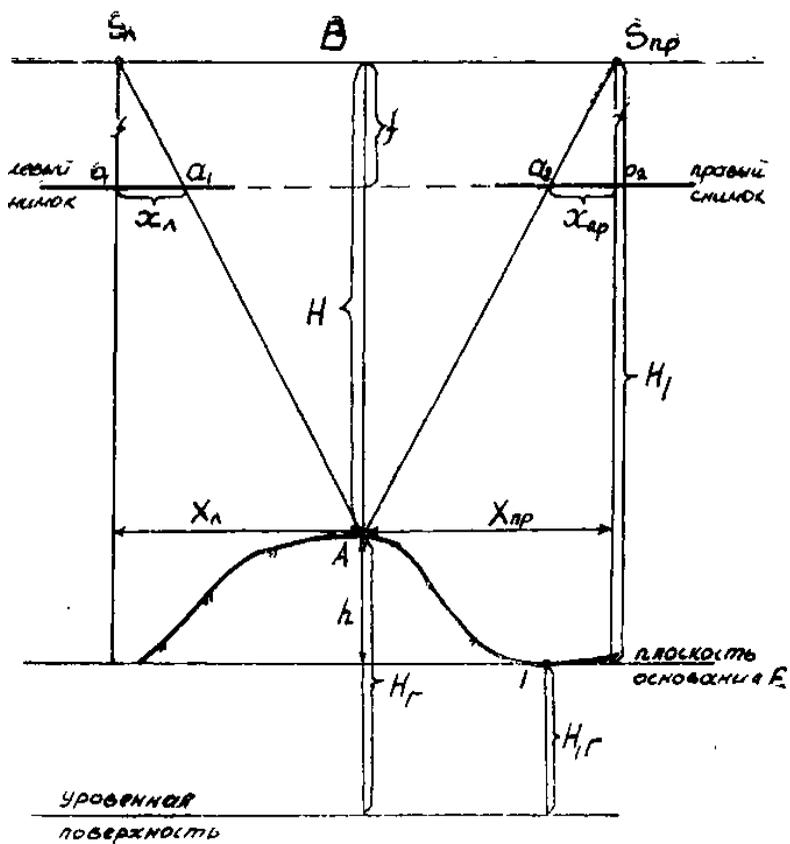


Рис. 10.4. Стереопары аэрофотоснимков

Подстановка (10.16) в (10.14) дает результат

$$H = \frac{f}{x_{\text{л}} + x_{\text{пр}}} \cdot B, \quad (10.18)$$

где B – известный базис фотографирования, а $x_{\text{л}}$ и $x_{\text{пр}}$ измеренные координаты точки A на снимках по оси абсцисс.

Сумму абсцисс в (10.18) заменяют величиной

$$p = x_{\text{л}} + x_{\text{пр}}, \quad (10.19)$$

которую называют продольным параллаксом точки A . Тогда формула (10.18) примет вид

$$H = \frac{f}{p} B. \quad (10.20)$$

Если аналогичную формулу записать для опорной точки 1, лежащей на плоскости основания

$$H_1 = \frac{f}{p_1} B, \quad (10.21)$$

то разность высот дает превышение между этими точками:

$$h = H - H_1 = Bf \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{p_1} \right). \quad (10.22)$$

Или после несложных преобразований

$$h = H_1 \frac{\Delta p}{p}, \quad (10.23)$$

где $\Delta p = p_1 - p$ – разность продольных параллакссов определяемой точки A и данной точки 1.

Таким образом, вычислив по формуле (10.23) превышение при известном H_{1r} , можно найти отметку определяемой точки $H_r = H_{1r} + h$, где H_{1r} – высота точек 1 и A над уровенной поверхностью.

Для рассмотрения стереомодели местности служат специальные приборы. Наиболее простой из них – стереоскоп. Это бинокулярный оптический прибор для рассмотрения стереопар. Он позволяет видеть изображение объемным. Ход лучей в зеркально-линзовом стереоскопе показан на рис. 10.5.

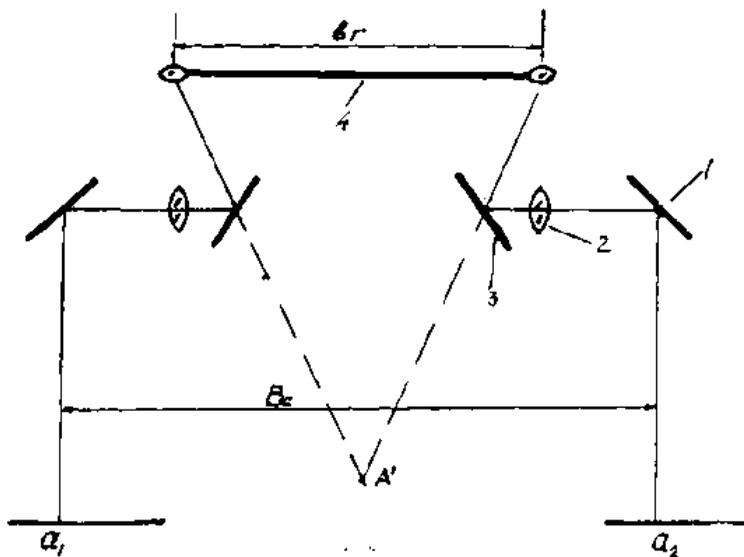


Рис. 10.5. Ход лучей в стереоскопе:
1, 2 – внешнее и внутреннее зеркала, 3 – линза, 4 – бинокуляр

Здесь B_c – расстояние между центрами больших зеркал, называемое базисом стереоскопа, b_r – расстояние между передними узловыми точками глаз, называемое глазным базисом.

Чтобы получить объемное изображение A' точки A (прямой стереоэффект), необходимо под левое зеркало положить левый снимок, а под правое – правый, так чтобы они располагались вдоль оси прибора строго один за другим. Потом необходимо установить их так, чтобы начальные направления $o_1o'_2$ и $o_2o'_1$ были на одной прямой, параллельной базису стереоскопа, а расстояние между какой-либо парой соответственных точек, например a_1 и a_2 , приблизительно равнялось базису стереоскопа (рис. 10.6). Начальным направлением аэрофотоснимка

считается направление, соединяющее главную точку данного снимка, например o_1 , с изображением на нем главной точки соседнего o'_2 .

Передвижением этих снимков вдоль прибора, а также их поперечным перемещением и некоторым вращением в своих плоскостях добиваются совмещения изображений левого и правого снимков, чем достигают объемного изображения местности или прямого стереоэффекта.

Если снимки поменять местами (рис. 10.7), то стереоэффект будет обратным. Если добиться перпендикулярности начальных направлений к главному базису (рис. 10.8), то стереоэффект будет нулевой.

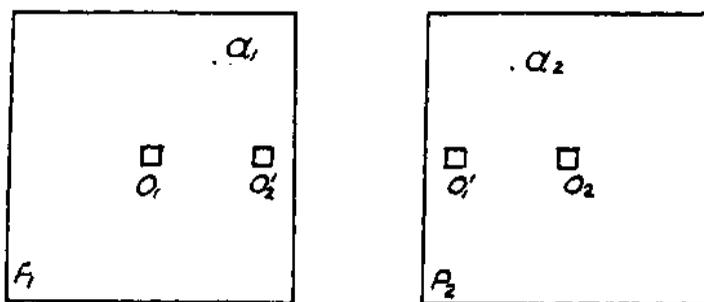


Рис. 10.6. Прямой стереоэффект

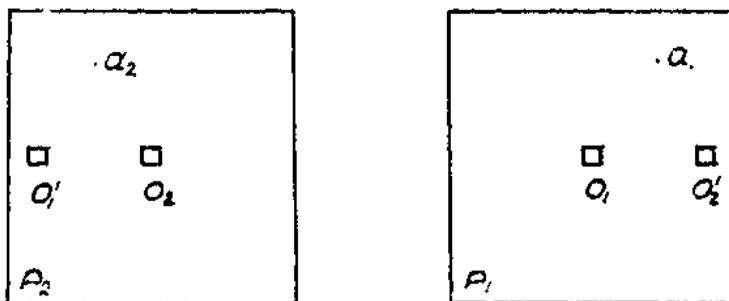


Рис. 10.7. Обратный стереоэффект

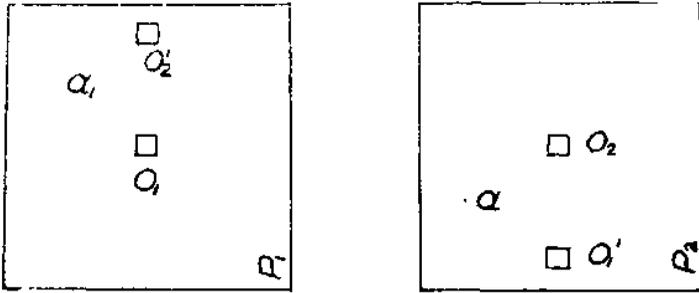


Рис. 10.8. Нулевой стереоэффект

С помощью стереофотограмметрических приборов выполняют измерения на стереопаре снимков для получения плановых координат точек и их высот или превышений на основе математических зависимостей, часть из которых представлена формулами (10.1)–(10.23).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ганьшин, В. Н. Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых / В. Н. Ганьшин, Л. С. Хренов. – М.: Недра, 1985.
2. ГКНП 02-004-2010. Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000 и 1:500. – М.: Госкомимущество, 2010.
3. Маслов, А. В. Геодезия: учеб. пособие / А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2006. – 598 с.
4. Неумывакин, Ю. К. Практикум по геодезии / Ю. К. Неумывакин, А. С. Смирнов. – М.: Недра, 1985.
5. Подшивалов, В. П. Инженерная геодезия: учебник / В. П. Подшивалов, М. С. Нестеренок. – Минск: Выш. шк., 2014. – 463 с.
6. Шулякова, Т. В. Составление топографического плана по результатам нивелирования поверхности по квадратам: метод. указания / Т. В. Шулякова, Е. В. Ларионова. – Горки: Беларус. гос. с.-х. акад., 2013. – 20 с.
7. Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000; 1:2000; 1:1000 и 1:500. – М.: Недра, 1989.
8. Шулякова, Т. В. Учебная геодезическая практика: метод. указания / Т. В. Шулякова, А. С. Ярмоленко. – Горки: Беларус. гос. с.-х. акад., 1991. – 100 с.
9. Юнусов, А. Г. Геодезия: учеб. пособие / А. Г. Юнусов, А. Б. Беликов, В. Н. Баранов, Ю. Ю. Каширкин. – М.: Академ. проект, 2011. – 409 с.
10. Лобанов, А. Н. Фотограмметрия: учебник / А. Н. Лобанов. – М.: Недра, 1984. – 552 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Лабораторная работа 1. Топографические планы, карты. Решение инженерных задач по топографическому плану	4
Лабораторная работа 2. Изучение технических теодолитов	26
Лабораторная работа 3. Изучение нивелиров	40
Лабораторная работа 4. Вычислительная обработка теодолитного хода	45
Лабораторная работа 5. Нивелирование поверхности по квадратам	54
Лабораторная работа 6. Камеральная обработка полевых материалов тахеометрической съемки и составление плана	61
Лабораторная работа 7. Геодезические работы при проектировании вертикальной планировки	69
Лабораторная работа 8. Составление продольного профиля трассы линейного сооружения	75
Лабораторная работа 9. Геодезические работы при перенесении проекта на местность	95
Лабораторная работа 10. Работа с аэрофотоснимком	100
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	113

Учебное издание

Другаков Павел Владимирович

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ И ГРАФИКИ

Учебно-методическое пособие

Редактор *С. Н. Кириленко*

Технический редактор *Н. Л. Якубовская*

Подписано в печать 01.04.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. 6,74. Уч.-изд. л. 4,67.

Тираж 50 экз. Заказ .

Белорусская государственная сельскохозяйственная академия.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатной продукции № 1/52 от 09.10.2013.

Ул. Мичурина, 13, 213407, г. Горки.

Отпечатано в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии.

Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.