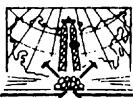


В.И.РОДИОНОВ В.Н.ВОЛКОВ

ЗАДАЧНИК ПО ГЕОДЕЗИИ

*Утверждено Главным управлением
учебными заведениями МПС
в качестве учебного пособия
для учащихся техникумов
железнодорожного транспорта*



МОСКВА "НЕДРА" 1988

ББК 26.1

P60

УДК 528.0(075) : 373.6/9

Рецензенты И.И. Зуев, Н.М. Кретов

Родионов В.И., Волков В.Н.

Р 60 Задачник по геодезии: Учеб. пособие для техникумов. - М.: Издра, 1988. - 268 с.: ил.
ISBN 5-247-00348-9

Приведены основные геодезические задачи, возникающие при изысканиях, строительстве и эксплуатации путевого хозяйства железнодорожного транспорта, и оптимальные варианты их решения. Подобраны варианты задач, позволяющие применять программированный метод опроса учащихся. Составлены четыре расчетно-графические задачи, предусмотренные программой. В задачнике учебный материал изложен с учетом обновления парка приборов, использования вычислительной техники и микрокалькуляторов (с простейшими программами) и введение в действие новых нормативных документов. Материал иллюстрирован рисунками и схемами, позволяющими лучше усвоить учебную программу.

Для учащихся техникумов железнодорожного транспорта.

Р 1902020000 - 249

043(01) - 88

10-88 - св. план для сред. уч. завед.

ББК 26.1

ПРЕДИСЛОВИЕ

Все типовые задачи, приведенные в настоящем пособии, решены с подробными объяснениями. В каждом разделе пособия приведены разработанные в 30 вариантах, предусмотренные учебной программой расчетно-графические задания с последовательным рассмотрением примеров их выполнения.

В книге дано описание устройства современных микрокалькуляторов и приемы работы с ними при решении задач и выполнении вычислительной части расчетно-графических заданий.

Повариантный подбор задач и заданий на расчетно-графические работы позволит преподавателям техникумов проводить эффективную проверку знаний с применением программированного опроса.

По содержанию и методическому построению книга является дополнением к учебнику "Геодезия" для техникумов специальности "Строительство и эксплуатация железнодорожного транспорта" и может быть использована учащимися автодорожных и строительных техникумов, а также инженерно-техническими работниками путейско-строительного профиля.

Разделы первый, второй и четвертый написаны В.И. Родионовым, разделы третий и пятый – В.Н. Волковым.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ГЕОДЕЗИИ

Глава I. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

§ 1. ДЕЙСТВИЯ С ПРИБЛИЖЕННЫМИ ЧИСЛАМИ

1. Округлить число 25,6758 до 5 знаков.

Решение:

Округлить число до n знаков – значит сохранить в нем первые n значащих цифр. Если первая из отбрасываемых цифр больше 5, последняя из оставляемых цифр увеличивается на единицу. Число 25,6758 после округления до 5 значащих цифр будет 25,676.

2. Округлить число 306,13 до четырех значащих цифр.

Решение:

Если последняя из отбрасываемых цифр менее 5, последнюю оставляемую цифру сохраняют без изменения. Число 306,13 после округления до 4 значащих цифр будет 306,1.

3. Округлить числа 103,5 и 734,5 до 3 значащих цифр.

Решение:

Если последней цифрой округляемого числа является цифра 5, которая должна быть отброшена, то предшествующую ей цифру увеличивают на единицу только в том случае, если она нечетная. В данном примере числа 103,5 и 734,5 после округления до 3 значащих цифр будут 104 и 734.

4. Округлить числа N (табл. 1) до n значащих цифр.

5. Округлить число 683,937 до второго знака после запятой.

Решение:

После округления число 683,937 будет 683,94.

6. Округлить числа N_1 (табл. 2) до n знаков после запятой.

7. Сложить числа 85,367; 1,341; 56,8.

Таблица 1

Вариант	n	N	Вариант	n	N
1	4	50,231	6	3	563,5
2	2	62,07	7	3	88,66
3	4	24,543	8	4	1178,5
4	4	1037,5	9	3	67,45
5	3	921,9	10	4	567,55

Таблица 2

Вариант	N_1	n	Вариант	N_1	n
1	1,633	1	6	8,207	1
2	25,011	2	7	93,905	1
3	90,1942	3	8	42,065	1
4	63,555	1	9	89,4354	3
5	21,478	2	10	24,1116	3

Решение:

Прежде чем выполнить сложение этих чисел, их сокращают, сохраняя столько десятичных знаков, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством знаков, плюс один запасной знак. После округления приведенные в примере числа будут: 85,37; 1,34; 56,8. Затем их складывают: $85,37 + 1,34 + 56,8 = 143,51$. Полученный результат округляют до стольких десятичных знаков, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством десятичных знаков. В примере таким числом является 56,8. Следовательно, полученный результат 143,51 округляют до 143,5.

8. Определить сумму чисел N и N_1 , полученных после решения задач 4 и 6.

9. Вычислить произведение чисел 5,12 и 16,384.

Решение:

В результате умножения двух чисел сохраняют столько значащих* цифр, сколько их имеет число, у которого меньше значащих цифр.

Например: $5,12 \times 16,384 = 83,88608$. Полученное число округляют до 3 значащих цифр: 83,9.

10. Разделить числа 5236,157 и 17,86.

Решение:

При делении двух приближенных чисел в частном сохраняют столько знаков, сколько их в менее точном числе, т.е. в том, в котором меньше значащих цифр:

$$5236,157 : 17,86 = 293,17788.$$

*Количество значащих цифр определяется следующим образом. Нули, стоящие в числе слева, значащими цифрами не считаются. Нули в середине числа или в конце (справа), обозначающие отсутствие в числе единиц соответствующих разрядов, – значащие цифры. Например, в числе 0,08040 первые два нуля – незначащие цифры, а третий и четвертый – значащие. Поэтому, если результат вычислений (число 4200) должен иметь две значащие цифры, то он в этом случае записывается: $4,2 \cdot 10^2$ или $4,2 \cdot 10^3$.

Такая запись подчеркивает, что в данном числе содержатся лишь две значащие цифры.

Примеры:

$95,8 \times 86,384 = 8275,4872$. Результат должен иметь три значащие цифры: $82,7 \times 10^2 \cdot 34,2^2 = 1169,94 = 11,6 \cdot 10^2$.

$\sqrt{0,0009} = 0,03$
(одна значащая цифра).

Таблица 3

Вариант	N	N_1	Вариант	N	N_1
1	564,3	21,1	6	14,001	24,5
2	17,901	3,52	7	2,384	10,51
3	6,439	15,8	8	31,07	2,7
4	115,94	73,04	9	7,61	11,384
5	19,347	3,21	10	5,03	32,111

Таблица 4

Вариант	N	n	Вариант	N	n
1	2,63	2	6	15,26	2
2	55,1	3	7	4,03	2
3	1,263	2	8	5,21	3
4	5,2	3	9	7,93	2
5	24,7	3	10	8,06	2

Полученный результат округляют до четырех значащих цифр: 293,2.

11. Вычислить произведение чисел N и N_1 (табл. 3) и частное от деления $N : N_1$.

12. Возвести во вторую степень число 3,42.

Решение:

При возведении числа в степень в результате сохраняется столько значащих цифр, сколько их имеет основание степени.

Например: $3,42^2 = 11,6964$. Округляя полученный результат до трех значащих цифр, получают 11,7.

13. Возвести в n степень числа N (табл. 4).

14. Извлечь квадратный корень из числа 24,8.

Решение:

При извлечении квадратного корня из приближенного числа в результате оставляют столько значащих цифр, сколько их имеет подкорка.

Таблица 5

Вариант	N	Вариант	N
1	5,01	6	26,9
2	29,7	7	54,3
3	115,1	8	18,51
4	33,42	9	34,26
5	14,03	10	55,29

решенное выражение: $\sqrt{24,8} = 4,97995$. При округлении до трех значащих цифр получим 4,98.

15. Извлечь квадратный корень из числа N (табл. 5).

§ 2. ВЫПОЛНЕНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ РАБОТ С ПРИМЕНЕНИЕМ МИКРОКАЛЬКУЛЯТОРОВ

16. Проверить правильность работы микрокалькулятора. Проверку работы каждого микрокалькулятора выполняют, применяя контрольный текст, который приводится в руководстве по эксплуатации прибора. Например, проверить работу микрокалькулятора Б3-18А можно, пользуясь текстом, приведенным в табл. 6.

Таблица 6

Позиция	Последовательность нажатия клавиш	Результат
1	$789 x $	789
2	$456 \div $	359,784
3	$1230 \underline{-} $	292,50731
4	$ F \sqrt{ }$	17,102844
5	$ F 1/X F Зап $	0,0584698
6	$ F e^x $	2,718281
7	$ F ln $	0,999999
8	$ F 10^x $	9,999974
9	$ F lg $	0,999999
10	Град/рад \rightarrow Град $ F sin $	0,017452
11	$ F arc sin $	0,999972
12	$ F cos $	0,999848
13	$ F arc cos $	0,999026
14	$ F tg $	0,017438
15	$ F arc tg $	0,999021
16	Град/рад \rightarrow Рад $ F sin $	0,840942
17	$ F arc sin $	0,999021
18	$ F cos $	0,541126
19	$ F arc cos $	0,999021
20	$ F tg $	1,554058
21	$ F arc tg $	0,99902
22	$+ F \pi $	3,1415926
23	$= $	4,1406126
24	$ F \Pi + F \Pi + X^2 F \Pi - $	4,1406126
25	$ F ИП $	17,203142
26	$ F X^y $	2,845092
27	$3,3$	3,3
28	$ F ДВ C $	3
29	2	3,2
30	$ \leftarrow \rightarrow $	2,845092
31	$= $	8993,83
32	$- $	8993,83
33	$ F X \leftarrow \rightarrow \Pi $	17,203142
34	$ F 10^x $.0

17. Произвести с помощью микрокалькулятора сложение чисел 4,27; 256,02; 124,043.

Последовательность нажатия клавиш:

$$|C|4| \cdot |27| + |256| \cdot |02| + |124| \cdot |04| = | \text{результат} 384,33.$$

Аналогично выполняют вычитание чисел.

18. С помощью микрокалькулятора выполнить арифметическое действие сложения и вычитания: $N_1 + N_2 - N_3$.

Значения N_1 , N_2 и N_3 приведены в табл. 7.

Таблица 8

Вариант	N_1	N_2	N_3	Вариант	N_1	N_2	N_3
1	21,1	12,06	10,41	6	34,21	12,09	9,27
2	15,43	2,21	1,45	7	55,08	16,5	6,0
3	26,48	11,33	12,4	8	29,1	7,63	3,2
4	96,1	7,32	3,67	9	59	5,3	4,44
5	77,15	8,34	6,86	10	89,1	14,2	7

Таблица 7

Вариант	N_1	N_2	N_3	Вариант	N_1	N_2	N_3
1	27,43	93,15	19,87	6	33,64	111,25	86,17
2	102,04	15,06	78,15	7	143,77	19,24	57,51
3	34,12	21,09	16,15	8	93,04	26,11	32,07
4	285,3	305,11	424,13	9	142,77	356,18	39,44
5	16,39	537,11	254,85				

19. Произвести на микрокалькуляторе действия умножения двух чисел – 56,33 и 21,09.

Последовательность нажатия клавиш:

$$|C|56| \cdot |33|x|21| \cdot |09| = | \text{результат} 1187,9997.$$

Аналогично производят деление чисел.

20. Выполнить с помощью микрокалькулятора следующие арифметические действия с числами N_1 , N_2 , N_3 , значения которых помещены в табл. 8:

$$N_1 \times N_2 : N_3 = N.$$

Таблица 9

Вариант	Функция	Вариант	Функция
1	$\sin 5^{\circ}18'$	6	$\sin 43^{\circ}06'$
2	$\cos 24^{\circ}42'$	7	$\operatorname{tg} 15^{\circ}24'$
3	$\operatorname{tg} 11^{\circ}14'$	8	$\cos 9^{\circ}30'$
4	$\operatorname{tg} 30^{\circ}54'$	9	$\sin 84^{\circ}53'$
5	$\cos 56^{\circ}12'$	10	$\cos 32^{\circ}44'$

Таблица 10

Вариант	N	n	Вариант	N	n
1	21,3	2	6	0,15	3
2	17,0	3	7	0,12	2
3	25,6	2	8	13,4	3
4	0,07	2	9	15,3	2
5	18,6	3	10	0,16	2

Результат округлить до 0,01.

21. Вычислить значение тригонометрических функций: $\operatorname{tg} 24^{\circ}$; $\cos 53^{\circ}30'$.

Последовательность нажатия клавиш:

$|C|24|F|\operatorname{tg}| = |$ результат 0,445229.

Для нахождения значения косинуса указанного угла необходимо $30'$ выразить в десятичных долях градуса, зная, что $0,1^{\circ} = 6'$, тогда в нашем примере $53^{\circ}30' = 53,5^{\circ}$ (в общем случае $n' : 60$).

Последовательность нажатия клавиш:

$|C|53| \cdot |5|F|\cos| = |$ результат 0,594823.

22. Найти с помощью микрокалькулятора значения тригонометрических функций по данным табл. 9.

23. Возвести число 24 в 3-ю степень с помощью микрокалькулятора.

Последовательность нажатия клавиш:

$|C|24|F|X^y|3| = |$ результат 13 824.

24. С помощью микрокалькулятора возвести число N в n -ю степень (табл. 10).

25. Найти $\sqrt{532,2}$ с помощью микрокалькулятора.

Последовательность нажатия клавиш:

$|C|532| \cdot |2|F|\sqrt{| = |}$ результат 23,06946.

26. Извлечь квадратный корень из числа N (табл. 11) с помощью микрокалькулятора.

Таблица 11

Вариант	N	Вариант	N
1	0,005	6	0,0175
2	1,173	7	0,263
3	0,0181	8	1,531
4	0,0062	9	0,0147
5	2,343	10	0,0026

27. Найти с помощью микрокалькулятора гипотенузу прямоугольного треугольника ABC с точностью до 0,01, если известны его катеты $a = 9$; $b = 14$.

Последовательность нажатия клавиш:

$|C|F|3AP| = |$ результат 0

$|9|F|\Pi + X^2| = |$ " 9

$|4|F|\Pi + X^2| = |$ " 14

$|F|IP| = |$ " 277

$|F|\sqrt{|} = |$ " 16,64

В этой задаче в каждом действии решения использованы вторые функциональные значения клавиш: при последовательном нажатии клавиш $|F|$ и $|3AP|$ число на индикаторе записывается в регистр памяти. Ранее записанное в регистр памяти число стирается.

При последовательном нажатии клавиш $|F|$ и $|\Pi + X^2|$ к содержимому памяти прибавляется квадрат числа на индикаторе. При последовательном нажатии клавиш $|F|$ и $|IP|$ на индикаторе высветится число, содержащееся в памяти.

28. Найти с помощью микрокалькулятора с точностью до второго знака после запятой гипотенузу с прямоугольного треугольника ABC , если известны катеты a и b (табл. 12).

Таблица 12

Вариант	a	b	Вариант	a	b
1	2,53	11,43	6	3,08	17,63
2	3,01	9,22	7	4,93	9,07
3	4,55	14,26	8	5,66	3,20
4	5,62	11,38	9	8,41	4,03
5	7,31	14,25	10	9,50	5,15

Глава II. ЕДИНИЦЫ МЕР. ПРЕВЫШЕНИЯ, ВЫСОТЫ ТОЧЕК

3. ЕДИНИЦЫ МЕР, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ГЕОДЕЗИИ

29. Выразить в гектарах площадь участка S , данную в км^2 (табл. 13).

Формула для решения:

$$S_{\text{га}} = S_{\text{км}^2} \cdot 10^2.$$

30. Площадь участка дана в м^2 (табл. 14), выразить ее в гектарах с точностью до 0,01 га.

Формула для решения:

$$S_{\text{га}} = S_{\text{м}^2} \cdot 10^{-4}.$$

31. Угол $\alpha = 4563''$. Определить, сколько в нем градусов, минут, секунд.

Решение:

$$\alpha^\circ = 4563'' : 3600 = 1^\circ 963'';$$

$$\alpha' = 963'' : 60 = 16'03''.$$

Ответ: $\alpha = 1^\circ 16'03''$.

32. Угол α , данный в секундах, выразить в градусах, минутах, секундах (табл. 15).

33. Угол ($\alpha = 45,8'$), данный в минутах, выразить в секундах.

Таблица 13

Вариант	$S, \text{км}^2$	Вариант	$S, \text{км}^2$
1	10,26	6	5,01
2	9,03	7	4,86
3	8,54	8	3,21
4	7,93	9	2,64
5	6,25	10	1,83

Таблица 14

Вариант	$S, \text{м}^2$	Вариант	$S, \text{м}^2$
1	98560	6	41831
2	86005	7	32432
3	73261	8	24067
4	60556	9	21222
5	54077	10	18346

Таблица 15

Вариант	α''	Вариант	α''
1	9543	6	4611
2	8006	7	8932
3	7524	8	9406
4	6341	9	12009
5	5342	10	11540

Таблица 16

Вариант	α°	Вариант	α°
1	15,6	6	15,7
2	23,9	7	29,4
3	43,8	8	57,8
4	56,9	9	83,4
5	33,1	10	76,3

Решение:

$$1' = 60''; \quad 0,1' = 6''; \quad 08' \times 6'' = 48''.$$

Ответ: $\alpha = 45'48''$.

34. Угол α , данный в градусах (табл. 16), выразить в минутах.

Формула для решения: $n' = 0, n^\circ \cdot 60$.

$$1^\circ = 60'; \quad 0,1^\circ = 6'.$$

Например: $34,7^\circ$

$$n' = 0, n^\circ \cdot 60 = 0,7^\circ \times 60' = 42'; \quad \text{Ответ: } 34^\circ 42'.$$

§ 4. ПРЕВЫШЕНИЯ. АБСОЛЮТНЫЕ И УСЛОВНЫЕ ВЫСОТЫ ТОЧЕК

35. Определить превышение h_{BA} точки B над точкой A (рис. 1), если известны высоты H_B и H_A этих точек (табл. 17).

Решение производят по формуле

$$h_{BA} = H_B - H_A.$$

36. По данным табл. 17 определить превышение h_{AB} точки A над точкой B .

Решение выполняют по формуле

$$h_{AB} = H_A - H_B.$$

Таблица 17

Вариант	H_A , м	H_B , м
1	99,36	43,14
2	45,71	51,04
3	14,31	80,88
4	101,25	99,70
5	94,43	90,21
6	127,15	119,93
7	143,03	151,20
8	56,11	63,24
9	83,06	79,17
10	81,15	73,21

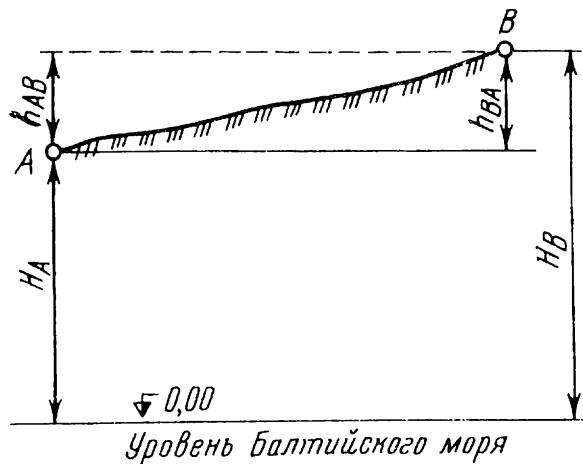


Рис. 1. Высоты точек и превышения

Таблица 18

Вариант	h , м	H_A , м	Вариант	h , м	H_A , м
1	+ 1,24	124,51	6	+ 0,49	93,54
2	- 0,45	103,33	7	+ 1,54	86,09
3	+ 2,33	125,17	8	- 1,89	73,14
4	- 1,86	128,11	9	- 2,03	81,12
5	- 2,30	154,07	10	+ 0,66	114,16

37. Определить высоту точки B , если известны превышение h и высота точки A (табл. 18).

Решение производят по формуле

$$H_B = H_A + h.$$

38. Определить абсолютную высоту точки H_A (рис. 2), если известны разность ΔH между абсолютной и условной высотами и условная высота $H_A^{\text{ усл}}$ этой же точки (табл. 19).

Таблица 19

Вариант	ΔH	$H_A^{\text{ усл}}$
1	+ 15,33	100,00
2	- 24,17	123,15
3	- 16,40	146,00
4	- 33,12	150,50
5	+ 27,01	102,11
6	+ 54,15	45,00
7	+ 19,33	50,00
8	- 14,71	47,50
9	- 16,32	80,00
10	+ 38,09	62,50

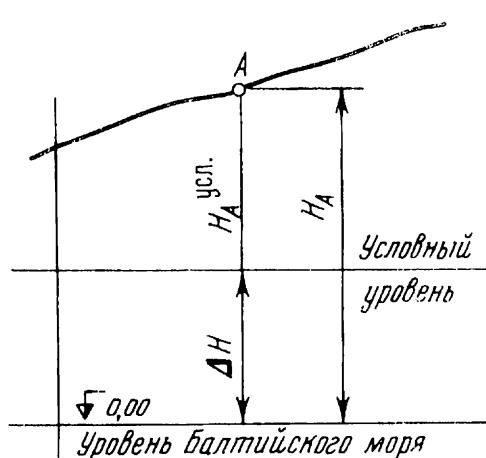


Рис. 2. Абсолютная и условная высоты

Решение выполняют по формуле

$$H_A = H_A^{\text{усл}} + \Delta H.$$

Глава III. МАСШТАБЫ

§ 5. ЧИСЛЕННЫЙ МАСШТАБ

39. Определить длину линии* на местности в метрах d_m , соответствующую 1 см длины линии на плане, если численный масштаб 1:5000.

Решение:

Знаменатель численного масштаба уменьшаем в 100 раз:

$$d_m = 5000 : 100 = 50 \text{ м.}$$

40. Определить длину линии на местности, соответствующую 1 см длины линии на плане, по данным табл. 20.

41. Определить длину линии на местности d_m , если ее длина на плане $d_{\text{пл}}$ = 4,3 см, а масштаб плана 1:10000.

Решение:

1 см на плане соответствует на местности

$$n = 10000 : 100 = 100 \text{ м.}$$

Длину линии на местности определяем по формуле

$$d_m = d_{\text{пл}} \cdot n,$$

где n — число метров на местности, соответствующих 1 см на плане при заданном масштабе,

$$d_m = 4,3 \cdot 100 = 430 \text{ м.}$$

Таблица 20

Вариант	Масштаб плана	Вариант	Масштаб плана
1	1 : 2500	6	1 : 10000
2	1 : 500	7	1 : 100
3	1 : 1000	8	1 : 200
4	1 : 250	9	1 : 25 000
5	1 : 2000	10	1 : 50 000

*Под длиной линии на местности понимается ее горизонтальное положение.

Таблица 21

Вариант	$d_{\text{пл}}$, см	Масштаб	Вариант	$d_{\text{пл}}$, см	Масштаб
1	2,6	1 : 1000	6	14,2	1 : 100
2	3,7	1 : 2000	7	8,6	1 : 200
3	1,4	1 : 5000	8	4,4	1 : 250
4	3,0	1 : 10 000	9	16,8	1 : 500
5	1,5	1 : 25 000	10	2,1	1 : 50 000

Таблица 22

Вариант	d_M , м	Масштаб плана	Вариант	d_M , м	Масштаб плана
1	683,7	1 : 5000	6	86,9	1 : 2000
2	234,0	1 : 25 000	7	43,4	1 : 500
3	343,8	1 : 10 000	8	22,9	1 : 250
4	193,4	1 : 5000	9	11,1	1 : 200
5	46,2	1 : 25 000	10	8,3	1 : 100

42. Определить длину линии на местности, если известны длина линии на плане $d_{\text{пл}}$ и масштаб (табл. 21).

43. Определить длину линии на плане $d_{\text{пл}}$, если известно, что длина линии на местности $d_M = 130,7$ м, масштаб плана 1 : 1000.

Решение:

$$d_{\text{пл}} = d_M : n,$$

где n — число метров на местности, соответствующих 1 см на плане в данном масштабе, $n = 1000 : 100 = 10$ м.

$$d_{\text{пл}} = 130,7 : 10 = 13,1 \text{ см.}$$

44. Длина линии на местности d_M . Определить ее длину на плане $d_{\text{пл}}$, если известен масштаб плана. Данные взять из табл. 22.

45. Определить численный масштаб плана М, если длина линии на местности $d_M = 132,5$, а ее длина на плане $d_{\text{пл}} = 5,3$ см.

Решение:

$$M = \frac{d_{\text{пл}}}{d_M} = \frac{1}{(d_M \cdot 100) : d_{\text{пл}}} ,$$

$$M = \frac{5,3 \text{ см}}{132,5 \text{ м}} = \frac{1}{(132,5 \cdot 100) : 5,3} = \frac{1}{2500}$$

46. Определить численный масштаб плана М по данным табл. 23.

Таблица 23

Вариант	$d_{\text{пл}}$, см	$d_{\text{м}}$, м	Вариант	$d_{\text{пл}}$, см	$d_{\text{м}}$, м
1	8,9	8,9	6	7,2	720
2	11,4	22,8	7	3,4	850
3	12,7	63,5	8	2,6	1300
4	19,3	193,0	9	32,4	648
5	21,6	1080	10	28,9	722,5

47. Дан численный масштаб 1 : 5000. Определить его точность.

Решение:

Точностью масштаба называют длину линии на местности, соответствующую 0,1 мм на плане (наименьшее расстояние на бумаге, различаемое глазом: $t_{\text{м}} = M \cdot 10^{-4}$, м).

Для заданного масштаба 1 : 5000 1 см на плане соответствует 50 м на местности, а 0,1 мм на плане соответствует $50 : 100 = 0,5$ м на местности.

Отрезок 0,5 м на местности и будет точностью масштаба 1 : 5000.

48. Определить точность масштабов, приведенных в табл. 24.

Таблица 24

Вариант	Масштаб	Вариант	Масштаб
1	1 : 100 000	6	1 : 1000
2	1 : 50 000	7	1 : 500
3	1 : 25 000	8	1 : 250
4	1 : 10 000	9	1 : 200
5	1 : 5000	10	1 : 100

§ 6. ЛИНЕЙНЫЙ МАСШТАБ

49. Построить линейный масштаб с основанием 2 см, если задан численный масштаб 1 : 1000.

Решение:

Для построения линейного масштаба с основанием 2 см проводим две прямые параллельные линии на расстоянии 3 – 4 мм и откладываем на них несколько отрезков по 2 см (рис. 3, а). Первый отрезок слева (основание масштаба) делим на 10 равных частей по 2 мм. Для оцифровки линейного масштаба определяем количество метров на местности, соответствующее 2, 4, 6, 8, 10, 12 см и т.д. на плане. В рассматриваемом примере для масштаба 1 : 1000:

1 см	соответствует на местности	10 м;
2 см	"	20 м;
4 см	"	40 м;
6 см	"	80 м;
8 см	"	100 м;
10 см	"	120 м.

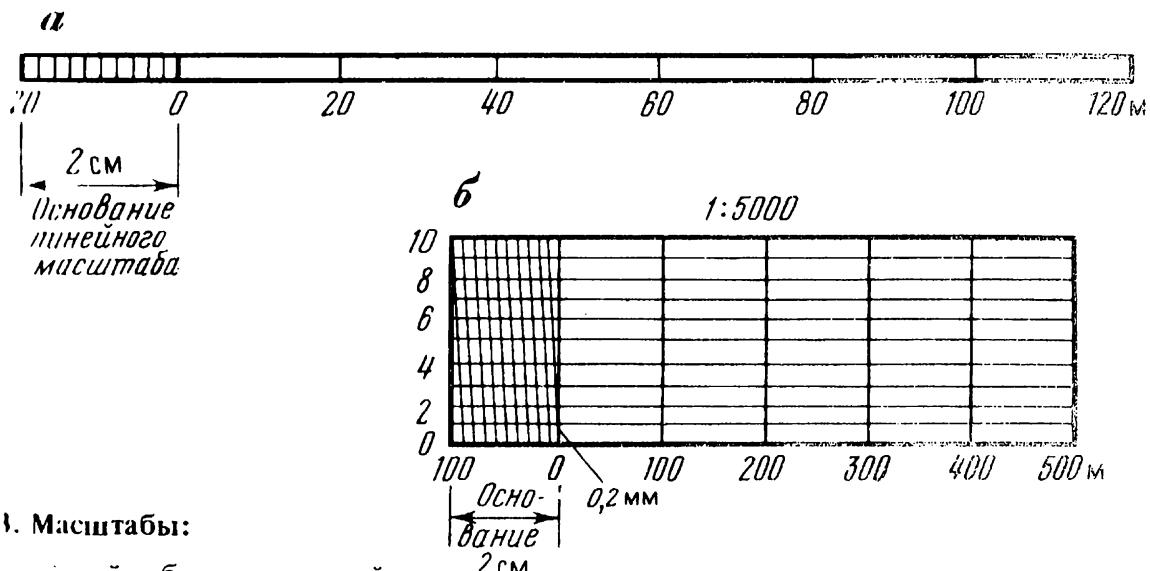


Рис. 3. Масштабы:

а – линейный; б – поперечный

50. Построить линейные масштабы по данным табл. 25.

51. Отложить на линейном масштабе, построенном по данным табл. 25, заданные отрезки, длины которых на местности даны в табл. 26.

Таблица 25

Вариант	Основание масштаба, см	Численный масштаб	Вариант	Основание масштаба, см	Численный масштаб
1	2	1 : 5000	6	2,5	1 : 10 000
2	2	1 : 1000	7	2	1 : 500
3	2,5	1 : 1000	8	2	1 : 250
4	2	1 : 25 000	9	2,5	1 : 200
5	2	1 : 100	10	2,5	1 : 100

Таблица 26

Вариант	d_m , м	Вариант	d_m , м
1	267,5	6	545,0
2	86,3	7	31,4
3	72,0	8	13,2
4	143,8	9	10,3
5	7,6	10	6,9

7. ПОПЕРЕЧНЫЙ МАСШТАБ

52. Построить поперечный масштаб с основанием $d_m = 2$ см применительно к численному масштабу 1 : 50 000 и нанести оцифровку.

Решение:

Поперечный масштаб строят как график на основании линейного масштаба с заданным основанием d_m (рис. 3, б). Оцифровку поперечного масштаба в горизонтальном направлении производят аналогично

линейному масштабу (см. § 6). Вертикальную оцифровку производят по параллельным линиям (трансверсалям), начиная от первого снизу. Наименьшее деление поперечного масштаба равно $1/100$ его основания, каждое следующее деление на $1/100$ больше предыдущего, т.е. $2/100$; $3/100$; $4/100$; $5/100$ и т.д. В рассматриваемом примере для масштаба $1 : 5000$:

$$\begin{aligned} 1 \text{ см на плане соответствует на местности } & 50 \text{ м;} \\ 2 \text{ см } " & " " 100 \text{ м;} \\ 1/100 \text{ основания масштаба } - 100/100 = 1 \text{ м;} \\ 2/100 " " - 100 \times 2/100 = 2 \text{ м;} \\ 3/100 " " - 100 \times 3/100 = 3 \text{ м и т.д.} \end{aligned}$$

Полученное число метров ставим в вертикальной оцифровке (см. рис. 3, б).

53. Построить поперечные масштабы по данным табл. 25.

54. Отложить на поперечном масштабе линии, длины которых на местности указаны в табл. 27.

Таблица 27

Вариант	d_m , м	Вариант	d_m , м
1	301,7	6	503,2
2	94,5	7	28,1
3	68,6	8	12,9
4	121,0	9	9,4
5	6,3	10	7,8

Глава IV. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНАХ И КАРТАХ

§ 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК, ЗАДАННЫХ НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ

55. Определить прямоугольные координаты т. A , заданной на топографической карте (рис. 4) масштаба $1 : 10\,000$.

Решение:

Определяем координаты $x_{ю}$, y_3 юго-западного угла квадрата координатной сетки, в котором расположена точка A :

$$x_{ю} = 6065 \text{ км} = 6\,065\,000 \text{ м};$$

$$y_3 = 4311 \text{ км} = 4\,311\,000 \text{ м.}$$

Из заданной точки опускаем перпендикуляры $\Delta x = Aa_{ю}$ и $\Delta y = Aa_3$ на южную и западную стороны квадрата координатной сетки. Длину перпендикуляров измеряем в метрах по масштабу карты. В дан-

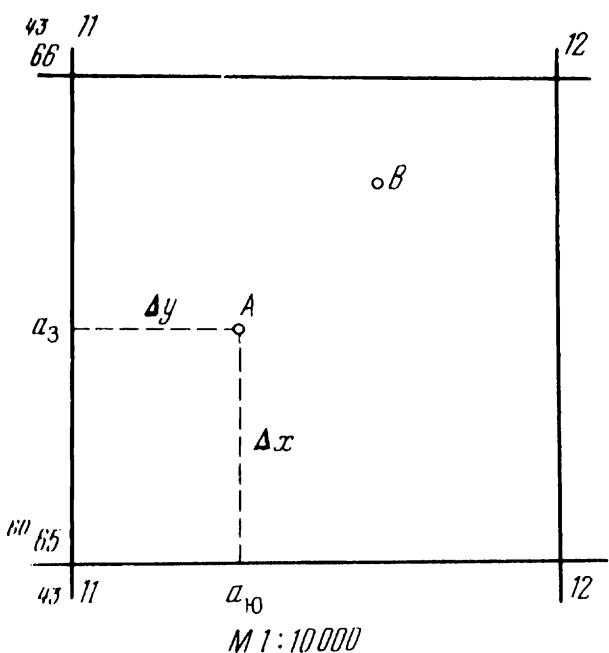


Рис. 4. Геодезические координаты точек

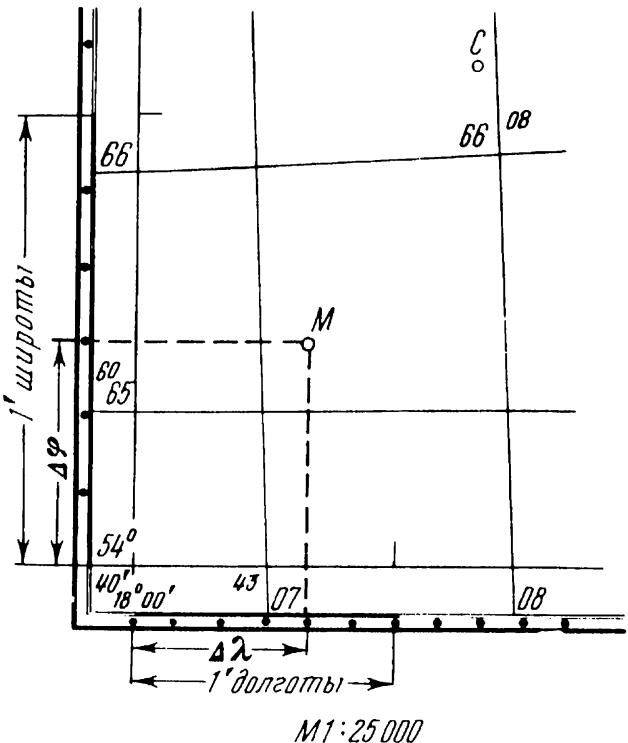


Рис. 5. Географические координаты точки

ном примере $\Delta x = +480$ м, $\Delta y = +350$ м. Прямоугольные координаты точки A определяем по формулам

$$x_A = x_0 + \Delta x;$$

$$y_A = y_3 + \Delta y;$$

$$x_A = 6\,065\,000 + 480 = 6\,065\,480 \text{ м};$$

$$y_A = 4\,311\,000 + 350 = 4\,311\,350 \text{ м.}$$

56. Определить прямоугольные координаты точки B , заданной на топографической карте (см. рис. 4), приняв ее масштаб $1 : 10\,000$.

57. Определить географические координаты (широту φ_M и долготу λ_M) точки M , заданной на топографической карте масштаба $1 : 25\,000$ (рис. 5).

Решение:

Чтобы определить широту φ_M точки M , проводят через эту точку параллель – линию, параллельную южной стороне рамки карты. Пользуясь делениями, соответствующими минутам (расстояние между соседними точками на левой стороне рамки карты), определяют $\Delta\varphi$ (в минутах и секундах) от проведенной параллели до южной стороны рамки карты.

В рассматриваемом примере (см. рис. 5) $\Delta\varphi = 00'30''$, широта φ_0 южной рамки листа карты равна $54^\circ 40'$.

Широту точки M определяем по формуле

$$\varphi_M = \varphi_{\text{ю}} + \Delta\varphi,$$

$$\varphi_M = 54^\circ 40' + 00'30'' = 54^\circ 40'30''.$$

Для определения долготы λ_M проводят через точку M истинный меридиан — линию, параллельную западной стороне рамки карты. По указанным делениям, соответствующим одной минуте долготы, находят расстояние $\Delta\lambda$ от проведенного меридиана до западной стороны рамки карты. В данном примере $\Delta\lambda = 00'40''$.

Долгота западной рамки листа карты $\lambda_3 = 18^\circ 00'$.

Долготу точки M находим по формуле

$$\lambda_M = \lambda_3 + \Delta\lambda,$$

$$\lambda_M = 18^\circ 00' + 00'40'' = 18^\circ 00'40''.$$

58. Определить географические координаты φ_C и λ_C точки C , расположенной на топографической карте масштаба 1 : 25 000 (см. рис. 5).

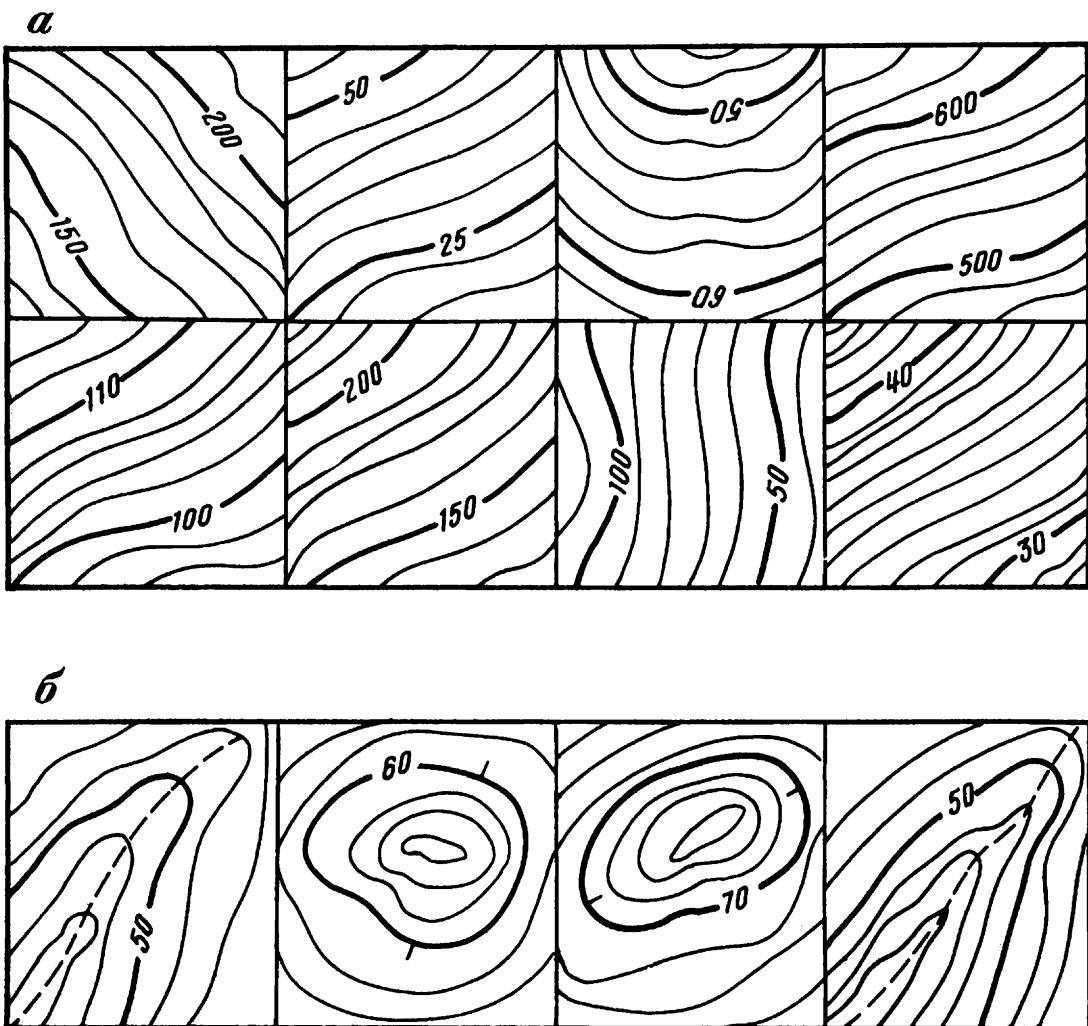


Рис. 6. Виды рельефа, изображенные горизонтальными

§ 9. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

59. Определить высоту сечения рельефа h в метрах на планах с горизонтальными, приведенными на рис. 6, а.

60. Зарисуйте в рабочую тетрадь и подпишите названия форм рельефа и штриховых линий, изображенных на рис. 6, б.

§ 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ТОЧЕК ПЛАНЕ С ГОРИЗОНТАЛЯМИ

61. Определить высоту точки A , лежащей на горизонтали (рис. 7, а).

Если точка лежит на горизонтали, ее высота равна высоте горизонтали, на которой лежит заданная точка. В рассматриваемом примере (см. рис. 7, а) точка A расположена на горизонтали, высота которой 75 м, следовательно, $H_A = H_{\text{гор}} = 75$ м.

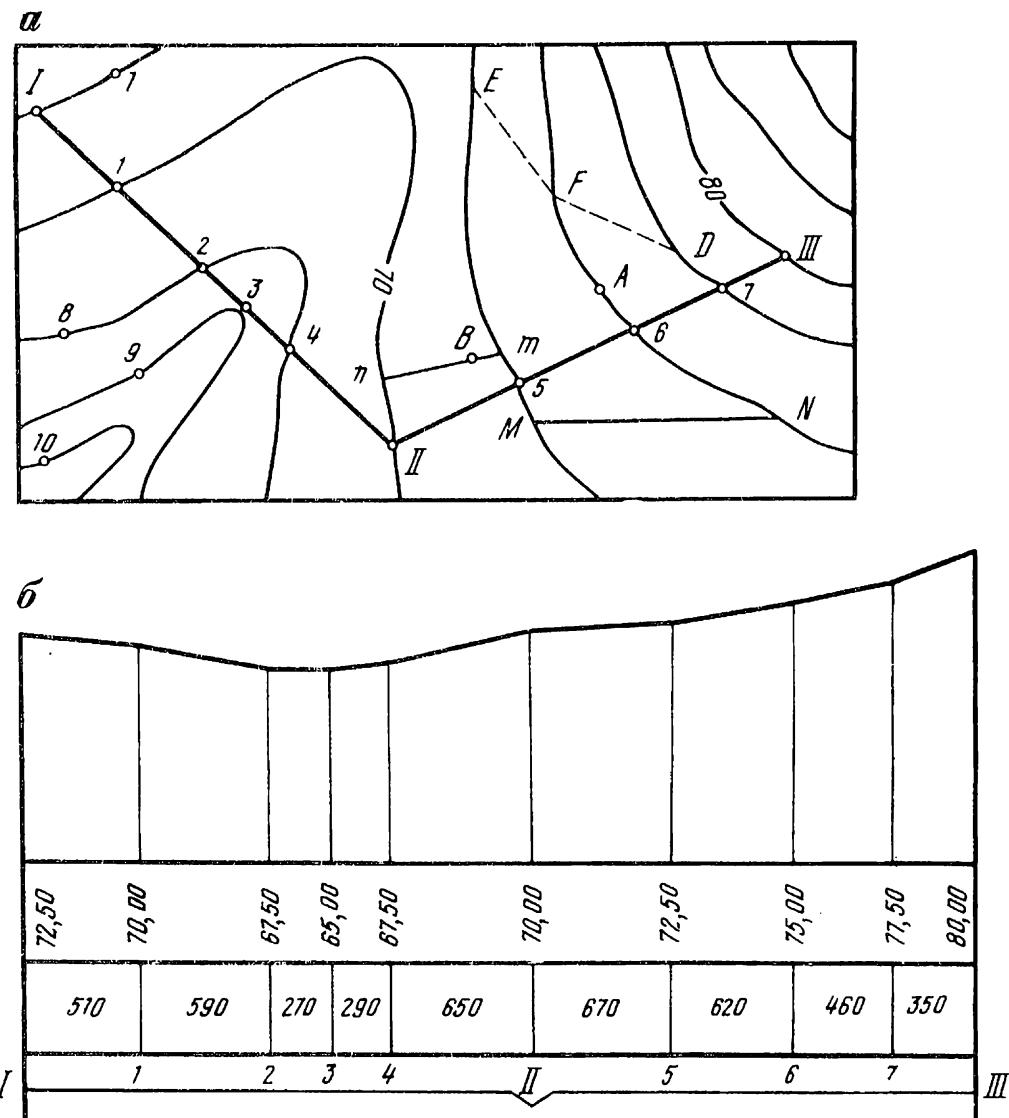


Рис. 7. План и профиль линии I – II – III

62. Определить высоту точки по данным рис. 7, а. Номер точки соответствует номеру варианта задачи (от 1 до 10).

63. Точка *B* лежит между горизонталями 70 и 72,5 м (см. рис. 7, а). Определить ее высоту.

Решение:

Высоту точки *B* определяем по формуле

$$H_B = H_{\text{г.н}} + \frac{nB}{mn} h_{\text{сеч}},$$

где $H_{\text{г.н}}$ – высота нижележащей горизонтали; $h_{\text{сеч}}$ – высота сечения рельефа; mn – кратчайшее расстояние между горизонталями, проходящее через точку *B*; nB – расстояние от точки *B* до нижележащей горизонтали.

В данном примере:

$$H_{\text{г.н}} = 70,0 \text{ м}; h_{\text{сеч}} = 2,5 \text{ м}; mn = 600 \text{ м}; nB = 450 \text{ м};$$

$$H_B = 70,0 + \frac{450}{600} \cdot 2,5 = 70,0 + 1,875 \approx 71,88 \text{ м.}$$

§ 11. УКЛОН ЛИНИИ, ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ

64. Определить уклон линии *MN*, если известны горизонтальное проложение линии на плане $d_{\text{пл}} = 12,5 \text{ см}$ (см. рис. 7, а), высота сечения рельефа $h_{\text{сеч}} = 2,5 \text{ м}$ и масштаб $1 : 1000$.

Решение:

Уклон линии вычисляем по формуле

$$i = \frac{h_{\text{сеч}}}{d_M},$$

где $h_{\text{сеч}}$ – высота сечения рельефа; d_M – горизонтальное проложение линии на местности.

Горизонтальное проложение на местности:

$$d_M = d_{\text{пл}} \cdot 1000 \text{ (знакомитель масштаба)},$$

$$d_M = 12,5 \text{ см} \cdot 1000 = 12500 \text{ см} = 125 \text{ м},$$

уклон

$$i = 2,5 : 125 = 0,02 = 20 \text{ \%}.$$

65. Определить уклон линии *i* с точностью до 0,1 % по данным табл. 28.

Таблица 28

Вариант	Масштаб	Высота сечения горизонтали, м	Длина линии на плане, см	Вариант	Масштаб	Высота сечения горизонтали, м	Длина линии на плане, см
1	1 : 25 000	5	2,1	6	1 : 1000	1	6,3
2	1 : 10 000	2,5	3,4	7	1 : 500	0,25	2,4
3	1 : 5000	5	4,0	8	1 : 250	0,1	13,0
4	1 : 2500	2	5,3	9	1 : 200	0,1	15,6
5	1 : 2000	1	4,9	10	1 : 50 000	10	7,4

66. Построить на плане масштаба 1 : 10 000 с высотой сечения рельефа $h_{\text{сеч}} = 2,5$ м из точки D линию с уклоном 4 %.

Решение:

Определяем горизонтальное проложение линии на местности по формуле

$$d = h_{\text{сеч}} : i,$$

$$d_M = 2,5 \text{ м} : 0,004 = 625 \text{ м.}$$

Горизонтальное проложение на плане в масштабе 1 : 10 000

$$d_{\text{пл}} = 625 \text{ м} : 10 000 = 0,0625 \text{ м} = 6,25 \text{ см} = 62,5 \text{ мм.}$$

Берем раствор циркуля, равный 62,5 мм, и производим засечку из точки D на смежной горизонтали в заданном направлении, например в точке F , затем в точке E . Прямые DF и FE будут линиями заданного уклона (см. рис. 7, а).

67. По заданному уклону i , высоте сечения $h_{\text{сеч}}$ (табл. 29) определить горизонтальное проложение на плане $d_{\text{пл}}$.

Таблица 29

Вариант	$i, \%$	$h_{\text{сеч}}, \text{м}$	Вариант	$i, \%$	$h_{\text{сеч}}, \text{м}$
1	6,0	0,5	6	11,0	10,0
2	7,0	1,0	7	12,0	5,0
3	8,0	2,0	8	12,5	2,5
4	9,0	2,5	9	5	10,0
5	10,0	5,0	10	10,5	2,0

68. Построить профиль местности по заданной линии I – II – III на плане. Масштаб плана 1 : 10 000 (см. рис. 7, а).

Решение:

Нумеруем точки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 пересечения линии I – II – III с горизонталями. На листе миллиметровой бумаги проводим прямую линию и на ней в масштабе плана откладываем выпрямленную линию I – II – III с точками 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 (рис. 7, б). Затем чертим графы сетки профиля, в которые заносим высоты точек 1, 2, 3, 4, 5 и 6 и расстояния (в метрах) между ними (I – 1, 1 – 2, 2 – 3 и т.д.). К верхней линии сетки профиля восставляем перпендикуляры, на которых откладываем высоты точек, обычно в 10 раз крупнее масштаба плана. Соединив концы перпендикуляров, получаем продольный профиль по линии I – II – III (см. рис. 7, б).

В нижней граfe сетки профиля строим условный план с указанием длин отдельных прямых и углов поворота. При угле поворота вправо ставят уголок вверх, при угле поворота влево – вниз.

69. На плане, приведенном на рис. 7, а выбрать произвольную линию IV – V – VI и построить ее профиль по образцу, показанному на рис. 7, б.

§ 12. ПОСТРОЕНИЕ МАСШТАБОВ ЗАЛОЖЕНИЙ И УКЛОНОВ

70. Построить масштаб заложений для определения крутизны склонов при высоте сечения $h_{\text{сеч}} = 1 \text{ м}$.

Решение:

Из таблицы натуральных значений тригонометрических функций выписываем значения котангентов для углов 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20° или вычисляем их на микрокалькуляторе.

Величину заложений d определяют по формуле

$$d = h : \operatorname{tg} \alpha = h \cdot \operatorname{ctg} \alpha,$$

где d – заложение – расстояние между горизонталями по кратчайшему направлению (скату); $h_{\text{сеч}}$ – высота сечения горизонталей; α – угол наклона.

Заложение ската при $h_{\text{сеч}} = 1 \text{ м}$ численно равно котангенту ската (табл. 30):

$$d = 1 \text{ м} \cdot \operatorname{ctg} \alpha = \operatorname{ctg} \alpha, \text{ м.}$$

Таблица 30

Угол наклона, угл. градус	Заложение ската, м	Угол наклона, угл. градус	Заложение ската, м
1	57,3	5	11,4
2	28,5	10	5,7
3	19,1	15	3,7
4	14,3	20	2,8

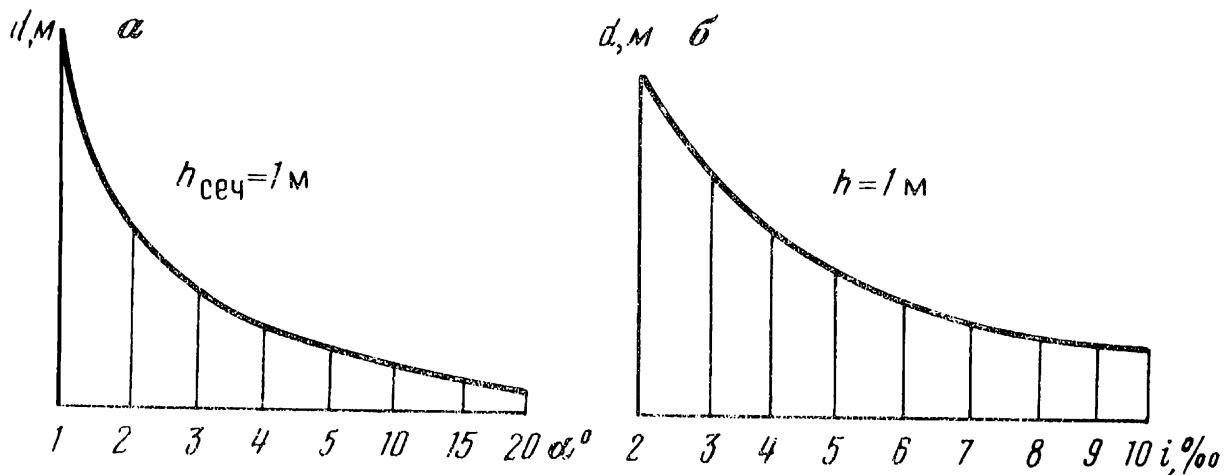


Рис. 8. Масштабы:

а — заложений; *б* — уклонов

Откладываем значения заложений в масштабе плана и соединяем их концы плавной кривой, получаем масштаб заложения для определения уклонов наклона (рис. 8, *а*).

71. Построить масштаб заложений для углов наклона 1, 2, 3, 5, 10, 15° при высоте сечения, приведенной в табл. 31.

Таблица 31

Вариант	Высота сечения, м	Вариант	Высота сечения, м
1	2	6	1
2	2,5	7	20
3	5	8	0,25
4	10	9	2
5	0,5	10	5

72. Построить масштаб уклонов. Высота сечения рельефа $h_{\text{сеч}} = 1 \text{ м}$.

Решение:

Задача сводится к определению величин заложения d_m на местности n метрах в зависимости от величины уклона i , при постоянном значении $h_{\text{сеч}}$:

$$d_m = h_{\text{сеч}} : i.$$

Подставляем в эту формулу различные значения i , например, 0,003; 0,004; 0,005 и т.д. Получаем величины заложения на местности в метрах (табл. 32).

Откладываем значения полученных заложений в масштабе плана *и*, соединяя их плавной кривой, получаем масштаб уклонов (рис. 8, *б*).

Таблица 32

Уклоны	Заложения на местности, м	Уклоны	Заложения на местности, м
0,002	500	0,007	143
0,003	333	0,008	125
0,004	250	0,009	111
0,005	200	0,010	100
0,006	167	0,020	50

Таблица 33

Вариант	Масштаб	Высота сечения, м	Вариант	Масштаб	Высота сечения, м
1	1 : 1000	0,5	6	1 : 500	0,5
2	1 : 1000	1	7	1 : 2000	1
3	1 : 2500	2	8	1 : 2500	2,5
4	1 : 5000	2,5	9	1 : 5000	5
5	1 : 10 000	5	10	1 : 10 000	10

73. Построить масштаб уклонов для заданных высот сечения и масштабов плана, приведенных в табл. 33.

Глава V. ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ

§ 13. АЗИМУТЫ ИСТИННЫЕ И МАГНИТНЫЕ, ДИРЕКЦИОННЫЕ УГЛЫ

74. Определить истинный азимут линии A_{ii} , если известны магнитный азимут этой же линии $A_m = 63^\circ$ и величина восточного склонения $\delta_v = 1^\circ 26'$.

Решение:

Истинный азимут (рис. 9, а) определяется по формулам:

$$A_{ii} = A_m + \delta_v - \text{склонение восточное};$$

$$A_{ii} = A_m - \delta_z - \text{склонение западное};$$

$$A_{ii} = 63^\circ 00' + 1^\circ 26' = 64^\circ 26'.$$

75. По данным табл. 34 определить истинный азимут линии 1 – 2 и вычертить схему.

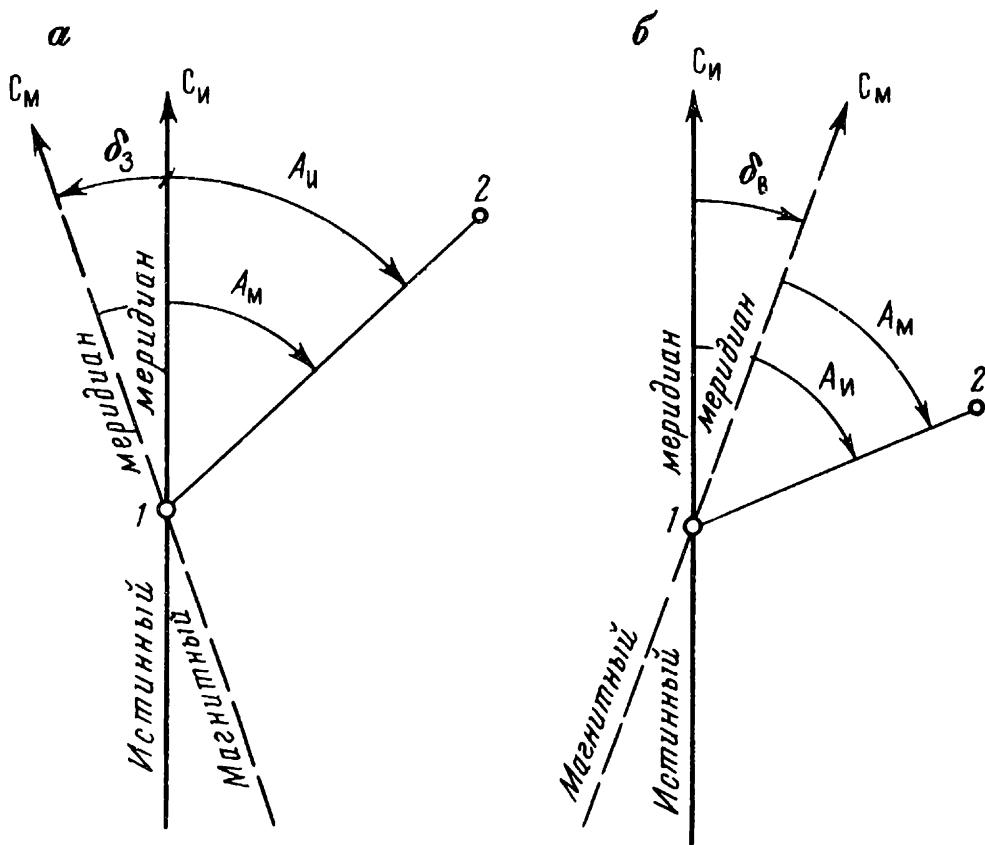


Рис. 9. Склонение магнитной стрелки:

а – западное; *б* – восточное

Таблица 34

Вариант	Склонение $\delta_{\text{в}}$	Магнитный азимут $A_{\text{м}}$	Вариант	Склонение δ_3	Магнитный азимут $A_{\text{м}}$
1	0°31'	59°24'	6	3°14'	68°32'
2	0 26	72 55	7	5 18	91 03
3	2 15	83 07	8	2 51	135 10
4	1 33	98 18	9	0 40	273 11
5	1 04	156 13	10	1 19	302 51

76. Определить магнитный азимут линии 1 – 2 (см. рис. 9, *a*), если истинный азимут равен $A_i = 72^\circ 15'$. Склонение магнитной стрелки западное: $\delta_3 = 2^\circ 46'$.

Решение:

Из рис. 9, *a* и *б* видно, что:

$$A_m = A_i - \delta_{\text{в}} \quad \text{– склонение восточное;}$$

$$A_m = A_i + \delta_3 \quad \text{– склонение западное;}$$

$$A_m = 72^\circ 15' + 2^\circ 46' = 75^\circ 01'.$$

77. По данным табл. 35 определить магнитный азимут линии 1 – 2.

Таблица 35

Вариант	Истинный азимут A_i	Склонение δ_z	Вариант	Истинный азимут A_i	Склонение δ_b
1	343°20'	5°15'	6	93°18'	0°26'
2	302°06'	2°04'	7	118°33'	1°17'
3	263°17'	3°16'	8	148°19'	2°49'
4	191°04'	1°25'	9	202°16'	4°44'
5	115°23'	0°38'	10	237°14'	5°26'

78. Определить дирекционный угол α_1 , если известны истинный азимут этой линии $A = 124°15'$ и величина сближения меридианов $\gamma_1 = 5°16'$ (сближение меридианов западное).

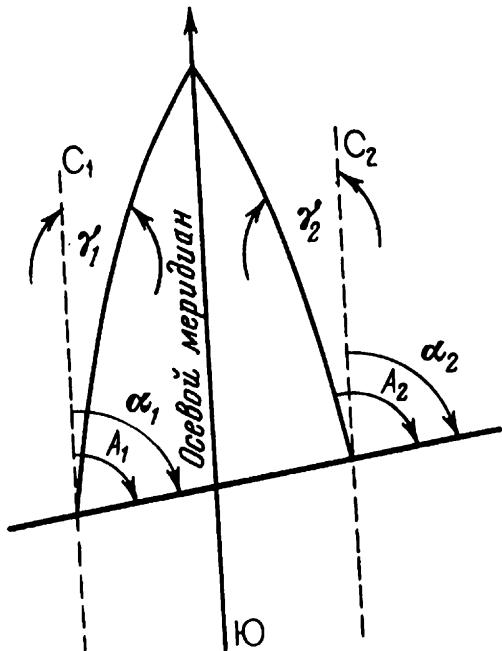
Решение:

Дирекционный угол (рис. 10) определяем по формулам:

$$\alpha_1 = A_1 + \gamma_1 - \text{при западном сближении меридианов};$$

$$\alpha_2 = A_2 - \gamma_2 - \text{при восточном сближении меридианов}.$$

Рис. 10. Схема сближения меридианов



В данном примере

$$\alpha_1 = 124°15' + 5°16' = 129°31'.$$

79. По данным, приведенным в табл. 36, определить дирекционные углы α_1 или α_2 (см. рис. 10). Вычеркнуть схему.

Таблица 36

Вариант	γ_1	A_1	Вариант	γ_2	A_2
1	0°15'	42°16'	6	0°06'	56°33'
2	0 22	73 24	7	0 10	73 12
3	0 13	65 43	8	0 08	86 14
4	0 11	72 18	9	0 07	38 55
5	0 05	76 55	10	0 04	43 07

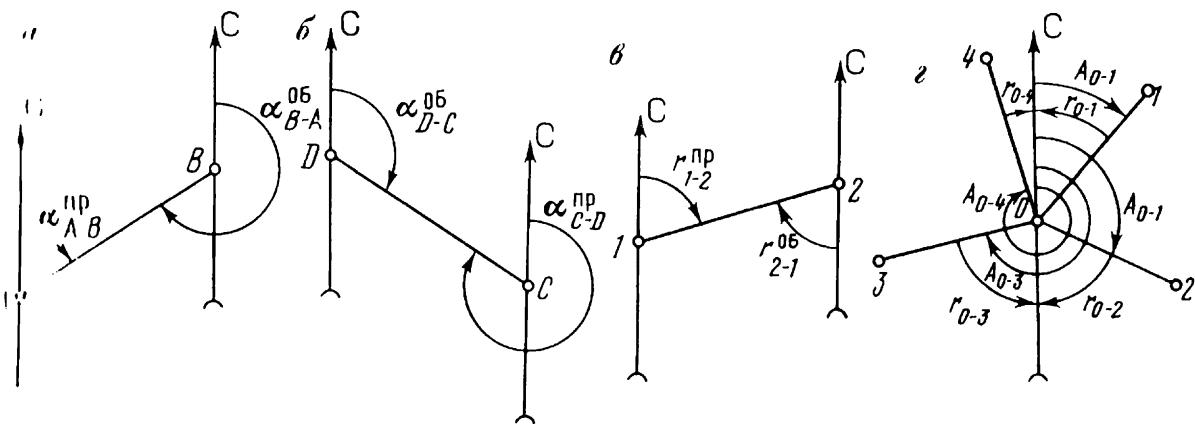


Рис. 11. Азимуты и румбы

80. Прямой дирекционный угол линии $A - B$ (рис. 11, а) равен $54^{\circ} 28'$. Определить обратный дирекционный угол линии $A - B$.

Решение:

Прямой дирекционный угол отличается от обратного на 180° , тогда обратный дирекционный угол равен

$$\alpha_{B-A}^{06} = \alpha_{A-B}^{pr} \pm 180^{\circ}.$$

Если $\alpha_{A-B}^{pr} > 180^{\circ}$, ставится знак "−", если $\alpha_{A-B}^{pr} < 180^{\circ}$ – знак "+".

$$\alpha_{B-A}^{06} = 54^{\circ} 28' + 180^{\circ} = 234^{\circ} 28'.$$

81. Определить обратный дирекционный угол α_{D-C}^{06} (рис. 11, б), если прямой дирекционный угол $\alpha_{C-D}^{pr} = 293^{\circ} 16'$.

Решение:

$$\alpha_{D-C}^{06} = 293^{\circ} 16' - 180^{\circ} = 113^{\circ} 16'.$$

82. Определить обратный дирекционный угол α_{2-1}^{06} , если известен прямой дирекционный угол α_{1-2}^{pr} (табл. 37). Вычертить схему.

Таблица 37

Вариант	α_{1-2}^{pr}	Вариант	α_{1-2}^{pr}
1	$24^{\circ} 10'$	6	$127^{\circ} 33'$
2	$38^{\circ} 43'$	7	$186^{\circ} 19'$
3	$49^{\circ} 07'$	8	$256^{\circ} 01'$
4	$69^{\circ} 32'$	9	$284^{\circ} 12'$
5	$97^{\circ} 24'$	10	$331^{\circ} 16'$

§ 14. ИСТИННЫЕ И МАГНИТНЫЕ РУМБЫ.
ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ АЗИМУТАМИ И РУМБАМИ

83. Определить обратный румб линии $r_{2-1}^{\text{об}}$ по заданному прямому румбу $r_{1-2}^{\text{пр}}$ (рис. 11, в). Из рис. 11, в $r_{2-1}^{\text{пр}} = r_{1-2}^{\text{об}}$, т.е. по градусной величине румб прямой равен румбу обратному и противоположен по направлению. Прямой румб линии $r_{1-2}^{\text{пр}} = \text{СВ} : 56^\circ 17'$.

$$r_{2-1}^{\text{об}} = r_{1-2}^{\text{пр}} = 56^\circ 17'; \quad r_{2-1}^{\text{об}} = \text{ЮЗ} : 56^\circ 17'.$$

84. Дан прямой румб линии $1 - 2 r_{1-2}^{\text{пр}}$, определить обратный румб этой же линии $r_{2-1}^{\text{об}}$ по данным табл. 38. Вычертить схему.

Таблица 38

Вариант	$r_{1-2}^{\text{пр}}$	Вариант	$r_{1-2}^{\text{пр}}$
1	ЮВ : $16^\circ 17'$	6	ЮВ : $76^\circ 02'$
2	СВ : $55^\circ 23'$	7	ЮЗ : $83^\circ 14'$
3	ЮЗ : $41^\circ 40'$	8	СЗ : $11^\circ 52'$
4	СЗ : $59^\circ 33'$	9	СВ : $46^\circ 17'$
5	СВ : $29^\circ 36'$	10	ЮЗ : $15^\circ 15'$

85. Дан азимут линии $0 - 2 A_{0-2} = 165^\circ 27'$. Определить румб этой же линии. Из рис. 11, г зависимость между азимутами и румбами можно выразить:

$$1 \text{ четверть (СВ)} \quad r_1 = A_1; \quad A_1 = r_1;$$

$$2 \text{ четверть (ЮВ)} \quad r_2 = 180^\circ - A_2; \quad A_2 = 180^\circ - r_2;$$

$$3 \text{ четверть (ЮЗ)} \quad r_3 = A_3 - 180^\circ; \quad A_3 = 180^\circ + r_3;$$

$$4 \text{ четверть (СЗ)} \quad r_4 = 360^\circ - A_4; \quad A_4 = 360^\circ - r_4.$$

В данном примере

$$r_{0-2} = 180^\circ - 165^\circ 27' = \text{ЮВ} : 14^\circ 33'.$$

86. Определить румб линии r по заданному азимуту (табл. 39).

Таблица 39

Вариант	A	Вариант	A
1	$234^\circ 17'$	6	$39^\circ 41'$
2	$156^\circ 18'$	7	$263^\circ 44'$
3	$74^\circ 55'$	8	$152^\circ 07'$
4	$101^\circ 06'$	9	$259^\circ 14'$
5	$333^\circ 28'$	10	$98^\circ 18'$

87. Дан румб линии r . Определить азимут этой же линии по данным табл. 40. Вычертить схему.

Таблица 40

Вариант	r	Вариант	r
1	СВ : 14° 13'	6	ЮВ : 73° 24'
2	ЮВ : 43 01	7	ЮЗ : 16 14
3	ЮЗ : 73 26	8	СЗ : 17 55
4	СЗ : 27 41	9	ЮВ : 27 39
5	СВ : 81 23	10	ЮЗ : 57 43

15. ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ ДИРЕКЦИОННЫМИ УГЛАМИ, РУМБАМИ ДВУХ НАПРАВЛЕНИЙ И УГЛАМИ МЕЖДУ НИМИ

88. Даны дирекционные углы линий $1 - 2$ и $2 - 3$: $\alpha_{1-2} = 51^{\circ} 28'$ и $\alpha_{2-3} = 146^{\circ} 33'$. Определить угол β_2 (вправо по ходу лежащий) между линиями $1 - 2$ и $2 - 3$ (рис. 12, a).

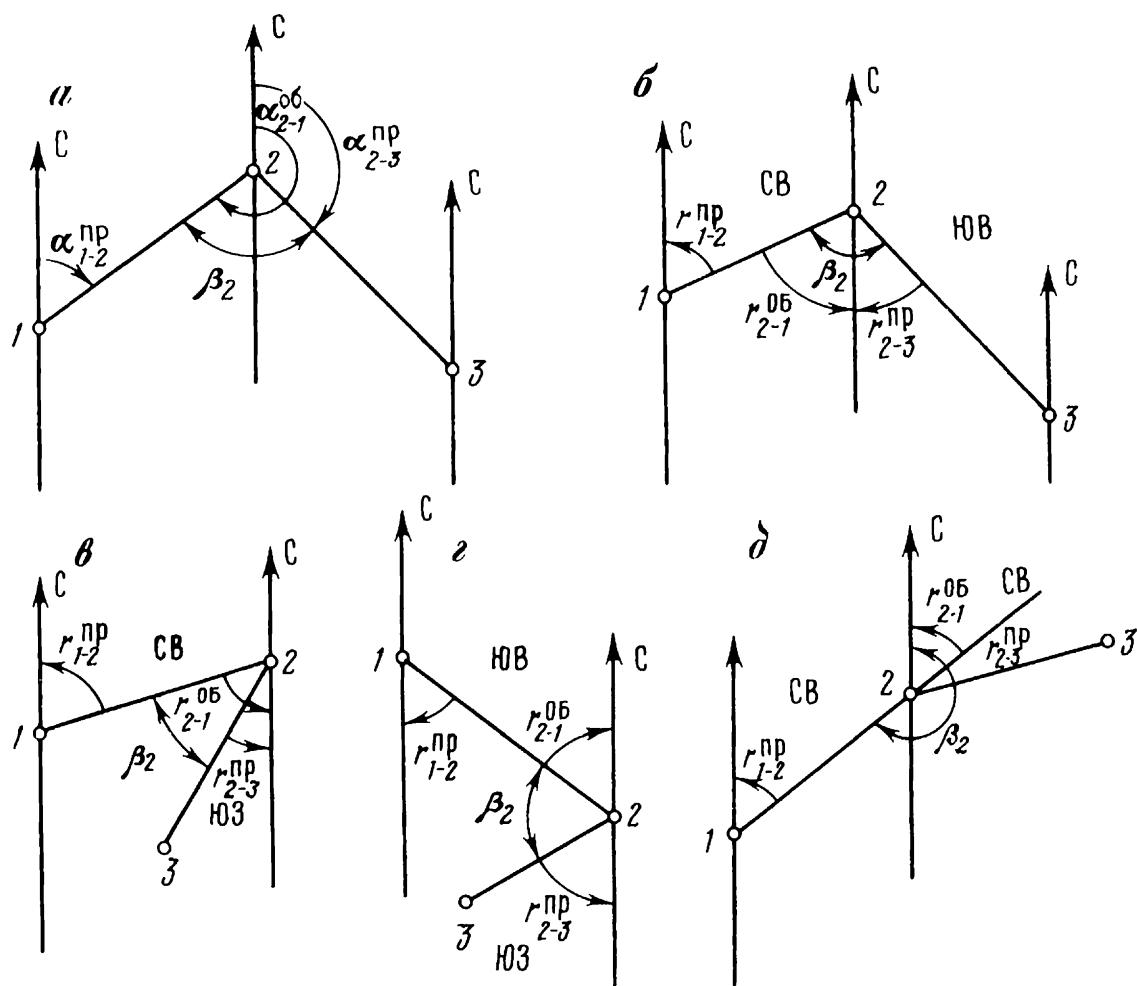


Рис. 12. Схемы определения внутренних углов

Решение:

Из рис. 12, а внутренний угол β_2 равен

$$\beta_2 = \alpha_{1-2}^{\text{пп}} + 180^\circ - \alpha_{2-3}^{\text{пп}};$$

$$\beta_2 = 51^\circ 28' + 180^\circ - 146^\circ 33' = 84^\circ 55'.$$

89. Определить вправо лежащий угол β_2 по данным табл. 41. Вычертить схему.

Таблица 41

Вариант	α_{1-2}	α_{2-3}	Вариант	α_{1-2}	α_{2-3}
1	84° 26'	155° 33'	6	132° 19'	234° 29'
2	41 17	124 37	7	150 06	240 10
3	65 43	147 19	8	215 42	350 08
4	83 22	158 53	9	232 05	349 37
5	124 30	218 07	10	129 49	285 20

90. Даны дирекционный угол $\alpha_{1-2} = 49^\circ 45'$ и вправо лежащий внутренний угол $\beta_2 = 77^\circ 26'$. Определить дирекционный угол (см. рис. 12, а).

Решение:

Из рис. 12, а находим дирекционный угол α_{2-3} :

$$\alpha_{2-3} = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2;$$

$$\alpha_{2-3} = 49^\circ 45' + 180^\circ - 77^\circ 26' = 162^\circ 19'.$$

91. Определить дирекционный угол α_{2-3} , если известны внутренний вправо лежащий угол β_2 и дирекционный угол α_{1-2} (табл. 42). Вычертить схему.

Таблица 42

Вариант	α_{1-2}	β_2	Вариант	α_{1-2}	β_2
1	36° 12'	65° 43'	6	102° 22'	86° 27'
2	48 03	73 24	7	125 34	73 22
3	69 54	60 28	8	146 18	80 13
4	73 07	62 01	9	186 14	61 29
5	92 15	71 28	10	224 16	95 28

92. Даны румбы двух линий $r_{1-2} = \text{СВ} : 48^\circ 23'$ и $r_{2-3} = \text{ЮВ} : 56^\circ 17'$. Определить вправо лежащий внутренний угол между линиями 1-2 и 2-3.

Решение:

Величина внутреннего угла зависит от расположения сторон угла.

$$\beta_2 = r_{1-2} + r_{2-3},$$

если в названии румбов одинаковы вторые буквы: СВ и ЮВ; СЗ и ЮЗ (рис. 12, б);

$$\beta_2 = r_{1-2} - r_{2-3},$$

если в названии румбов обе буквы разные: СВ и ЮЗ; ЮВ и СЗ (рис. 12, в);

$$\beta_2 = 180^\circ - (r_{1-2} + r_{2-3}),$$

если в названии румбов первые буквы одинаковые: СВ и СЗ; ЮВ и ЮЗ (рис. 12, г);

$$\beta_2 = 180^\circ - (r_{2-3} + r_{1-2}), \text{ или } \beta_2 = 180^\circ - (r_{2-3} - r_{1-2}),$$

если в названии румбов обе буквы одинаковые: СВ и СВ; ЮВ и ЮВ; ЮЗ и ЮЗ (рис. 12, д).

В данном примере (см. рис. 12, б)

$$\beta_2 = r_1 + r_2 = 48^\circ 23' + 56^\circ 17' = 104^\circ 40'.$$

93. Определить внутренний вправо лежащий по ходу угол β_2 , если известны румбы сторон, его образующих: r_{1-2} и r_{2-3} (табл. 43). Начертить схему.

Таблица 43

Вариант	r_{1-2}	r_{2-3}	Вариант	r_{1-2}	r_{2-3}
1	ЮВ : 24° 15'	ЮЗ : 70° 24'	6	ЮЗ : 51° 16'	СЗ : 53° 24'
2	СВ : 49 00	СВ : 64 17	7	СВ : 24 02	СВ : 62 50
3	СВ : 77 45	ЮЗ : 11 28	8	СЗ : 20 43	СВ : 86 31
4	СВ : 64 19	ЮВ : 48 06	9	ЮЗ : 13 21	ЮЗ : 68 44
5	ЮВ : 84 12	ЮВ : 29 13	10	ЮЗ : 42 14	СЗ : 28 19

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

Глава VI. ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ

§ 16. КОМПАРИРОВАНИЕ МЕРНЫХ ШТРИХОВЫХ ЛЕНТ

94. Длина полевого компаратора $D_k = 80,03$ м. При измерении его рабочей лентой получены результаты $D_1 = 80,09$ м; $D_2 = 80,07$ м и $D_3 = 80,11$ м. Определить длину рабочей ленты l_p (с точностью до 1 см).

Решение:

Находим среднее значение результатов измерения компаратора:

$$D_{cp} = (D_1 + D_2 + D_3) : 3,$$

$$D_{cp} = (80,09 + 80,07 + 80,11) : 3 = 80,09 \text{ м.}$$

Определяем отклонение рабочей, или нормальной 20-метровой ленты:

$$\Delta l = \frac{D_k - D_{cp}}{D_k} \cdot 20,$$

$$\Delta l = \frac{80,03 - 80,09}{80,03} \cdot 20 = \frac{-0,06 \cdot 20}{80,03} = \\ = -0,01499 = -0,015 \text{ м.}$$

Длину рабочей ленты определяем из уравнения

$$l_p = 20 + \Delta l_p = 20 + (-0,015) = 19,985 = 19,98 \text{ м.}$$

95. Определить длину 20-метровой рабочей ленты (с точностью до 1 см) по данным табл. 44.

Таблица 44

Вариант	D_k , м	D_{cp} , м	Вариант	D_k , м	D_{cp} , м
1	90	89,91	6	200	199,72
2	100	100,09	7	80	80,94
3	120	119,86	8	100	100,14
4	140	139,84	9	120	120,16
5	160	160,10	10	140	140,13

96. Определить длину рабочей ленты l_p , если она оказалась отличной от контрольной ленты $l_k = 20$ м на величину $\Delta l_p = -11$ мм.

Решение:

Для определения применяем уравнение рабочей ленты

$$l_p = l_k + \Delta l_p,$$

$$l_p = 20 - 0,011 = 19,989 \text{ м.}$$

97. По данным табл. 45 определить длину рабочей ленты.

Таблица 45

Вариант	$l_k, \text{м}$	$\Delta l_p, \text{м}$	Вариант	$l_k, \text{м}$	$\Delta l_p, \text{м}$
1	20,00	- 12	6	20,00	- 07
2	19,99	+ 10	7	20,00	- 08
3	20,00	+ 11	8	20,01	- 13
4	20,02	+ 08	9	19,99	+ 14
5	19,98	+ 09	10	20,00	+ 15

17. ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИН ЛИНИЙ НА МЕСТНОСТИ И МЛННЕРНОЙ ЛЕНТОЙ. ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

98. Двойное измерение линии на местности 2 категории произведено следующими данными:

в прямом направлении $D_{np} = 124,73$ м;

в обратном направлении $D_{ob} = 124,81$ м.

Определить абсолютную ΔD , относительную погрешность измерения и среднее значение длины линии, если относительная погрешность не превышает допустимую.

Решение:

Абсолютную погрешность определяем, как разность двух измерений:

$$\Delta D = 124,81 - 124,73 = 0,08 \text{ м};$$

относительная погрешность

$$\begin{aligned} \Delta D : D_{cp} &= 0,08 : (124,73 + 124,81) : 2 = 0,08 : 124,77 = \\ &= 1/124,77 : 0,08 = 1/1846. \end{aligned}$$

Допустимая относительная погрешность не должна превышать для:
 местности 1 категории 1/2000;
 местности 2 категории 1/1500;
 местности 3 категории 1/1000.

В данном примере $1/1846 < 1/1500$, что допустимо.

Находят среднее значение линии и принимают его как окончательное:

$$D_{\text{ср}} = (D_{\text{пр}} + D_{\text{об}}) : 2 = 124,73 + 124,81 = 124,77 \text{ м.}$$

99. Определить абсолютную ΔD , относительную $f_{\text{от}}$ погрешности двойного измерения и среднее значение линии $D_{\text{ср}}$, если относительная погрешность окажется допустимой (табл. 46).

Таблица 46

Вариант	$D_{\text{пр}}$, м	$D_{\text{об}}$, м	Категория местности	Вариант	$D_{\text{пр}}$, м	$D_{\text{об}}$, м	Категория местности
1	151,23	151,29	1	6	79,81	79,97	2
2	89,33	89,40	2	7	112,89	113,03	3
3	128,73	128,66	3	8	140,07	139,91	1
4	203,06	202,98	2	9	97,42	97,36	2
5	94,97	95,04	1	10	184,12	184,21	3

100. Землемерной 20-метровой лентой, которая короче контрольной на величину $\Delta l_p = -0,03 \text{ м}$, получен результат измерения линии $D_{\text{об}} = 169,38 \text{ м}$. Определить действительную длину линии D .

Решение:

С учетом поправки длину линии определяем по формуле

$$D = D_{\text{об}} \pm \Delta l_p \cdot n,$$

где n – число отложенных лент.

Знак "+" ставится в том случае, если лента длиннее контрольной, а знак "-" – если короче.

В данном примере

$$D = 169,38 - 0,03 \frac{169}{20} = 169,38 - 0,2535 = 169,13 \text{ м.}$$

101. По данным табл. 47 определить действительную длину линии D .

102. В табл. 48 приведены данные шести измерений линии 1 – 2. Определить среднюю квадратическую погрешность данного ряда измерения.

Таблица 47

Вариант	$D_{об}$, м	Δl_p , м	Вариант	$D_{об}$, м	Δl_p , м
1	154,43	+ 0,071	6	98,53	- 0,014
2	123,06	- 0,012	7	137,08	+ 0,026
3	89,55	- 0,020	8	234,56	- 0,031
4	207,86	+ 0,034	9	367,34	- 0,011
5	144,21	+ 0,018	10	298,55	+ 0,020

Таблица 48

Измерения	Результаты измерений	Измерения	Результаты измерений
1	187,53	4	187,49
2	187,62	5	187,60
3	187,51	6	187,55

Решение:

Определяем среднее арифметическое (вероятное) значение длины линий:

$$D_{cp} = 187 + \frac{0,53 + 0,62 + 0,51 + 0,49 + 0,60 + 0,55}{6} = 187,55 \text{ м.}$$

Определяем истинные погрешности Δ от вероятнейшего (среднего) значения длины линий D_{cp} :

$$\Delta = D_{cp} - D_{пр},$$

где $D_{пр}$ – результаты измерений по табл. 48.

$$\Delta_1 = 187,55 - 187,53 = +0,02;$$

$$\Delta_2 = 187,55 - 187,62 = -0,07;$$

$$\Delta_3 = 187,55 - 187,51 = +0,04;$$

$$\Delta_4 = 187,55 - 187,49 = +0,06;$$

$$\Delta_5 = 187,55 - 187,60 = -0,05;$$

$$\Delta_6 = 187,55 - 187,55 = 0,00.$$

Квадраты погрешностей измерений:

$$\Delta_1^2 = 0,0004; \quad \Delta_2^2 = 0,0049; \quad \Delta_3^2 = 0,0016;$$

$$\Delta_4^2 = 0,0036; \quad \Delta_5^2 = 0,0025; \quad \Delta_6^2 = 0.$$

Определяем сумму квадратов погрешностей:

$$\Sigma |\Delta^2| = 0,0004 + 0,0049 + 0,0016 + 0,0036 + 0,0025 + 0 = 0,0130.$$

Средняя квадратическая погрешность данного ряда измерений

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Sigma |\Delta^2|}{n}} = \pm \sqrt{\frac{0,013}{6}} = \pm 0,00217 \approx \pm 0,002 \text{ м.}$$

Предельная погрешность

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m = 3 \times 0,002 = 0,006 \text{ м.}$$

103. Линия 1 – 2 измерена четыре раза. Данные измерений приведены в табл. 49. Определить среднее арифметическое значение линий 1 – 1 и среднюю квадратическую погрешность измерений данного ряда.

Таблица 49

Вариант	Результаты измерений				Вариант	Результаты измерений			
	1	2	3	4		1	2	3	4
1	154,34	154,30	154,37	154,32	6	98,16	98,20	98,12	98,22
2	202,40	202,37	202,46	202,36	7	147,05	147,00	147,12	147,02
3	127,00	126,97	127,04	127,08	8	326,91	327,00	327,04	327,81
4	256,12	256,18	256,08	256,09	9	215,32	215,34	215,26	215,36
5	304,68	304,72	304,65	304,62	10	131,11	131,05	131,19	131,04

104. Линия D измерена 20-метровой землемерной лентой с шестью шпильками дважды. При измерении "туда" сделано 4 передачи $m = 4$, число шпилек у заднего мерщика $n = 3$ (не считая находящейся в земле шестой шпильки, которую в счете отложенных лент не учитывают). Длина остатка, т.е. расстояние от последней шпильки до конца линии, $q = 9,37$ м. При измерении обратно получены данные: $m = 4$; $n = 3$; $q = 9,53$ м. Местность 2 категории. Определить абсолютную, относительную погрешности и среднее значение линии.

Решение:

Длину линии определяем по формуле

$$D = m \cdot 100 + n \cdot 20 + q,$$

при измерении в прямом направлении (прямо)

$$D_{\text{пр}} = 4 \cdot 100 + 3 \cdot 20 + 9,37 = 469,37 \text{ м},$$

при обратном направлении (обратно)

$$D_{\text{об}} = 4 \cdot 100 + 3 \cdot 20 + 9,53 = 469,53 \text{ м};$$

абсолютная погрешность

$$\Delta D = 469,53 - 469,37 = 0,16 \text{ м};$$

среднее арифметическое значение двух измерений

$$D_{\text{ср}} = (D_{\text{пр}} + D_{\text{об}}) : 2 = (469,37 + 469,53) : 2 = 469,45 \text{ м}.$$

Относительная погрешность

$$f_{\text{отн}} = \frac{\Delta D}{D_{\text{ср}}} = \frac{1}{D_{\text{ср}} : \Delta D};$$

$$f_{\text{отн}} = \frac{1}{469,45 : 0,16} = \frac{1}{2934} ; \quad \frac{1}{2934} <$$

$$< \frac{1}{1500}, \quad \text{что допустимо.}$$

За окончательный результат принимаем среднее значение двух измерений линий

$$D_{\text{ср}} = 469,45 \text{ м.}$$

105. Определить абсолютную и относительную погрешности измерений и, если они допустимы, найти среднее значение длины линии по данным табл. 50.

Таблица 50

Вариант	$m_{\text{пр}},$ $m_{\text{об}}$	$n_{\text{пр}},$ $n_{\text{об}}$	$\frac{q_{\text{пр}}}{q_{\text{об}}}$	Категория местности	Вариант	$m_{\text{пр}},$ $m_{\text{об}}$	$n_{\text{пр}},$ $n_{\text{об}}$	$\frac{q_{\text{пр}}}{q_{\text{об}}}$	Категория местности
1	3	4	<u>7,34</u> 7,28	2	6	4	2	<u>15,43</u> 15,49	2
2	4	2	<u>13,21</u> 13,27	1	7	2	3	<u>3,54</u> 3,50	3
3	6	1	<u>11,15</u> 11,20	3	8	3	5	<u>19,00</u> 18,93	2
4	5	3	<u>14,41</u> 14,37	1	9	5	2	<u>16,03</u> 15,97	1
5	3	4	<u>18,66</u> 18,58	2	10	6	4	<u>17,81</u> 17,90	3

106. Землемерной лентой, откомпированной при температуре $t_0 = +19^\circ$, измерена линия при температуре $t = 25^\circ$. Длина линии оказалась $D = 267,25$ м. Определить длину линии D_0 с учетом поправки на температуру.

Решение:

Определяем поправку за температуру

$$\Delta D_t = D\alpha(t - t_0),$$

где α – коэффициент линейного расширения стали, равный $12 \cdot 10^{-6}$; t_0 – температура компарирования; t – температура измерения.

$$\Delta D_t = 267,25 \cdot 0,000012(25^\circ - 19^\circ) = 0,019 \text{ м.}$$

Определяем длину линии с учетом поправки за температуру:

$$D_0 = D + \Delta D_t = 267,25 + 0,019 = 267,27 \text{ м.}$$

107. По данным табл. 51 определить длину линии D_0 с учетом поправки за температуру ΔD_t .

Таблица 51

Вариант	D , м	t_0	t	Вариант	D , м	t_0	t
1	194,21	18°	12°	6	147,19	17°	29°
2	256,33	19	24	7	181,25	18	24
3	374,11	20	27	8	226,13	19	16
4	202,93	18	15	9	241,91	21	17
5	124,17	21	19	10	305,07	20	21

§ 18. ВЫЧИСЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЛОЖЕНИЙ

108. Длина наклонной линии, измеренной на местности, $D = 187,45$ м. Угол наклона линии к горизонту $\alpha = +5^\circ 20'$. Определить горизонтальное проложение d измеренной линии (рис. 13).

Решение:

Горизонтальное проложение d из рис. 13 определяем по формуле

$$d = D \cos \alpha.$$

Значение $\cos \alpha$ находим по таблицам натуральных значений тригонометрических функций, по таблицам для вычисления приращений коор-

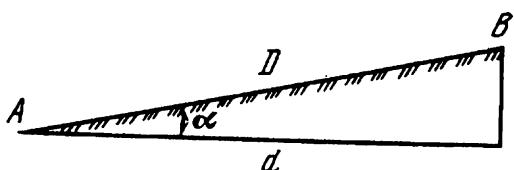


Рис. 13. Горизонтальное проложение

или с помощью микрокалькулятора. Значение $\cos \alpha$ по таблицам или данного примера:

$$\cos \alpha = \cos 5^\circ 20' = 0,99567.$$

$$d = 197,45 \cdot 0,99567 = 196,59504 \approx 196,60 \text{ м.}$$

Решение с помощью микрокалькулятора, например Б3-18А.

Для нахождения $\cos 5^\circ 20'$ необходимо выразить $20'$ в десятичных долях градуса: $20' : 60 = 0,333^\circ$.

Последовательность нажатия клавиш:

$$|\text{c}|5|\cdot|333|F|\cos| = | \text{ результат } 0,995671.$$

$$|\text{x}|1197|\cdot|45| = | \text{ результат } 196,5952 \approx 196,60 \text{ м.}$$

Горизонтальное проложение вычисляют и по таблицам поправок за наклон (прил. 1)

$$d = D - \Delta D_\alpha;$$

$$\Delta D_\alpha = D - d.$$

Поправку за наклон ΔD_α определяют по таблицам (прил. 1), составленным по формулам

$$\Delta D_\alpha = D(1 - \cos \alpha) = 2D \sin^2 \alpha / 2.$$

Для данного примера поправка за наклон

$D, \text{ м}$	$\Delta D_\alpha, \text{ см}$
100	43,0
90	39,0
7	3,03
0,45	0,19
<hr/>	
197,45	85,22

С точностью до 0,01 м $\Delta D_\alpha = 0,85 \text{ м.}$

$$d = D - \Delta D_\alpha = 197,45 - 0,85 = 196,60 \text{ м.}$$

109. По данным табл. 52 определить горизонтальное проложение линии двумя различными (рассмотренными выше) способами.

110. Длина измеренной наклонной линии равна $D = 242,56 \text{ м}$, угол

Таблица 52

Вариант	$D, \text{ м}$	α	Вариант	$D, \text{ м}$	α
1	125,32	4°	6	101,49	6°30'
2	184,03	4 30	7	150,38	5 40
3	202,55	5 30	8	224,71	6 20
4	167,28	5	9	256,32	6 40
5	91,50	6	10	302,93	7

наклона $\alpha = 7^\circ 30'$. Температура измерения $t = 27^\circ$. Землемерная лента, прокомпарированная при температуре $t_0 = 18^\circ$, имеет отклонение от контрольной 20-метровой ленты $\Delta l_p = +0,02 \text{ м}$. Определить горизонтальное проложение линии на местности с точностью до 0,01 м.

Решение:

Горизонтальное проложение линии с учетом поправок за наклон ΔD_α , за компарирование (неверность) землемерной ленты ΔD_k , за температуру ΔD_t , определяем по формуле

$$d = D - \Delta D_\alpha \pm \Delta D_k \pm \Delta D_t;$$

1. По таблице (прил. 1) определяем поправку за наклон $\alpha = 7^\circ 30'$.

$D, \text{ м}$	$\Delta D_\alpha, \text{ м}$
200	1,71
40	0,342
2	0,017
0,56	0,004
242,56	2,073 = 2,07 м.

2. Определяем поправку за компарирование

$$\Delta D_k = +0,02 \frac{242}{20} = +0,24 \text{ м.}$$

3. Определяем поправку за температуру

$$\Delta D_t = D \alpha (t - t_0),$$

$$\Delta D_t = 242,56 \cdot 0,000012 \cdot (27^\circ - 18^\circ) = +0,026 = +0,03 \text{ м.}$$

4. С учетом вычисленных поправок горизонтальное проложение равно $d = 242,56 - 2,07 + 0,24 + 0,03 = 240,76 \text{ м.}$

111. По данным табл. 53 определить горизонтальное проложение линии с учетом поправок.

таблица 53

Вариант	$D, \text{м}$	α	$\Delta l_p, \text{м}$	t	t_0
1	211,14	3° 30'	+ 0,04	27°	20°
2	229,37	4	+ 0,03	28	18
3	137,21	4 30	- 0,02	30	19
4	156,08	5	- 0,04	18	20
5	193,25	5 20	- 0,03	16	21
6	94,76	6	+ 0,05	17	19
7	129,15	6 20	+ 0,03	24	18
8	140,09	6 40	+ 0,04	23	16
9	130,54	7	+ 0,02	21	17
10	237,11	7 15	- 0,05	29	19

19 ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕПРИСТУПНЫХ РАССТОЯНИЙ

112. Определить ширину реки (неприступное расстояние) по результатам измерения (рис. 14, а):

$$l_1 = 124,29 \text{ м}; \quad \beta_1 = 64^\circ 24'; \quad \alpha_1 = 81^\circ 40';$$

$$l_2 = 123,56 \text{ м}; \quad \beta_2 = 72^\circ 15'; \quad \alpha_2 = 72^\circ 06'.$$

Решение:

Из треугольников CBB_1 и C_1BB_1 с общей стороной d

$$d = l_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin(\beta_1 + \alpha_1)} =$$

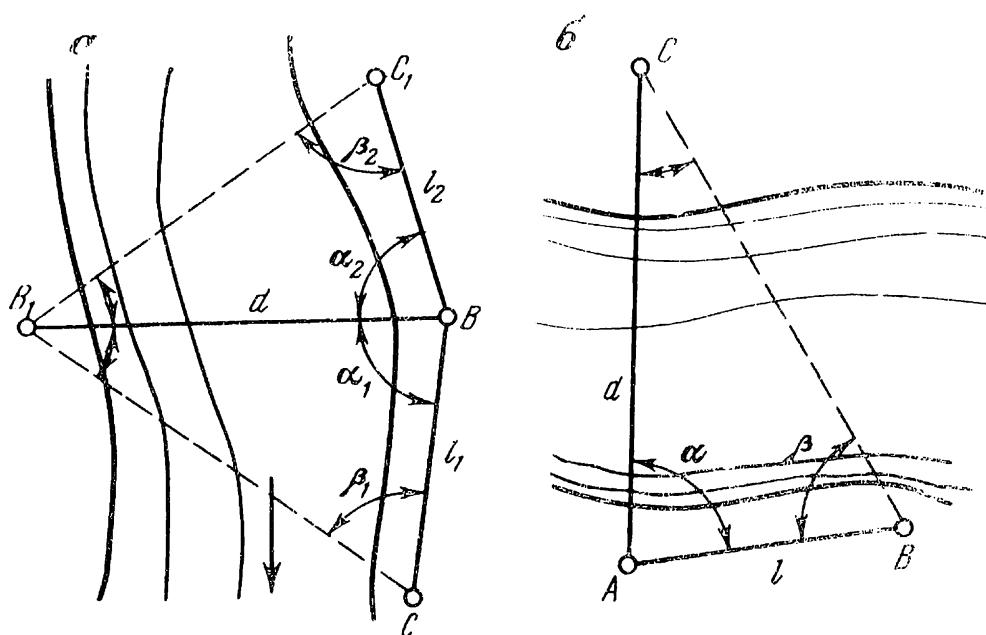


рис. 14. Схема определения неприступных расстояний

$$d = l_2 \frac{\sin \beta_2}{\sin (\alpha_2 + \beta_2)} ;$$

$$d = 124,92 \frac{\sin 64^\circ 24'}{\sin (64^\circ 24' + 81^\circ 40')} = 124,92 \cdot 1,615497 = \\ = 201,81 \text{ м};$$

$$d = 123,56 \frac{\sin 72^\circ 15'}{\sin (72^\circ 06' + 72^\circ 15')} = 123,56 \cdot 1,63408 = \\ = 201,90 \text{ м.}$$

Определяют относительную погрешность измерения

$$\frac{l_1 - l_2}{l_1} = \frac{201,81 - 201,90}{201,81} = \frac{-0,09}{201,81} = \frac{1}{201,81 : 0,09} = \\ = \frac{1}{2242} ; \quad \frac{1}{2242} < \frac{1}{2000} , \text{ что допустимо.}$$

Находят среднее значение линии BB_1 :

$$BB_1 = \frac{201,81 + 201,90}{2} = 201,86.$$

113. Вычислить неприступное расстояние d по данным табл. 54 рис. 14, б.

Таблица 54

Вариант	l , м	α	β	Вариант	l , м	α	β
1	72,33	90°	51°	6	120,14	92°	61°
2	64,51	86	54	7	101,07	94	57
3	58,92	81	52	8	131,29	90	55
4	91,00	88	50	9	140,44	88	54
5	86,15	91	57	10	95,86	89	56

Глава VII. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ ТЕОДОЛИТОМ

§ 20. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

114. Горизонтальный угол $1 - 2 - 3$ измерен теодолитом с точностью верньеров $t = 30''$. Вычислить средние отсчеты по верньерам и среднее значение угла.

I полуприем (круг право КП)

Точка № 1 (правая), отсчет по I верньеру $267^\circ 26'$,
 " " " II " $267^\circ 26'$.

Точка № 3 (левая), отсчет по I верньеру $193^\circ 10'$,
 " " " II " $193^\circ 11'$.

Средний отсчет на правую точку № 1

$$267^\circ \frac{26' + 26'}{2} = 267^\circ 26'.$$

Средний отсчет на левую точку № 3

$$193^\circ \frac{10' + 11'}{2} = 193^\circ 10'30''.$$

Величину угла β_2 определяют как разность средних отсчетов на правую точку (№ 1) и левую точку (№ 3):

$$\beta_2 = 267^\circ 26' - 193^\circ 10'30'' = 74^\circ 15'30''.$$

I полуприем (круг лево КЛ)

Точка № 1 (правая), отсчет по I верньеру $35^\circ 47'$,
 " " " II " $35^\circ 48'$.

Точка № 3 (левая), отсчет по I верньеру $321^\circ 31'$,
 " " " II " $321^\circ 32'$.

Средний отсчет на правую точку № 1

$$35^\circ \frac{47' + 48'}{2} = 35^\circ 47'30''.$$

Средний отсчет на левую точку № 3

$$321^\circ \frac{31' + 32'}{2} = 321^\circ 31'30''.$$

Величина угла β_2 из второго полуприема

$$\begin{aligned} \beta_2 &= 35^\circ 47'30'' + 360^\circ - 321^\circ 31'30'' = \\ &= 395^\circ 47'30'' - 321^\circ 31'30'' = 74^\circ 16'. \end{aligned}$$

Из двух полуприемов определяют разность измеренных углов

$$\Delta \beta = 74^\circ 16' - 74^\circ 15'30'' = 30''.$$

Пределная разность углов не должна превышать двойную точность верньера.

Для данного примера при $t = 30''$

$$\Delta\beta_{\text{доп}} = 2t = 2 \cdot 30'' = 1',$$

$30'' < 1'$, что допустимо.

Среднее значение угла

$$\beta_2 = (74^\circ 15'30'' + 74^\circ 16') : 2 = 74^\circ 15'45''.$$

Результаты измерения угла заносят в журнал измерения углов (табл. 55).

Таблица 55

№ точек		Отсчеты по верньерам		Средний отсчет	Угол из полу-приемов	Среднее значение угла
станций	наблюдений	I	II			
2	1	267°26'	26'	267°26'	74°15'30''	74°15'45''
	П	193 10	11	193°10'3''		
	3	35 47	48	35°47'30''	74°16'	
2	1	321 31	32	321 31 30		
	Л					
	3					

115. Горизонтальный угол измерен способом полных приемов. По данным табл. 56 определить средние отсчеты, углы и среднее значение угла. Результаты занести в журнал измерения углов (см. табл. 55).

Таблица 56

Вариант	№ точек		Отсчеты по верньерам	
	стояния	наблюдения	I	II
1	П	1	356°49'	49'30''
	2	3	283 15	15
	Л	1	249 42	42 30
	2	3	176 08	07 30
	П	5	176 38	39
	6	7	55°17'30''	17

Продолжение табл. 56

Но р и в ит	№ точек		Отсчеты по верньерам	
	стояния	наблюдения	I	II
2	Л	5	184 23 30	23
	6	7	63 02	02
3	П	7	220 43	43 30
	8	9	103 00	1
4	Л	7	124 15	15
	8	9	06°32'30"	32
5	П	9	215 38	38
	10	11	166 45	45 30
6	Л	9	46 17	17 30
	10	11	327°15'30"	15
7	Л	1	34 15 30	16
	2	3	01 13	13
8	Л	1	179 48	48
	2	3	146 45	45'30"
9	П	5	304 89	39
	6	7	214 01	01 30
10	Л	5	114 0 30	01
	6	7	23 13	14
11	П	9	206 09 30	10
	10	11	123 00	00
12	Л	9	126 48	48
	10	11	43 38	38 30
13	П	1	198 56	56
	2	3	143 43	34 30
14	П	1	104 23 30	23
	2	3	49 05	05 30
15	П	5	77 68	08 30
	6	7	21 62	62
16	Л	5	125 43	43
	6	7	69 37 30	37 30
17	П	7	288 50 30	50
	8	9	156 47	47 30
18	Л	7	109 06	06
	8	9	337 04	04 30

116. Горизонтальный угол измерен теодолитом Т30 способом приемов.

Определить угол и средний угол по данным журнала измерения углов (табл. 57).

Таблица 57

№ точек		Отсчет по горизонтально-му кругу	Угол	Средний угол
стояния	наблюдения			
П	1	277° 18'	56° 16'	56° 16' 30''
	2	221 02		
	3	225 53		
Л	1	225 53	56 17	56° 16' 30''
	2	169 36		

Решение:

Величину угла находим как разность отсчетов по штриховому микроскопу при визировании трубы на правую, а затем на левую точки,

При круге право (КП)

$$\beta_2 = 277^\circ 18' - 221^\circ 02' = 56^\circ 16'.$$

При круге лево (КЛ)

$$\beta_2 = 225^\circ 53' - 169^\circ 36' = 56^\circ 17'.$$

Определяем ошибку измерения углов при КП и КЛ

$$\Delta\beta = 56^\circ 17' - 56^\circ 16' = 1'.$$

Ошибка не превышает $2t = 1'$, что допустимо.

Определяем средний угол

$$\beta_2 = (56^\circ 17' + 56^\circ 16') : 2 = 56^\circ 16'30''.$$

117. По данным табл. 58 определить угол и средний угол, измеренный теодолитом Т30. Результаты занести в журнал измерения углов (см. табл. 57).

Таблица 58

Вариант	№ точек		Отсчет по горизонтальному кругу
	стояния	наблюдения	
1	П	1	242° 23'
		2	116 11
	Л	1	359 55
		2	233 43
	П	2	18 17
		3	304 02

Продолжение табл. 58

Вариант	№ точек		Отсчет по горизонтальному кругу
	стояния	наблюдения	
2	Л 3	2 4	274°07' 199 14
	П 6	5 7	126 48 54 23
3	Л 6	5 7	329 17 256 26
	П 8	7 9	93 19 21 10
4	Л 8	7 9	201 44 129 35
	П 10	9 11	17 18 341 14
5	Л 10	9 11	105 41 69 36
	П 2	1 3	222 15 163 03
6	Л 2	1 3	337 42 278 31
	П 4	3 5	279 58 204 43
7	Л 4	3 5	160 07 84 51
	П 6	5 7	102 18 51 29
8	Л 6	5 7	204 50 154 02
	П 8	7 9	63 27 350 14
9	Л 8	7 9	144 49 71 35
	П 10	9 11	24 13 232 29
10	Л 10	9 11	139 55 348 10

**§ 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА НУЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО КРУГА.
ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ**

118. Определить место нуля (M_0) вертикального круга теодолита ТТ-5, если отсчеты по вертикальному кругу равны: $\Pi = 5^\circ 26'$; $\Lambda = 354^\circ 36'$.

Решение:

Место нуля определяют по формуле:

$$M_0 = \frac{\Pi + \Lambda + 360^\circ}{2};$$

$$M_0 = \frac{5^\circ 26' + 354^\circ 36' + 360^\circ}{2} = \frac{720^\circ 02'}{2} = 0^\circ 01'.$$

119. Определить место нуля вертикального круга теодолита ТТ-5 по отсчетам, приведенным в табл. 59.

Таблица 59

Вариант	Отсчеты по вертикальному кругу		Вариант	Отсчеты по вертикальному кругу	
	Π	Λ		Π	Λ
1	$7^\circ 12'$	$352^\circ 59'$	6	$356^\circ 03'$	$3^\circ 56'$
2	$349^\circ 20'$	$10^\circ 38'$	7	$12^\circ 44'$	$341^\circ 18'$
3	$8^\circ 31'$	$351^\circ 28'$	8	$354^\circ 00'$	$6^\circ 01'$
4	$9^\circ 05'$	$350^\circ 54'$	9	$8^\circ 13'$	$351^\circ 46'$
5	$352^\circ 29'$	$7^\circ 29'$	10	$353^\circ 18'$	$6^\circ 43'$

120. Вертикальный угол измерен теодолитом Т30. Найти место нуля (M_0) вертикального круга при $\Pi = 5^\circ 21'$ и $\Lambda = 174^\circ 40'$.

Решение:

$$M_0 = (\Pi + \Lambda + 180^\circ) : 2;$$

$$M_0 = (5^\circ 21' + 174^\circ 40' + 180^\circ) : 2 = 360^\circ 01' : 2 = 180^\circ 0,5' = 0^\circ 0'30''.$$

121. По данным табл. 60 определить M_0 вертикального круга теодолита Т30.

122. Угол наклона измерен теодолитом ТТ-5. Отсчеты по вертикальному кругу $\Pi = 8^\circ 21'$; $\Lambda = 351^\circ 37'$; определить угол наклона (вертикальный угол).

Решение:

Угол наклона вычисляем по формулам

$$\alpha = (\Pi - \Lambda) : 2; \quad \alpha = \Pi - M_0; \quad \alpha = M_0 - \Lambda.$$

Таблица 60

Вариант	Отсчеты по вертикальному кругу		Вариант	Отсчеты по вертикальному кругу	
	П	Л		П	Л
1	+ 3°29'	176°32'	6	2°33'	177°29'
2	5 11	174 50	7	173 19	6 43
3	172 02	7 59	8	6 05	173 57
4	168 24	11 37	9	165 00	4 58
5	4 39	175 20	10	7 28	172 31

Если отсчет меньше 90°, к нему прибавляем 360°:

$$\alpha = (8^\circ 21' + 360^\circ - 351^\circ 37') : 2 = 16^\circ 44' : 2 = 8^\circ 22';$$

$$M_0 = (\Pi + L) : 2 = (8^\circ 21' + 360^\circ + 351^\circ 37') : 2 = 359^\circ 59';$$

$$\alpha = 8^\circ 21' + 360^\circ - 359^\circ 59' = 8^\circ 22';$$

$$\alpha = 359^\circ 59' - 351^\circ 37' = 8^\circ 22'.$$

123. По данным табл. 59 определить угол наклона, измеренный теодолитом ТТ-5.

124. Определить вертикальный угол, измеренный теодолитом Т-30, если $\Pi = 12^\circ 16'$, $L = 167^\circ 45'$.

Решение:

$$\alpha = (L - \Pi - 180^\circ) : 2; \quad \alpha = M_0 - \Pi - 180^\circ; \quad \alpha = L - M_0.$$

Если углы П, Л или M_0 менее 90°, к ним прибавляем 360°:

$$\alpha = (167^\circ 45' - 12^\circ 16' - 180^\circ) : 2 = - 24^\circ 31' : 2 =$$

$$12^\circ 15'30'';$$

$$M_0 = (\Pi + L + 180^\circ) : 2;$$

$$M_0 = (12^\circ 16' + 167^\circ 45' + 180^\circ) : 2 = 180^\circ 00'30'' = 0^\circ 00'30'';$$

$$\alpha = 167^\circ 45' - 180^\circ 00'30'' = - 12^\circ 15'30'';$$

$$\alpha = 180^\circ 00'30'' - 12^\circ 16' - 180^\circ = - 12^\circ 15'30''.$$

125. По данным табл. 60 определить угол наклона, измеренный теодолитом Т30.

Глава VIII. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ И ГРАФИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

§ 22. УГЛОВАЯ НЕВЯЗКА И ЕЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

126. Определить величину и знак угловой невязки f_β , предельно допустимую угловую невязку в замкнутом теодолитном ходе с 5 вершинами. Сумма измеренных горизонтальных углов хода равна $539^\circ 59'$. Теодолит Т30, $t = 30''$.

Решение:

Определяем теоретическую сумму углов $\Sigma\beta_T$ замкнутого хода и сравниваем ее с суммой измеренных углов $\Sigma\beta_{из}$.

$$\Sigma\beta_T = 180^\circ (n - 2) = 180^\circ (5 - 2) = 540^\circ,$$

где n — число углов замкнутого хода.

Угловую невязку определяем по формуле

$$f_\beta = \Sigma\beta_{из} - \Sigma\beta_T,$$

$$f_\beta = 539^\circ 59' - 540^\circ = -0^\circ 01'.$$

Угловая невязка не должна превышать допустимую, определяемую III формулой

$$f_\beta \leq 1,5t\sqrt{n}.'$$

Предельно допустимая невязка

$$f_\beta = 1,5 \cdot 30'' \sqrt{5} = 0,75' \cdot 2,2 \approx 1,6'.$$

Фактическая невязка $01'$ не превышает предельно допустимую $1,6'$, следовательно, углы замкнутого теодолитного хода измерены требуемой точностью.

127. По данным табл. 61 определить допустимую $f_{\beta\text{доп}}$ и фактическую f_β невязки в замкнутом теодолитном ходе.

Таблица 61

Вариант	Сумма измеренных внутренних углов $\Sigma\beta_{из}$	Число углов n	Точность прибора t	Вариант	Сумма измеренных внутренних углов $\Sigma\beta_{из}$	Число углов n	Точность прибора t
1	$720^\circ 01'$	6	$30''$	6	$539^\circ 59'$	5	$1'$
2	$540^\circ 1'30''$	5	$1'$	7	$719^\circ 58'30''$	6	$30''$
3	$900^\circ 01$	7	$1'$	8	$859^\circ 59$	7	$1'$
4	$359^\circ 59$	4	$30''$	9	$1079^\circ 58'30$	8	$30''$
5	$1080^\circ 09'30$	8	$30''$	10	$360^\circ 01$	4	$30''$

Рис. 15. Схема теодолитного хода

128. Теодолитом Т30 при $t = 30''$ проложен диагональный (разомкнутый) ход между вершинами H и C полигона. Определить фактическую и допустимую угловую невязки диагонального теодолитного хода (рис. 15).

Решение:

Определяем теоретическую сумму углов разомкнутого хода (направо по ходу лежащих)

$$\Sigma \beta_{\text{т}} = \alpha_0 - \alpha_n + 180^\circ \cdot n,$$

где n — число вершин разомкнутого хода; α_0 — дирекционный угол начальной стороны; α_n — дирекционный угол конечной стороны, на которую опирается разомкнутый ход.

В данном примере (см. рис. 15)

$$\Sigma \beta_{\text{т}} = 286^\circ 19' - 135^\circ 22' + 180^\circ \cdot 4 = 870^\circ 57'.$$

Определяем фактическую сумму измеренных углов разомкнутого хода

$$\Sigma \beta_{\text{из}} = 135^\circ 10' + 142^\circ 37' + 130^\circ 00' + 103^\circ 11' = 510^\circ 58'.$$

Сумма измеренных углов разомкнутого хода может отличаться от теоретической на $\pm 360^\circ$:

$$f_{\beta} = 510^\circ 58' - (870^\circ 57' - 360^\circ) = 0^\circ 01'.$$

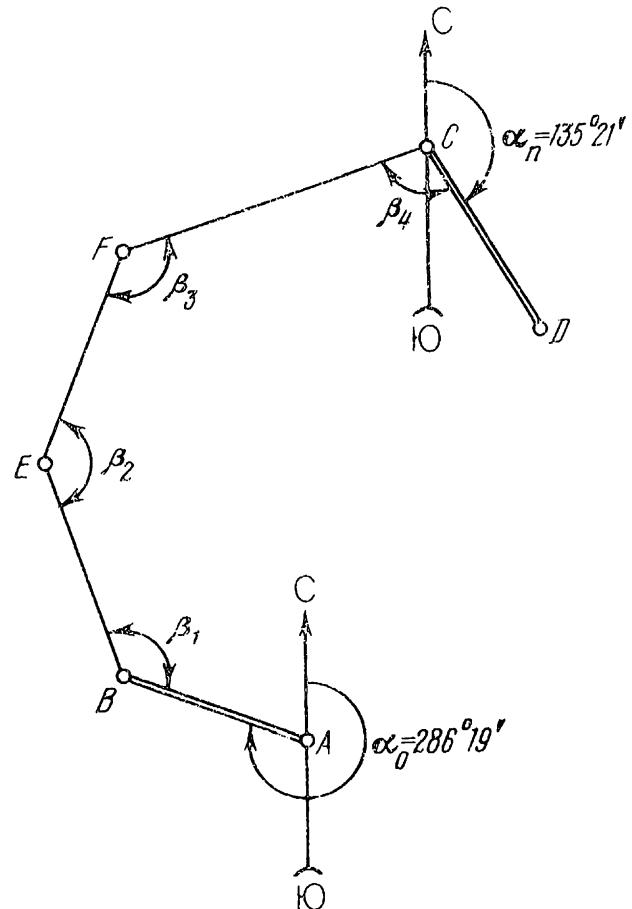
Предельно допустимая угловая невязка не должна превышать

$$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 2t\sqrt{n} = \pm 2 \cdot 30'' \sqrt{4} = \pm 120'',$$

Предельная невязка

$$f_{\beta \text{ доп}} = \pm 2 \cdot 30'' \sqrt{4} = \pm 120'',$$

$1' < 2'$, что допустимо.



129. По данным табл. 62 определить величину фактической и допустимой невязок разомкнутого хода, заключенного между сторонами с известными дирекционными углами α_0 и α_n . Измеренная сумма внутренних углов хода $\Sigma\beta_{из}$ дана в табл. 62.

Таблица 62

Вариант	α_0	α_n	$\Sigma\beta_{из}$	t	Число вершин разомкнутого хода
1	202°48'	128°33'	434°18'	1'	4
2	186 17	93 25	272 50	30''	3
3	193 56	157 12	396 42	30''	4
4	109 29	92 03	557 29	1'	5
5	237 48	97 12	320 30	1'	3
6	140 19	121 11	379 09	30''	4
7	272 00	154 43	427 19	30''	4
8	281 41	117 09	344 31	30''	3
9	189 14	101 02	268 15	1'	3
10	199 50	169 20	570 34	1'	5

§ 23. ВЫЧИСЛЕНИЕ ДИРЕКЦИОННЫХ УГЛОВ И РУМБОВ В ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДАХ

130. По дирекционным углам $\alpha_{1-2} = 67^\circ 12'$ и $\alpha_{2-3} = 147^\circ 09'$ сторон 1 – 2 и 2 – 3, образующим справа по ходу лежащий внутренний угол β_2 , определить его величину.

Решение:

Из рис. 16, а следует, что

$$\beta_2 = \alpha_{1-2}^{\text{обр}} - \alpha_{2-3},$$

обратный дирекционный угол

$$\alpha_{2-1}^{\text{обр}} = \alpha_{1-2} \pm 180^\circ.$$

Подставив значение обратного дирекционного угла, получим

$$\beta_2 = \alpha_{1-2} + 180^\circ - \alpha_{2-3},$$

$$\beta_2 = 67^\circ 12' + 180^\circ - 147^\circ 09' = 100^\circ 03'.$$

131. По данным табл. 63 вычислить внутренний (правый по ходу лежащий) угол β_2 , образованный сторонами 1 – 2 и 2 – 3 с известными дирекционными углами α_{1-2} и α_{2-3} . Вычертить схему.

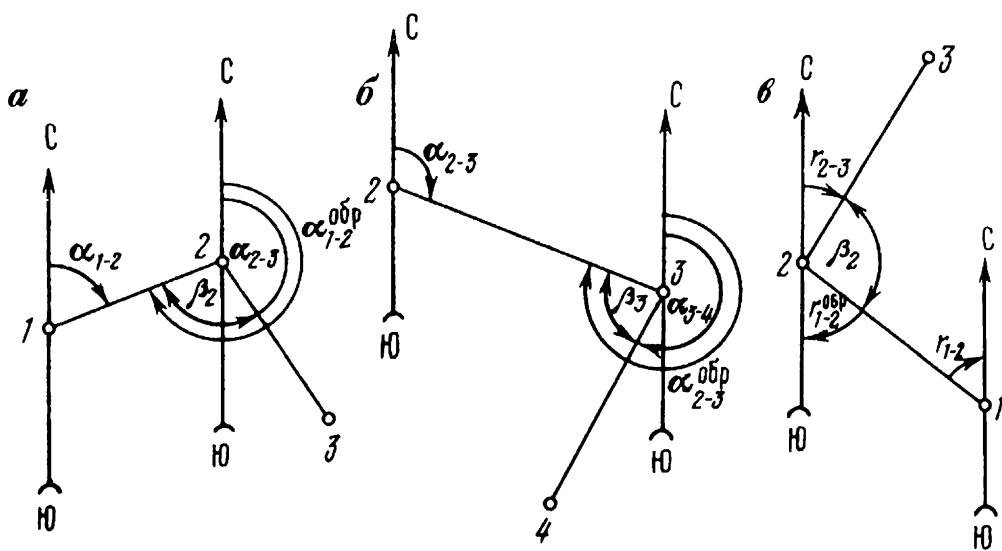


Рис. 16. Схемы определения дирекционных углов (а, б) и румбов (в)

Таблица 63

Вариант	α_{1-2}	α_{2-3}	Вариант	α_{1-2}	α_{2-3}
1	55°38'	116°31'	6	72°11'	138°44'
2	83°07'	202°14'	7	69°18'	217°15'
3	127°28'	241°50'	8	131°14'	256°32'
4	294°03'	42°15'	9	285°47'	51°12'
5	233°36'	307°42'	10	245°02'	312°56'

1.32. По измеренному дирекционному углу $\alpha_{2-3} = 110^\circ 07'$ стороны 3 и внутреннему углу $\beta_3 = 83^\circ 14'$ (рис. 16, б) определить дирекционный угол α_{3-4} .

Решение:

Дирекционный угол α_{3-4} определяем по формуле (см. рис. 16, б)

$$\alpha_{3-4} = \alpha_{3-2}^{\text{обр}} - \beta_3 = \alpha_{2-3} + 180^\circ - \beta_3,$$

$$\alpha_{3-4} = 110^\circ 07' + 180^\circ - 83^\circ 14' = 206^\circ 53'.$$

1.33. Вычислить дирекционный угол α_{3-4} по данным табл. 64, где приведены значения внутреннего правого угла β_3 и дирекционного угла α_{1-2} . Вычертить схему.

Таблица 64

Вариант	β_3	α_{2-3}	Вариант	β_3	α_{2-3}
1	86°14'	317°25'	6	100°44'	303°29'
2	102°03'	239°09'	7	87°12'	251°00'
3	72°13'	126°17'	8	94°01'	140°36'
4	68°09'	73°28'	9	83°22'	65°15'
5	114°51'	62°37'	10	89°19'	43°06'

134. Определить румб r_{2-3} линии 2 – 3, если измерен внутренний угол $\beta_2 = 93^\circ 12'$ и румб стороны 1 – 2, $r_{1-2} = \text{СВ} : 42^\circ 03'$ (рис. 16, в).

Из рис. 16, в определяем румб линии 2 – 3:

$$r_{2-3} = 180^\circ - (r_{2-1}^{\text{об}} + \beta_2),$$

$$\text{но } r_{2-1}^{\text{об}} = r_{1-2}^{\text{пр}},$$

$$r_{2-3} = 180^\circ - (42^\circ 03' + 93^\circ 12') = 44^\circ 45',$$

$$r_{2-3} = \text{СВ} : 44^\circ 45'.$$

135. Определить румб линии 2 – 3 по приведенным в табл. 65: румбу r_{1-2} и правому по ходу внутреннему углу β_2 .

Таблица 65

Вариант	r_{1-2}	β_2	Вариант	r_{1-2}	β_2
1	СВ : $35^\circ 11'$	$67^\circ 28'$	6	ЮВ : $30^\circ 32'$	$67^\circ 14'$
2	СЗ : $48^\circ 16'$	$83^\circ 22'$	7	ЮЗ : $29^\circ 19'$	$110^\circ 02'$
3	СВ : $55^\circ 00'$	$95^\circ 08'$	8	СВ : $37^\circ 25'$	$102^\circ 16'$
4	ЮЗ : $21^\circ 20'$	$89^\circ 16'$	9	СЗ : $69^\circ 11'$	$83^\circ 25'$
5	ЮВ : $40^\circ 51'$	$76^\circ 02'$	10	СВ : $56^\circ 08'$	$54^\circ 15'$

§ 24. ПРЯМАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРИРАЩЕНИЙ КООРДИНАТ

136. Вычислить приращение координат, если известный дирекционный угол $\alpha_{1-2} = 124^\circ 18'$ и горизонтальное проложение стороны 1 – 2 $d_{1-2} = 92,15 \text{ м}$ (рис. 17, а).

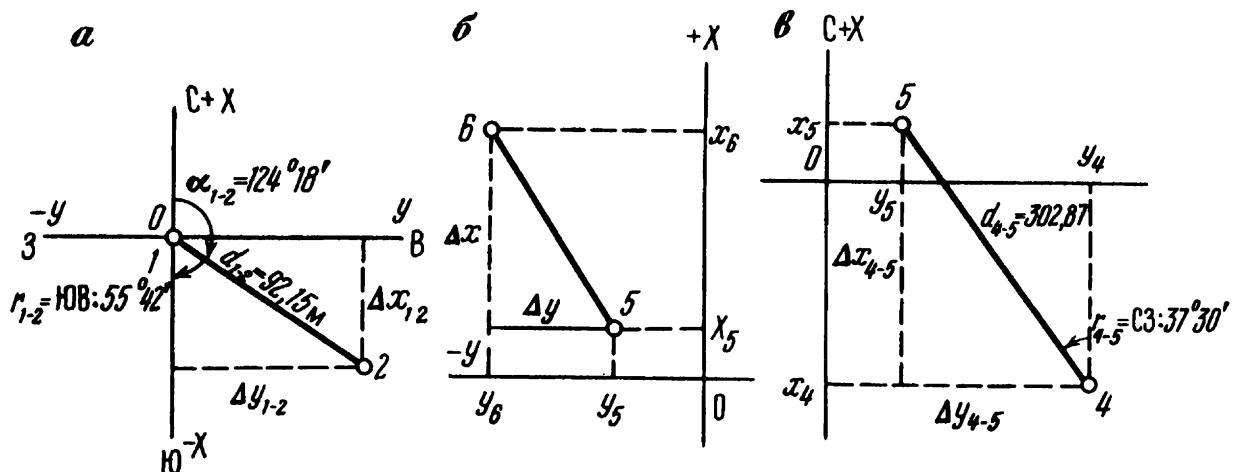


Рис. 17. Схемы для решения прямой геодезической задачи

Решение:

По измеренному дирекционному углу определяем румб этой линии, пользуясь приведенной табл. 66.

Таблица 66

Неличина дирекционных углов	$0 - 90^\circ$	$90 - 180^\circ$	$180 - 270^\circ$	$270 - 360^\circ$
Румбы	$r = \alpha$	$r = 180^\circ - \alpha$	$r = \alpha - 180^\circ$	$r = 360^\circ - \alpha$
Название румба	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ

В данном примере

$$r_{1-2} = 180^\circ - \alpha_{1-2} = 180^\circ - 124^\circ 18' = 10B : 55^\circ 42'.$$

Формулы для определения приращения координат:

$$\Delta x = d \cos r; \quad \Delta y = d \sin r; \quad \Delta z = \Delta x \operatorname{tg} r.$$

Знаки приращения координат зависят от названия румба:

Название румба:	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ
Знаки:				
Δx	+	-	-	+
Δy	+	+	-	-

Определяем приращения координат несколькими способами. Результаты округляем до 0,01 м.

1. С помощью микрокалькулятора при нахождении значений тригонометрических функций необходимо выражать число минут румба в деситичных значениях градуса, например: $24' = 24 : 60 = 0,4^\circ$; $42' = 42 : 60 = 0,7^\circ$ и т.д.

В данном примере

$$\Delta x_{1-2} = d_{1-2} \cos r_{1-2} = 92,15 \cos 55^\circ 42';$$

$$\Delta y_{1-2} = d_{1-2} \sin r_{1-2} = 92,15 \sin 55^\circ 42'.$$

Последовательность нажатия клавиш на микрокалькуляторе, например "Электроника Б3-18А":

|C|55|•|7|F|cos|x|92·15|=| результат 51,92892;

|C|55|•|7|F|sin|x|92·15|=| результат 76,12493.

Округлив до 0,01, с учетом знаков

$$\Delta x = -51,93 \text{ м}; \quad \Delta y = +76,12 \text{ м}.$$

2. С применением "Таблиц для вычисления прямоугольных координат с контролем" (прил. 2)

$$\Delta x_{1-2} = 92,15 \cdot 0,56353 = 51,93 \text{ м};$$

$$\Delta y_{1-2} = \Delta x \operatorname{tg} r_{1-2} = 51,929 \cdot 1,4659 = 76,12 \text{ м.}$$

Для контроля пользуются формулой

$$\Delta y = d \cos r + d(\sin r - \cos r);$$

$$\Delta y = 92,15 \cos 55^\circ 42' + 92,15 (\sin 55^\circ 42' - \cos 55^\circ 42') =$$

$$= 92,15 \cdot 0,563526 + 92,15 \cdot 0,26257 = 51,92892 +$$

$$+ 24,195825 = 76,124745 = 76,12 \text{ м.}$$

$$\text{С учетом знаков } \Delta x_{1-2} = -51,93 \text{ м; } \Delta y_{1-2} = +76,12 \text{ м.}$$

Кроме указанных способов приращение координат определяют по таблицам натуральных значений тригонометрических функций, таблицам приращений координат, геодезическим таблицам для строителей (Хренов Л.С., М., Недра, 1983 и др.).

137. Вычислить приращения координат стороны 2 – 3 по данным табл. 67.

Таблица 67

Вариант	Дирекционный угол α_{2-3}	Горизонтальное проложение d_{2-3} , м	Вариант	Дирекционный угол α_{2-3}	Горизонтальное проложение d_{2-3} , м
1	26°29'	89,24	6	123°43'	217,51
2	132 14	124,38	7	247 04	180,66
3	209 55	115,20	8	300 19	94,12
4	280 13	95 32	9	75 22	161,35
5	39 18	156 37	10	139 16	219,32

138. Определить координаты последующей точки 6 (x_6 и y_6) отрезка 5 – 6, если известны координаты предыдущей точки 5 $x_5 = +25,67$ м, $y_5 = -48,93$ м и приращения координат $\Delta x_{5-6} = +112,58$ м, $\Delta y_{5-6} = -76,81$ м (рис. 17, б).

Решение:

Зная координаты предыдущей точки $n - 1$, координаты последующей точки n определяем по формулам

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x;$$

$$y_n = y_{n-1} + \Delta y;$$

$$x_6 = +25,67 + 112,58 = +138,25 \text{ м;}$$

$$y_6 = -48,93 - 76,81 = -125,74 \text{ м.}$$

139. По данным табл. 68 вычислить координаты точки 2 отрезка 1 – 2, если даны координаты точки 1 и приращения координат Δx_{1-2} и Δy_{1-2} . Вычертить схему.

Таблица 68

Вариант	x_1	y_1	Δx_{1-2}	Δy_{1-2}
1	+ 256,23	+ 54,03	- 189,15	+ 105,21
2	+ 65,09	+ 124,36	+ 132,16	+ 37,86
3	- 28,41	+ 218,16	- 89,07	+ 15,93
4	- 66,12	+ 43,46	+ 108,19	+ 124,56
5	- 48,03	- 64,48	- 59,86	+ 105,99
6	- 84,22	+ 75,70	- 100,19	- 155,73
7	+ 39,04	- 68,49	- 154,16	- 83,02
8	+ 73,26	- 54,18	- 139,81	- 96,28
9	+ 68,41	- 53,25	+ 142,11	- 59,05
10	+ 21,05	- 15,29	+ 117,66	+ 92,39

140. Даны координаты точки 4:

$x_4 = - 186,12$ м; $y_4 = + 241,95$ м; румб линии 4 – 5: $r_{4-5} = 137^\circ 30'$; горизонтальное проложение линии 4 – 5: $d_{4-5} = 102,86$ м. Вычислить координаты точки 5 (рис. 17, в).

Решение:

1. Определяем приращения координат Δx и Δy , например, с помощью микрокалькулятора БЗ-18А.

Нахождение Δx_{4-5} (последовательность нажатия клавиш):

$$|C|37| \cdot |5|F|\cos| \times |302| \cdot |87| = 240,28282.$$

Нахождение Δy_{4-5} :

$$|C|37| \cdot |5|F|\sin| \times |302| \cdot |87| = 184,37544.$$

Контроль:

Нахождение Δy_{4-5} :

$$|C|37| \cdot |5|F|\tg| \times |240,28282| = 184,3754.$$

С учетом знаков и округлив до 0,01 м, получаем

$$\Delta x_{4-5} = + 240,28 \text{ м}; \Delta y_{4-5} = - 184,38 \text{ м}.$$

2. Определяем координаты точки 5:

$$x_5 = x_4 + \Delta x_{4-5}; y_5 = y_4 + \Delta y_{4-5};$$

$$x_5 = - 186,12 + 240,28 = + 54,16 \text{ м}; y_5 = 241,95 + (- 184,38) = + 57,57 \text{ м}.$$

В пропорциональном масштабе выполняют схему расположения отрезка 4 – 5 по координатам (см. рис. 17, в).

141. По данным табл. 69 определить координаты точки 2 отрезка 1 – 2. Вычертить схему.

Таблица 69

Вариант	Дирекционный угол α_{1-2}	Горизонтальное проложение стороны d_{1-2} , м	Координаты точки, м	
			x_1	y_1
1	34°12'	125,16	+ 54,18	- 13,46
2	57 31	134,22	- 110,11	+ 16,39
3	102 13	156,07	- 220,37	- 105,30
4	151 07	86,12	+ 110,35	+ 28,55
5	235 11	102,55	- 212,77	+ 121,43
6	249 01	141,18	+ 86,19	+ 33,51
7	312 55	220,08	+ 150,28	- 147,13
8	321 09	174,13	- 47,16	- 124,88
9	154 17	98,21	- 49,38	+ 105,16
10	212 03	123,16	+ 93,04	+ 55,07

§ 25. ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕВЯЗОК В ПРИРАЩЕНИЯХ КООРДИНАТ ЗАМКНУТЫХ И РАЗОМКНУТЫХ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ

142. В замкнутом теодолитном ходе известны суммы положительных и отрицательных приращений координат:

по оси X

$$+ \Sigma \Delta x = + 167,43 \text{ м};$$

$$- \Sigma \Delta x = - 167,38 \text{ м};$$

по оси Y

$$+ \Sigma \Delta y = + 239,97 \text{ м};$$

$$- \Sigma \Delta y = - 240,04 \text{ м.}$$

Определить невязки в приращениях координат.

Решение:

Невязки в приращениях координат определяем по формулам

$$f_x = \Sigma \Delta x; \quad f_y = \Sigma \Delta y;$$

$$f_x = + 167,43 - 167,38 = + 0,05 \text{ м};$$

$$f_y = + 239,97 - 240,04 = - 0,07 \text{ м.}$$

143. Определить невязки в приращениях координат по осям X и Y по данным табл. 70.

Таблица 70

Вариант	Ось X		Ось Y	
	$+\sum \Delta x$	$-\sum \Delta x$	$+\sum \Delta y$	$-\sum \Delta y$
1	127,34	127,38	843,44	843,39
2	538,66	538,61	738,03	737,91
3	405,95	406,02	505,69	505,74
4	333,82	333,90	481,97	482,03
5	186,53	186,50	403,55	403,61
6	294,01	293,93	337,42	337,50
7	467,25	467,31	684,49	684,55
8	583,09	583,15	992,07	991,98
9	646,31	646,40	856,33	856,39
10	959,95	960,02	749,94	749,99

144. Определить абсолютную и относительную невязки в приращениях координат замкнутого теодолитного хода с периметром, равным $P = 539,42$ м, если известны невязки в приращениях координат по осям X и Y :

$$f_x = +0,06 \text{ м}; \quad f_y = -0,11 \text{ м}.$$

Решение:

Абсолютную невязку определяем по формуле

$$f_P = \sqrt{(f_x)^2 + (f_y)^2},$$

$$f_P = (+0,06)^2 + (-0,11)^2 = 0,13 \text{ м}.$$

Относительная невязка

$$n = f_P / P = 1 / (P : f_P),$$

$$n = 1 / 539,42 : 0,13 = 1 : 4149.$$

145. По данным табл. 71 определить абсолютную f_P и относительную n невязки в приращениях координат замкнутого теодолитного хода, периметр которого $P = 637,12$ м.

Таблица 71

Вариант	f_x	f_y	Вариант	f_x	f_y
1	+ 0,03	- 0,08	6	- 0,08	- 0,06
2	- 0,10	+ 0,02	7	+ 0,10	- 0,03
3	+ 0,05	+ 0,03	8	- 0,07	+ 0,04
4	- 0,09	- 0,04	9	+ 0,05	+ 0,05
5	- 0,06	+ 0,03	10	- 0,07	+ 0,06

146. Определить абсолютную и относительную невязки в приращениях координат замкнутого теодолитного хода длиной $P = 495,66$ м и сравнить с допустимой относительной невязкой $1 : 2000$; $f_x = +0,04$ м; $f_y = -0,06$ м.

Решение:

Абсолютная невязка в периметре

$$f_P = \sqrt{(+0,04)^2 + (-0,06)^2} = 0,07 \text{ м.}$$

Относительная невязка

$$n = 1/495,66 : 0,07 = 1 : 7080,$$

так как $1 : 7080 < 1 : 2000$, полученная невязка допустима.

147. По данным табл. 72 определить, допустима ли относительная невязка в замкнутом теодолитном ходе.

Таблица 72

Вариант	Невязка в приращениях координат		Длина замкнутого теодолитного хода P , м	Допустимая относительная невязка n
	f_x , м	f_y , м		
1	-0,04	0,05	426,33	1 : 2000
2	+0,02	+0,03	371,54	1 : 1500
3	+0,07	-0,05	581,39	1 : 2000
4	-0,05	-0,03	450,22	1 : 2000
5	+0,03	-0,04	303,28	1 : 1500
6	+0,07	+0,11	699,25	1 : 1500
7	-0,04	-0,04	398,14	1 : 1500
8	+0,03	+0,04	527,74	1 : 2000
9	-0,12	-0,13	368,15	1 : 2000
10	+0,09	-0,10	229,34	1 : 1500

148. Определить абсолютную f_P и относительную n невязки разомкнутого теодолитного хода длиной $P = 215,63$ м, если сумма приращений координат на каждую из осей составляет

$$\Sigma \Delta x = +149,71 \text{ м}; \quad \Sigma \Delta y = +96,88 \text{ м.}$$

Координаты начальной примычной точки $l : x_1 = +53,27$ м; $y_1 = +81,24$ м; координаты конечной примычной точки:

$$x_n = +202,93 \text{ м}; \quad y_n = +178,05 \text{ м.}$$

Решение:

Определяем теоретическую сумму разомкнутого хода

$$\Sigma \Delta x_T = x_n - x_1; \quad \Sigma \Delta y_T = y_n - y_1;$$

$$\Sigma \Delta x_T = +202,93 - (+53,27) = +149,66 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta y_T = +178,05 - (+81,24) = +96,81 \text{ м.}$$

Невязки в приращениях координат f_x и f_y определяем по формулам

$$f_x = \Sigma \Delta x - \Sigma \Delta x_T;$$

$$f_y = \Sigma \Delta y - \Sigma \Delta y_T;$$

$$f_x = +149,71 - (+149,66) = -0,05 \text{ м};$$

$$f_y = +96,88 - (+96,81) = +0,07 \text{ м.}$$

Определяем абсолютную и относительную невязки:

$$f_P = \sqrt{(-0,05)^2 + (0,07)^2} = 0,086;$$

$$n = 1/215,63 : 0,086 = 1 : 2507.$$

Допустимая относительная невязка для разомкнутого хода $n \leq 1 : 1000$. В данном примере $1 : 2507 < 1 : 1000$, что допустимо.

149. По данным табл. 73 определить абсолютную f_P и относительную n невязки разомкнутого теодолитного хода длиной 348,56 м и сравнить ее с допустимой $n \leq 1 : 1000$.

Таблица 73

Признак	Сумма приращений координат		Координаты начальной точки		Координаты конечной точки	
	$\Sigma \Delta x$	$\Sigma \Delta y$	x_1	y_1	x_2	y_2
1	+196,92	-219,27	+56,73	-29,48	-140,11	+189,86
2	-203,27	-168,10	+124,11	+73,15	+327,29	+241,07
3	-289,59	-138,00	-206,37	-32,93	+83,11	+105,18
4	-224,67	-187,92	+154,28	-63,74	-90,26	+124,32
5	+142,42	-234,00	-79,20	+154,33	+63,14	-79,55
6	+269,63	+355,04	+246,27	+354,90	-23,25	+103,29
7	+101,04	-94,10	+311,72	+137,19	+210,86	+231,17
8	+230,90	-164,40	+216,56	-25,43	-14,23	+139,11
9	-163,33	-186,30	-47,38	-89,53	+115,83	+96,91
10	-105,72	-49,06	+87,49	+156,14	+193,11	+205,04

26. ОБРАТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА .

150. Определить румб и горизонтальное проложение линии 1 – 2 по известным координатам точек 1 и 2 (рис. 18) $x_1 = -25,68 \text{ м}$; $y_1 = -10,37 \text{ м}$; $x_2 = +89,30 \text{ м}$; $y_2 = +44,86 \text{ м}$.

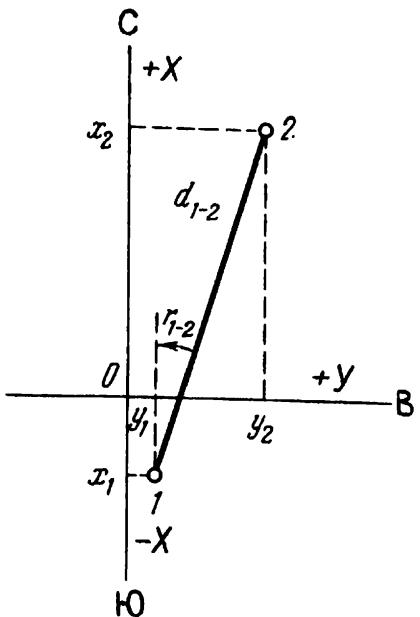


Рис. 18. Схемы для решения обратной геодезической задачи

Решение:
1. Определяем румб линии 1 – 2

$$\operatorname{tg} r = (y_2 - y_1) : (x_2 - x_1) = \Delta y / \Delta x.$$

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} r &= (+44,86 - 10,37) : [+89,30 - (-25,68)] \\ &= (44,86 - 10,37) : (89,30 + 25,68) = \\ &= +34,49 : 114,98 = 0,2999652.\end{aligned}$$

Контроль выполняем по формуле

$$\operatorname{ctg} r = (x_2 - x_1) : (y_2 - y_1) = \Delta x / \Delta y,$$

$$\begin{aligned}\operatorname{ctg} r &= +89,30 - (-25,68) : (+44,86 - 10,37) = \\ &= 114,98 : 34,49 = 3,3337199.\end{aligned}$$

По таблицам натуральных значений тригонометрических функций находим угол $16^\circ 41' 30''$

2. С учетом знаков приращений координат $+\Delta x$ и $+\Delta y$ определяем название румба линии 1 – 2:

$$r_{1-2} = CB : 16^\circ 41,5'.$$

3. Горизонтальное проложение линий определяем по формулам

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2};$$

$$d = \Delta x / \cos r = (x_2 - x_1) / \cos r;$$

$$d = \Delta y / \sin r = (y_2 - y_1) / \sin r;$$

$$d = \sqrt{(89,30 - (-25,68))^2 + (44,86 - 10,37)^2} =$$

$$= \sqrt{(114,98)^2 + (34,49)^2} = 120,04 \text{ м};$$

$$d = 114,98 : \cos 16^\circ 41,5' = 114,98 : 0,957865 = 120,04 \text{ м};$$

$$d = 34,49 : \sin 16^\circ 41,5' = 34,49 : 0,287221 = 120,04 \text{ м}.$$

151. По приведенным в табл. 74 приращениям координат линии 1 – 2 определить румб этой линии и ее горизонтальное проложение. Вычеркнуть схему.

Таблица 74

Вариант	Приращения координат		Вариант	Приращения координат	
	Δx_{1-2}	Δy_{1-2}		Δx_{1-2}	Δy_{1-2}
1	+ 86,73	+ 102,55	6	- 39,11	+ 103,49
2	- 134,28	+ 83,15	7	- 115,08	- 263,43
3	- 205,36	- 73,99	8	+ 130,93	- 68,27
4	+ 315,07	- 29,15	9	+ 56,24	+ 159,14
5	+ 111,62	+ 85,44	10	- 197,00	+ 105,31

Глава IX. ПОСТРОЕНИЕ ПЛАНОВ И ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

§ 27. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЛИСТА БУМАГИ
ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНА ПО КООРДИНАТАМ

152. Определить формат листа бумаги для построения плана по координатам в масштабе 1 : 2000. Координаты вершин углов замкнутого теодолитного хода (рис. 19) :

$$x_1 = -254,80 \text{ м}; \quad y_1 = -220,43 \text{ м};$$

$$x_2 = +312,06 \text{ м}; \quad y_2 = -493,28 \text{ м};$$

$$x_3 = +705,29 \text{ м}; \quad y_3 = -163,11 \text{ м};$$

$$x_4 = +69,15 \text{ м}; \quad y_4 = +214,43 \text{ м}.$$

Решение:

1. Выбираем наибольшие и наименьшие координаты вершин замкнутого хода

по оси X :

наибольшая $x_3 = +705,29 \text{ м}$;

наименьшая $x_1 = -254,80 \text{ м}$;

по оси Y :

наибольшая $y_4 = +214,43 \text{ м}$;

наименьшая $y_2 = -493,28 \text{ м}$.

2. Определяем протяженность хода по осям X и Y , которая равна разности наибольших значений координат с учетом их знаков (алгебраи-

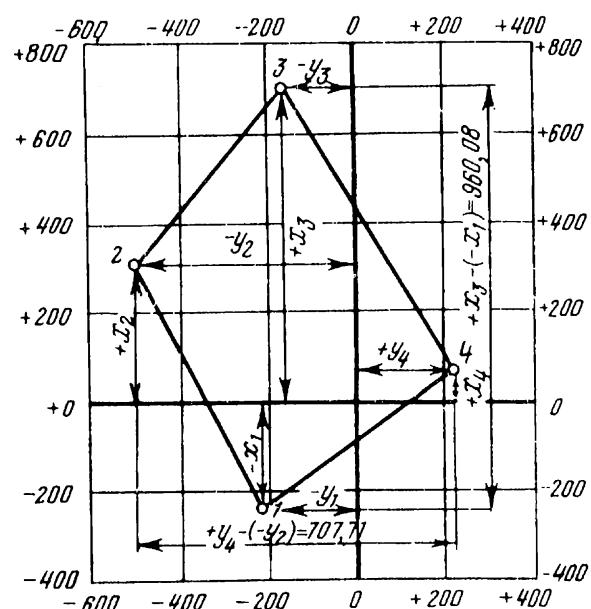


Рис. 19. План теодолитного хода по координатам

ческая разность) :

$$\text{по оси } X \quad 705,29 - (-254,80) = 960,08 \text{ м};$$

$$\text{по оси } Y \quad 214,43 - (-493,28) = 707,71 \text{ м.}$$

Протяженность теодолитного хода на плане в масштабе 1 : 2000 составит по оси X $960,08 : 2000 = 480$ мм; по оси Y $607,71 : 2000 = 354$ мм.

Для построения координатной сетки требуется лист размера 500 × 400 мм. Учитывая поля, размещение надписей согласно ГОСТ 2.301–68 (Ст. СЭВ 1181 – 78), следует взять формат А2.

Основные форматы чертежей по ГОСТ 2.301–68

Формат	A0	A1	A2	A3	A4
Размер листа в мм	814×1189	594×841	420×594	297×420	210×297

153. По координатам теодолитного хода 1 – 2 – 3 – 4, приведенным в табл. 75, определить формат листа бумаги для построения плана.

154. По данным табл. 75 построить координатную сетку и план теодолитного хода по координатам в масштабе 1 : 1000. Квадраты координатной сетки – 5 × 5 см.

Таблица 75

Вариант	Координаты вершин теодолитного хода, м			
	x_1 y_1	x_2 y_2	x_3 y_3	x_4 y_4
1	0,00 0,00	-140,17 + 52,40	-190,58 - 73,31	- 58,44 - 133,42
2	-93,21 + 04,76	-143,02 -129,11	- 10,24 -185,17	+ 50,12 - 49,44
3	+ 100,00 - 100,00	+ 40,17 - 47,60	- 90,58 -173,31	+ 41,56 - 183,42
4	+ 10,83 + 52,40	- 47,62 - 73,30	+ 92,31 -131,80	+ 150,00 + 0,00
5	+ 5,61 - 25,07	+ 142,34 - 84,32	+ 200,00 + 50,00	+ 57,14 - 104,22
6	+ 250,00 + 100,00	+ 107,18 + 153,29	+ 53,48 + 26,11	+ 191,24 - 37,93
7	+ 292,00 + 16,29	+ 300,00 + 150,00	+ 157,36 + 203,26	+ 103,68 + 126,74
8	- 103,87 + 07,28	+ 25,88 - 47,29	+ 85,23 + 92,39	- 50,00 + 150,00
9	+ 184,73 + 41,20	+ 50,00 + 100,00	- 04,81 - 43,12	+ 126,32 - 97,44
10	- 153,66 - 93,24	- 25,31 -146,28	+ 36,12 - 08,76	- 100,00 + 50,00

§ 28. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПОЛИГОНА ГЕОМЕТРИЧЕСКИМ (ГРАФИЧЕСКИМ) СПОСОБОМ

155. Вычислить площадь многоугольника с шестью вершинами (рис. 20, а). Масштаб 1 : 1000.

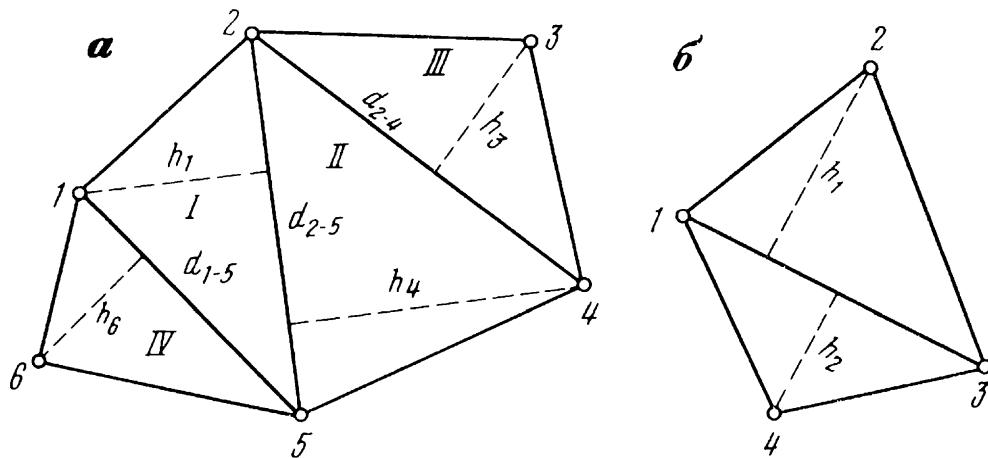


Рис. 20. Схемы определения площади многоугольника графическим способом

Решение:

Многоугольник (шестиугольник) разбиваем на треугольники (в данном примере их 4). Пользуясь масштабом, определяем высоту h и основание d каждого треугольника:

$$h_1 = 37 \text{ мм}; \quad h_4 = 57 \text{ мм}; \quad h_3 = 30 \text{ мм}; \quad h_6 = 28 \text{ мм};$$

$$d_{2-5} = 73 \text{ мм}; \quad d_{2-5} = 73 \text{ мм}; \quad d_{2-4} = 80 \text{ мм}; \quad d_{1-5} = 60 \text{ мм}.$$

В масштабе 1 : 1000 эти размеры на местности будут соответственно равны:

$$h_1 = 37 \text{ м}; \quad h_4 = 57 \text{ м}; \quad h_3 = 30 \text{ м}; \quad h_6 = 28 \text{ м};$$

$$d_{2-5} = 73 \text{ м}; \quad d_{2-5} = 73 \text{ м}; \quad d_{2-4} = 80 \text{ м}; \quad d_{1-5} = 60 \text{ м}.$$

Площадь каждого треугольника

$$S = dh/2.$$

$$S_1 = 73 \cdot 37/2 = 1350,5 \text{ м}^2; \quad S_3 = 30 \cdot 80/2 = 1200 \text{ м}^2;$$

$$S_2 = 57 \cdot 73/2 = 2080,5 \text{ м}^2; \quad S_4 = 28 \cdot 60/2 = 840 \text{ м}^2.$$

Определяют площадь всего многоугольника как сумму площадей треугольников

$$S_{\text{пол}} = \sum_1^n S_{\Delta};$$

$$S_{\text{пол}} = 1350,5 + 2080,5 + 1200 + 840 = 5471 \text{ м}^2 = 0,547 \text{ га.}$$

156. По данным табл. 76 вычислить площадь полигона, изображенного на рис. 20, б. Вычертить схему.

Таблица 76

Вариант	Масштаб	Основание d , мм	Высота 1-го треугольника h_1 , мм	Высота 2-го треугольника h_2 , мм
1	1 : 1000	129	86	54
2	1 : 1000	150	97	43
3	1 : 2000	200	111	62
4	1 : 2000	138	105	43
5	1 : 5000	250	90	37
6	1 : 5000	143	102	54
7	1 : 1000	124	73	48
8	1 : 1000	205	100	39
9	1 : 2000	267	111	49
10	1 : 5000	304	167	81

§ 29. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПОЛИГОНА АНАЛИТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ (ПО КООРДИНАТАМ ЕГО ВЕРШИН)

157. Определить площадь полигона, координаты вершин которого даны:

$$x_1 = +325,00 \text{ м}; \quad y_1 = +650,00 \text{ м};$$

$$x_2 = +450,76 \text{ м}; \quad y_2 = +731,10 \text{ м};$$

$$x_3 = +378,75 \text{ м}; \quad y_3 = 846,12 \text{ м};$$

$$x_4 = +251,74 \text{ м}; \quad y_4 = +775,90 \text{ м.}$$

Решение:

Площадь полигона, если его вершины обозначены по часовой стрелке, вычисляют по формулам

$$S = 0,5 \sum_{i=1}^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1});$$

$$S = 0,5 \sum_{i=1}^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}),$$

где n – число вершин полигона; i принимает значения от 1 до n .

1. Определяем разность координат $y_{i+1} - y_{i-1}$, придавая значения i от 1 до 4:

$$y_2 - y_4 = +731,10 - 775,90 = -44,80$$

$$\begin{aligned}
 v_3 - y_1 &= +846,12 - 650,00 = +196,12 \\
 v_4 - y_2 &= +775,90 - 731,10 = +44,80 \\
 v_1 - y_3 &= +650,00 - 846,12 = -196,12 \\
 &\hline \\
 &- 240,92 \\
 \text{Контроль} \\
 &+ 240,92
 \end{aligned}$$

2. Определяем разности координат $x_{i-1} - x_{i+1}$:

$$\begin{aligned}
 v_4 - x_2 &= +251,74 - 450,76 = -199,02 \\
 v_1 - x_3 &= +325,00 - 378,75 = -53,75 \\
 v_2 - x_4 &= +450,76 - 251,74 = +199,02 \\
 v_3 - x_1 &= +378,75 - 325,00 = +53,75 \\
 &\hline \\
 &- 252,77 \\
 \text{Контроль} \\
 &+ 252,77
 \end{aligned}$$

3. Определяем произведения $x_i(y_{i+1} - y_{i-1})$ и $y(x_{i-1} - x_{i+1})$:

$$\begin{aligned}
 x_1(y_2 - y_4) &= +325,0 \cdot (-44,80) = -14\,560,0 \\
 x_2(y_3 - y_1) &= +450,76 \cdot (+196,12) = +88\,403,0 \\
 x_3(y_4 - y_2) &= +378,75 \cdot (44,80) = +16\,968,0 \\
 x_4(y_1 - y_3) &= +251,74 \cdot (-196,12) = -49\,371,2 \\
 &\hline \\
 &41\,439,8
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y_1(x_4 - x_2) &= +650,0 \cdot (-199,02) = -129\,363,0 \\
 y_2(x_1 - x_3) &= +731,10 \cdot (-53,75) = -39\,296,6 \\
 y_3(x_2 - x_4) &= +846,12 \cdot (199,02) = +168\,394,8 \\
 y_4(x_3 - x_1) &= +775,90 \cdot (53,75) = +41\,704,6 \\
 &\hline \\
 &41\,439,8
 \end{aligned}$$

4. Определяем площадь полигона

$$S = 0,5 \cdot 41\,439,8 = 20\,719,9 \text{ м}^2 = 2,08 \text{ га.}$$

Все данные сводим в ведомость вычисления площади полигона (табл. 77).

Таблица 77

**Ведомость
вычисления площади полигона по координатам его вершин**

№ вершины	Координаты					
	x_i , м	y_i , м	$y_{i+1} - y_{i-1}$	$x_{i-1} - x_{i+1}$	$x_i (y_{i+1} - y_{i-1})$	$y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$
1	+ 325,00	+ 650,00	+ 44,80	+ 199,02	- 14 560,0	- 12363,0
2	+ 450,76	+ 731,10	+ 196,12	- 53,75	+ 88 403,0	- 39 296,6
3	+ 378,75	+ 846,12	+ 44,80	+ 199,02	+ 16 968,0	+ 16 8394,8
4	+ 251,74	+ 775,90	- 196,12	+ 53,75	- 49 371,2	+ 41 704,6
			- 240,92	- 252,77	$41\ 439,8 \text{ м}^2$	$41\ 439,8 \text{ м}^2$
			+ 240,92	+ 252,77	$S = 41\ 439,8 : 2 =$	
					$= 20\ 719,9 = 2,08 \text{ га}$	

158. По данным табл. 75, где приведены координаты вершин полигонов, определить площадь полигона аналитическим способом по данному варианту.

§ 30. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПОЛИГОНА ПЛАНИМЕТРОМ

159. Определить цену деления планиметра, если при обводке квадрата со сторонами 10×10 см получены следующие данные:

отсчет до обводки $n_1 = 7347$,

отсчет после обводки $n_2 = 8341$.

Масштаб плана 1 : 5000.

Решение:

Сторона квадрата $a = 500$ м. Площадь квадрата в заданном масштабе:

$$S = a^2 = 500^2 = 250000 \text{ м}^2 = 25 \text{ га.}$$

Цену деления планиметра p_S определяем по формуле

$$p_S = S / (n_2 - n_1),$$

$$p_S = 25 : (8341 - 7347) = 25 : 994 = 0,02515 = 0,025 \text{ га.}$$

160. По данным табл. 78 определить цену деления планиметра при обводке квадрата 10×10 см.

161. Определить цену деления полярного планиметра ПП-М с применением контрольной линейки при расположении полюса справа и слева. Площадь обводимого контрольной линейкой круга $S = 100 \text{ см}^2$. Масштаб плана 1 : 1000.

Все данные при обводке круга контрольной линейкой заносят в табл. 79.

Таблица 78

Вариант	Отсчеты на счетном механизме планиметра		Масштаб плана
	до обводки n_1	после обводки n_2	
1	9068	10 620	1 : 1000
2	3567	4 570	1 : 2000
3	2125	3 127	1 : 5000
4	4263	5 260	1 : 10000
5	5801	6 798	1 : 1000
6	1935	2 940	1 : 2000
7	6371	7 375	1 : 5000
8	7086	8 080	1 : 10 000
9	8114	9 117	1 : 1000
10	3093	4 100	1 : 2000

Таблица 79

Отсчеты	Разность отсчетов	Среднее из разностей	Отсчеты	Разность отсчетов	Среднее из разностей
<i>Полюс право</i>					
$n_1 = 4724$ $n_2 = 8726$	1002	1000	$n_1 = 2027$ $n_2 = 3030$	1003	
$n_1 = 6503$ $n_2 = 7500$	997		$n_1 = 5444$ $n_2 = 6442$	998	1000

1. Определяем площадь круга на местности в масштабе плана 1 : 1000. 1 см на плане соответствует 10 м на местности; 1 см² на плане соответствует 100 м² на местности. Площадь круга 100 см² соответствует на местности $10 \cdot 100 = 10000$ м² = 1 га.

2. Определяем цену деления планиметра по формуле

$$p = S / (n_2 - n_1)_{\text{ср}},$$

$$p_S = 1/1000 = 0,001 \text{ га.}$$

162. Определить цену деления полярного планиметра ПП-М с контрольной линейкой (с точностью до 0,01 га), если при обводке площади 100 см² контрольной линейкой получены данные, помещенные в табл. 80.

163. Определить цену деления планиметра для масштаба 1 : 2000, если для масштаба 1 : 1000 цена деления планиметра равна $p_S = 0,001$ га. Длина рычага остается постоянной.

Решение:

Цена деления планиметра, определенная для плана одного масштаба, изменяется для плана другого масштаба пропорционально квадрату

Таблица 80

Вариант	Масштаб плана	Среднее из разностей отсчетов $(n_2 - n_1)_{ср}$	Вариант	Масштаб плана	Среднее из разностей отсчетов $(n_2 - n_1)_{ср}$
1	1 : 1000	999	6	1 : 2000	1001
2	1 : 2000	1002	7	1 : 1000	998
3	1 : 5000	1001	8	1 : 10 000	1002
4	1 : 10 000	998	9	1 : 5000	1003
5	1 : 5000	1000	10	1 : 2000	997

отношений знаменателей численных масштабов:

$$p_S / p'_S = (M/M')^2,$$

где M и M' – знаменатели численных масштабов.

Определяем исковую цену деления планиметра

$$p'_S = p_S (M/M')^2,$$

$$p'_S = 0,001 (2000/1000)^2 = 0,001 \cdot 2^2 = 0,004 \text{ га.}$$

164. По данным табл. 81 определить цену деления планиметра p'_S (при постоянной длине рычага) для заданного масштаба, знаменатель которого M' .

Таблица 81

Вариант	Масштаб плана $1 : M$	Цена деления планиметра p_S , га	Заданный масштаб $1 : M'$	Вариант	Масштаб плана $1 : M$	Цена деления планиметра p_S , га	Заданный масштаб $1 : M'$
1	1 : 1000	0,001	1 : 5000	6	1 : 5000	0,025	1 : 10 000
2	1 : 5000	0,025	1 : 1000	7	1 : 2000	0,004	1 : 10 000
3	1 : 2000	0,004	1 : 1000	8	1 : 1000	0,001	1 : 10 000
4	1 : 2000	0,004	1 : 5000	9	1 : 10 000	0,1	1 : 2000
5	1 : 5000	0,025	1 : 2000	10	1 : 10 000	0,1	1 : 5000

165. При длине рычага $R_1 = 1520$ мм цена деления планиметра равна $p'_S = 256 \text{ м}^2$. Определить длину рычага R_x , которая соответствовала цене деления планиметра $p_S = 250 \text{ м}^2$.

Решение:

Определяем длину рычага при заданной цене деления планиметра из пропорции

$$p'_S / p''_S = R_1 / R_x;$$

$$R_x = p''_S R_1 / p'_S,$$

$$R_x = 250 \cdot 152 : 258 = 147,3 \text{ мм.}$$

166. По данным табл. 82 определить длину рычага R_x , соответствующую заданной цене деления планиметра p'_S .

Таблица 82

Вариант	Длина рычага R , мм	Цена де- ления планимет- ра при длине рычага p'_S , га	Требуемая цена деления планимет- ра p''_S , га	Вариант	Длина рычага R , мм	Цена де- ления планимет- ра при длине рычага p'_S , га	Требуемая цена деления планимет- ра p''_S , га
1	152,3	0,0014	0,001	6	161,9	0,0043	0,004
2	167,1	0,0046	0,004	7	148,6	0,021	0,025
3	142,1	0,022	0,025	8	153,9	0,09	0,1
4	149,8	0,117	0,1	9	160,2	0,0015	0,001
5	150,3	0,0012	0,001	10	161,3	0,0044	0,004

Глава X. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКЕ

§ 31. ЗАДАНИЕ № 1. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛНА ПО КООРДИНАТАМ

По данным измерений горизонтальных углов и горизонтальных проекций сторон замкнутого и разомкнутого (диагонального) теодолитных ходов (рис. 21, табл. 83) выполнить:

Замкнутый теодолитный ход

1. Определить угловую невязку теодолитного хода, увязать углы полигона.
2. По заданному дирекционному углу стороны 1 – 2 вычислить дирекционные углы и румбы сторон полигона. Исходный дирекционный угол взять из табл. 84.
3. Определить приращения координат хода и их невязки.
4. При допустимой относительной невязке (не свыше 1/1500) распределить невязки в приращениях координат.
5. По исправленным приращениям и исходным координатам вершины № 1 полигона (табл. 85) вычислить координаты остальных вершин.

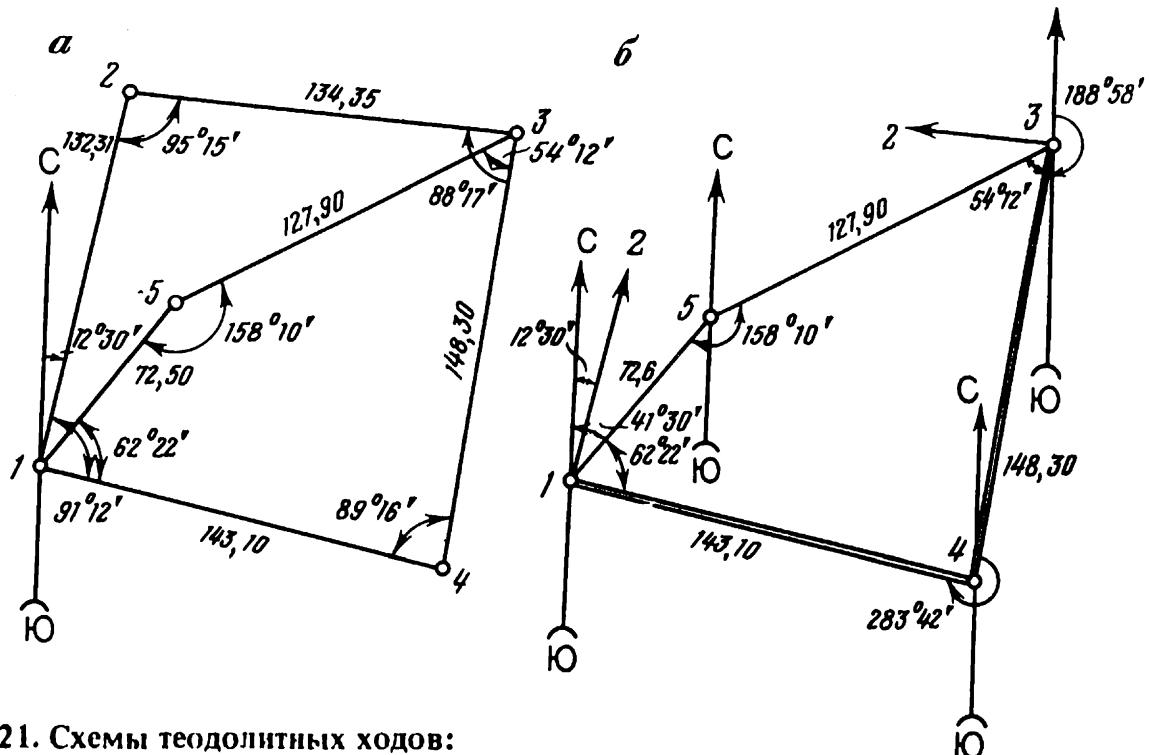


Рис. 21. Схемы теодолитных ходов:

а – замкнутого; *б* – разомкнутого (диагонального)

Таблица 83

Ведомость измеренных углов и горизонтальных проложений сторон полигона

№ вершины	Изме-ренные углы	Поправ-ка	Исправлен-ные углы	Горизонталь-ное проложение сторон, м	Дирек-ционные углы	Румбы
1	91° 12,5'	- 0,5'	91° 12'	132,31		
2	95 15,5	- 0,5	95 15	134,35		
3	88 17		88 17	148,30		
4	85 16		85 16	143,10		
	360° 01'	- 1	360°	P = 558,06		

Таблица 83, а

Ведомость измеренных углов и горизонтальных проложений сторон диагонального хода

№ вершины	Изме-ренные углы	Поправ-ка	Исправлен-ные углы	Горизонталь-ное проложение сторон, м	Дирек-ционные углы	Румбы
1	62° 22'	-	62° 22'	72,50		
2	158 10	-	158 10	127,90		
3	54 13	- 1'	54 12			

Таблица 84

Дирекционный угол стороны 1 – 2

Вариант	Дирекционный угол α_{1-2}	Вариант	Дирекционный угол α_{1-2}	Вариант	Дирекционный угол α_{1-2}
1	12°36'	21	190°21'	41	99°16'
2	2 17	22	193 04	42	102 22
3	3 39	23	200 15	43	109 07
4	5 28	24	223 02	44	112 43
5	11 16	25	237 25	45	121 19
6	15 28	26	249 26	46	143 09
7	21 43	27	254 09	47	157 20
8	30 24	28	260 00	48	170 01
9	39 11	29	275 23	49	172 12
10	45 47	30	280 21	50	186 11
11	54 29	31	291 34	51	205 04
12	67 03	32	300 51	52	239 00
13	74 07	33	323 11	53	242 17
14	89 33	34	347 42	54	256 04
15	97 24	35	354 08	55	272 13
16	127 25	36	19 24	56	282 00
17	133 14	37	25 03	57	288 08
18	167 01	38	31 14	58	304 14
19	172 17	39	40 20	59	315 29
20	111 55	40	51 17	60	329 55

Таблица 85

Координаты вершины № 1

№ варианта	x_1 , м	y_1 , м	№ варианта	x_1 , м	y_1 , м
1,2	0,00	0,00	31,32	- 23,00	- 52,00
3,4	+ 10,00	+ 5,00	33,34	- 24,00	- 54,00
5,6	+ 15,00	+ 6,00	35,36	- 25,00	- 56,00
7,8	+ 18,00	+ 8,00	37,38	- 27,00	- 58,00
9,10	+ 14,0	+ 17,00	39,40	- 29,00	- 59,00
11,12	+ 16,00	+ 12,00	41,42	- 30,00	- 60,00
13,14	+ 19,00	+ 14,00	43,44	- 55,00	- 62,00
15,16	+ 20,00	+ 27,00	45,46	- 60,00	- 73,00
17,18	+ 25,00	+ 20,00	47,48	- 57,00	- 61,00
19, 20	+ 26,0	+ 19,00	49,50	- 62,00	- 75,00
21,22	+ 30,00	+ 23,00	51,52	- 64,00	- 82,00
23,24	- 12,00	+ 25,00	53,54	- 65,00	+ 7,00
25,26	- 13,00	+ 28,00	55,56	- 52,00	+ 10,00
27,28	- 15,00	+ 30,00	57,58	- 53,00	+ 9,00
29,30	- 22,00	+ 35,00	59,60	- 58,00	+ 11,0

Разомкнутый (диагональный) ход

6. По измеренным углам диагонального хода (табл. 83, а) определить его угловую невязку и увязать углы хода.

7. По увязанным углам и дирекционному углу стороны 1 – 2 замкнутого хода вычислить дирекционные углы и румбы сторон диагонального хода.

8. Вычислить приращения координат диагонального хода. Определить невязки и распределить их, если относительная невязка хода не превышает 1/1000.

9. По исправленным приращениям координат и заданным координатам вершины № 1 замкнутого теодолитного хода вычислить координаты диагонального хода.

Все результаты вычислений занести в ведомость вычисления координат, приложить к ней выполненные расчеты.

10. Построить координатную сетку со сторонами квадратов 5 см и нанести вершины полигона по координатам. Масштаб плана 1 : 1000. Формат А3.

11. Пользуясь абрисом, приведенным на рис. 22, нанести ситуацию на план в соответствии с утвержденными условными знаками топографических планов и карт. Заполнить на плане таблицы "Ведомость координат" и "Экспликация".

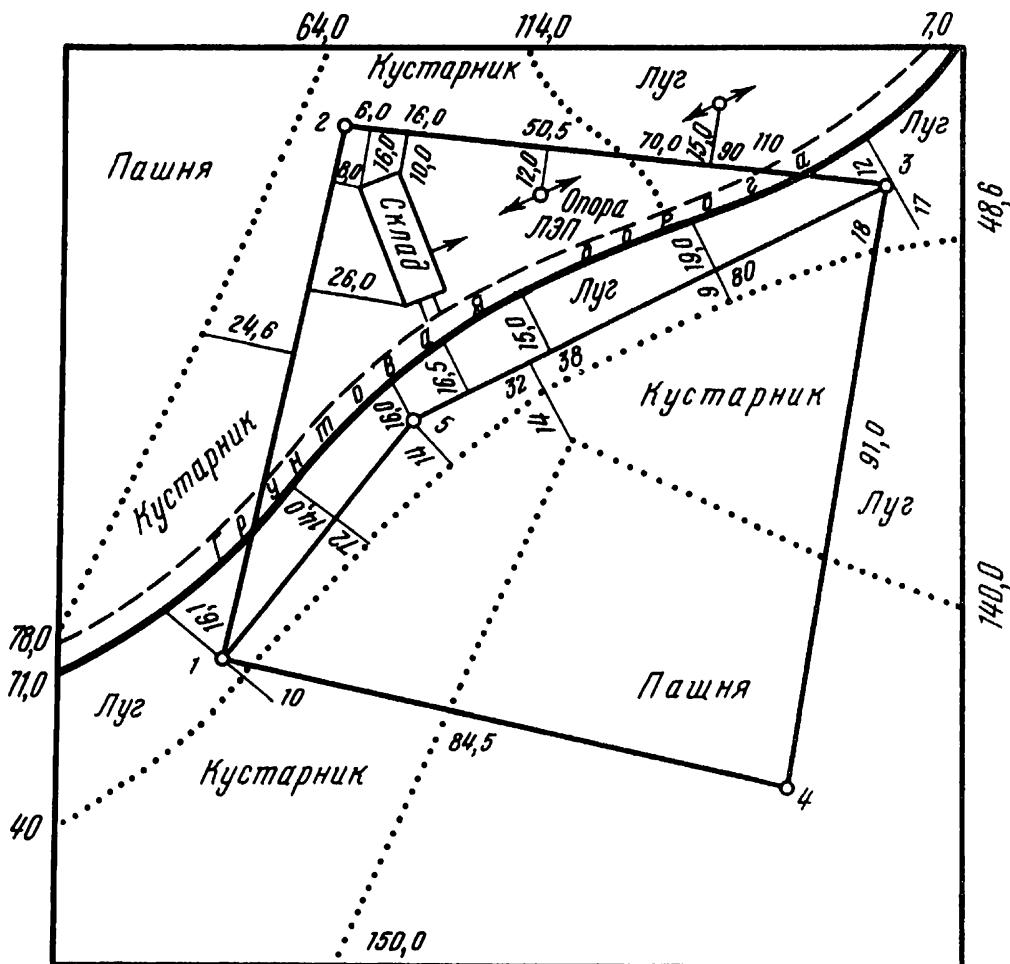


Рис. 22. Абрис полигона

12. Определить площадь полигона и его отдельных контуров ситуацией планиметром, аналитическим или графическим способами.

12. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Замкнутый теодолитный ход

Измеренные углы хода приведены в табл. 83. Исходный дирекционный угол $\alpha_{1-2} = 12^\circ 30'$.

1. Определяем сумму измеренных углов замкнутого теодолитного хода $\Sigma\beta_{iz}$ (рис. 21, а) и сравниваем ее с теоретической $\Sigma\beta_t$:

$$\Sigma\beta_{iz} = 91^\circ 12,5' + 95^\circ 15,5' + 88^\circ 17' + 85^\circ 16' = 360^\circ 01';$$

$$\Sigma\beta_t = 180^\circ - (n - 2) = 180^\circ (4 - 2) = 360^\circ 00'.$$

Определяем угловую невязку

$$f_\beta = \Sigma\beta_{iz} - \Sigma\beta_t,$$

$$f_\beta = 360^\circ 01' - 360^\circ = +01'.$$

Определяем допустимую угловую невязку:

$$f_{\beta\text{доп}} = \pm 1,5t\sqrt{n},$$

где t — точность отсчета по отсчетным приспособлениям теодолита (в задании $t = 30''$); n — число углов хода.

Пределная допустимая невязка

$$f_{\beta\text{доп}} = 1,5 \cdot 30'' \sqrt{4} = 1,5 \cdot 30'' \cdot 2 = 1,5',$$

угловая невязка $1' < 1,5'$, что допустимо.

Угловую невязку распределяем в виде поправок, прибавляя их с обратными знаками к измеренным углам 1 и 2, образованным меньшими сторонами (см. табл. 83). Сумма исправленных углов должна быть равна теоретической:

$$\Sigma\beta_{is} = \Sigma\beta_t.$$

2. По заданному исходному дирекционному углу стороны 1 — 2 (см. табл. 84) и исправленным внутренним углам теодолитного хода (см. табл. 83) вычисляем дирекционные углы всех сторон хода по формуле

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_n,$$

α_n — дирекционный угол последующей линии; α_{n-1} — дирекционный угол предыдущей линии; β_n — исправленный угол (вправо по ходу лежащий), образованный сторонами с дирекционными углами α_n и α_{n-1} .

$$\begin{array}{r}
 + \alpha_{1-2} = 12^\circ 30' \\
 - 180^\circ \\
 \hline
 - 192^\circ 30'
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 + \alpha_{3-4} = 188^\circ 58' \\
 - 180^\circ \\
 \hline
 - 368^\circ 58'
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \beta_2 = 95^\circ 15' \\
 \hline
 + \alpha_{2-3} = 97^\circ 15' \\
 - 180^\circ \\
 \hline
 - 277^\circ 15'
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 \beta_4 = 85^\circ 16' \\
 \hline
 + \alpha_{4-1} = 283^\circ 42' \\
 - 180^\circ \\
 \hline
 - 463^\circ 42'
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 \beta_3 = 88^\circ 17' \\
 \hline
 \alpha_{3-4} = 188^\circ 58'
 \end{array}
 \quad
 \begin{array}{r}
 \beta_1 = 91^\circ 12' \\
 \hline
 - 372^\circ 30' \\
 - 360^\circ \\
 \hline
 \alpha_{1-2} = 12^\circ 30'
 \end{array}$$

Контроль

Вычисляем румбы сторон хода по найденным дирекционным углам:

$$\alpha_{1-2} = 12^\circ 30'; \quad r_{1-2} = \alpha_{1-2}; \quad r_{1-2} = \text{СВ} : 12^\circ 30';$$

$$\alpha_{2-3} = 97^\circ 15'; \quad r_{2-3} = 180^\circ - 97^\circ 15' = 82^\circ 45'; \quad r_{2-3} = \text{ЮВ} : 82^\circ 45';$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{3-4} &= 188^\circ 58'; \quad r_{3-4} = \alpha_{3-4} - 180^\circ; \quad r_{3-4} = 188^\circ 58' - 180^\circ = \\
 &= \text{ЮЗ} : 8^\circ 58';
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{4-1} &= 283^\circ 42'; \quad r_{4-1} = 360^\circ - \alpha_{4-1}; \quad r_{4-1} = 360^\circ - 283^\circ 42' = \\
 &= \text{СЗ} : 76^\circ 18'.
 \end{aligned}$$

Вычисленные значения дирекционных углов и румбов записываем в ведомость вычисления координат.

3. Пользуясь таблицами приращений координат (см. § 24) или микрокалькулятором, вычисляем приращения координат по формулам

$$\Delta x = d \cos r; \quad \Delta y = d \sin r,$$

где Δx , Δy – приращения координат; r – румбы стороны хода; d – горизонтальное проложение стороны хода (см. табл. 83).

Контроль: $\Delta y = \Delta x \operatorname{tg} r$.

$$\Delta x_{1-2} = 132,31 \cos 12^\circ 30' = 132,31 \cdot 0,976296 = 129,17 \text{ м};$$

$$\Delta x_{2-3} = 134,35 \cos 82^\circ 46' = 134,35 \cdot 0,126199 = 16,95 \text{ м};$$

$$\Delta x_{3-4} = 148,30 \cos 8^\circ 58' = 148,30 \cdot 0,987779 = 146,49 \text{ м};$$

$$\Delta x_{4-1} = 143,10 \cos 76^\circ 18' = 143,10 \cdot 0,238534 = 34,13 \text{ м};$$

$$\Delta y_{1-2} = 132,31 \sin 12^\circ 30' = 132,31 \cdot 0,216439 = 28,64 \text{ м};$$

$$\Delta y_{2-3} = 134,35 \sin 82^\circ 45' = 134,35 \cdot 0,992005 = 133,28 \text{ м};$$

$$\Delta y_{3-4} = 148,30 \sin 8^\circ 58' = 148,30 \cdot 0,155858 = 23,11 \text{ м};$$

$$\Delta y_{4-1} = 143,10 \sin 76^\circ 18' = 143,10 \cdot 0,971134 = 138,97 \text{ м.}$$

Все результаты даны с точностью до 0,01 м.

С учетом названий румбов записываем вычисленные приращения координат:

$$\Delta x_{1-2} = +129,17 \text{ м}; \quad \Delta y_{1-2} = +28,64 \text{ м};$$

$$\Delta x_{2-3} = -16,95 \text{ м}; \quad \Delta y_{2-3} = +133,28 \text{ м};$$

$$\Delta x_{3-4} = -146,49 \text{ м}; \quad \Delta y_{3-4} = -23,11 \text{ м};$$

$$\Delta x_{4-1} = +34,13 \text{ м}; \quad \Delta y_{4-1} = -138,97 \text{ м.}$$

Определяем алгебраическую сумму вычисленных приращений координат:

$$\Sigma \Delta x = f_x = +129,17 - 16,95 - 146,49 + 34,13 = -0,14 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta y = f_y = +28,64 + 133,28 - 23,11 - 138,97 = -0,16 \text{ м.}$$

Находим абсолютную невязку теодолитного хода

$$f_p = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \sqrt{(\Sigma \Delta x)^2 + (\Sigma \Delta y)^2},$$

$$f_p = \sqrt{(-0,14)^2 + (0,16)^2} = 0,21 \text{ м.}$$

Определяем относительную невязку

$$n = f_p / P = 1/P : f_p,$$

где P – периметр полигона (длина хода); $n = 1/558,06 : 0,21 = 1/2651$.

Полученная невязка $1/2657 < 1/1500$, что допустимо.

4. Невязки в приращениях координат распределяем в виде поправок. Поправки распределяем пропорционально длинам сторон:

$$\delta \Delta x = f_x d_x / P;$$

$$\delta \Delta y = f_y d_y / P,$$

где P – длина теодолитного хода (периметр) в сотнях метров; d_x – длина каждой стороны хода в сотнях метров.

Поправки по оси X

$$\delta \Delta x_{1-2} = 0,14 \cdot 1,3 / 5,6 = 0,03 \text{ м}$$

$$\delta \Delta x_{2-3} = 0,14 \cdot 1,3 / 5,6 = 0,03 \text{ м}$$

$$\delta \Delta x_{3-4} = 0,14 \cdot 1,5 / 5,6 = 0,04 \text{ м}$$

$$\delta \Delta x_{4-1} = 0,14 \cdot 1,4 / 5,6 = 0,04 \text{ м}$$

$$f_x = 0,14 \text{ м.}$$

Поправки по оси Y

$$\delta \Delta y_{1-2} = 0,16 \cdot 1,3 / 5,6 = 0,04 \text{ м}$$

$$\delta \Delta y_{2-3} = 0,16 \cdot 1,3 / 5,6 = 0,04 \text{ м}$$

$$\delta \Delta y_{3-4} = 0,16 \cdot 1,5 / 5,6 = 0,04 \text{ м}$$

$$\delta \Delta y_{4-1} = 0,16 \cdot 1,4 / 5,6 = 0,04 \text{ м}$$

$$f_y = 0,16 \text{ м.}$$

Определяем исправленные приращения координат, прибавляя поправки к вычисленным приращениям со знаком, обратным знаку невязки.

Суммы исправленных приращений должны быть равны 0.

$$\Sigma \Delta x_{\text{ис}} = 0; \quad \Sigma \Delta y_{\text{ис}} = 0.$$

$$\Delta x_{1-2} = + 129,17 + 0,03 = + 129,20 \text{ м};$$

$$\Delta x_{2-3} = - 16,95 + 0,03 = - 16,92 \text{ м};$$

$$\Delta x_{3-4} = - 146,49 + 0,04 = - 146,45 \text{ м};$$

$$\Delta x_{4-1} = + 34,13 + 0,04 = + 34,17 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta x_{\text{ис}} = (+ 129,20 + 34,17) + (- 16,92 - 146,45) =$$

$$= + 163,37 - 163,37 = 0;$$

$$\Delta y_{1-2} = + 28,64 + 0,04 = + 28,68 \text{ м};$$

$$\Delta y_{2-3} = + 133,28 + 0,04 = + 133,32 \text{ м};$$

$$\Delta y_{3-4} = - 23,11 + 0,04 = - 23,07 \text{ м};$$

$$\Delta y_{4-1} = - 138,97 + 0,04 = - 138,93 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta y_{\text{ис}} = (+ 28,68 + 133,32) + (- 23,07 - 138,93) =$$

$$= + 162,00 - 162,00 = 0.$$

5. Определяем координаты вершин теодолитного хода по формулам, если даны координаты точки № 1:

$$x_1 = + 15,00 \text{ м};$$

$$y_1 = - 20,00 \text{ м};$$

$$x_n = x_{n-1} + \Delta x;$$

$$y_n = y_{n-1} + \Delta y,$$

где x_n , y_n – координаты последующей точки; x_{n-1} , y_{n-1} – координаты предыдущей точки.

$$x_1 = + 15,00 \text{ м};$$

$$x_2 = x_1 + \Delta x_{1-2}; \quad x_2 = + 15,00 + 129,20 = + 144,20 \text{ м};$$

$$x_3 = x_2 + \Delta x_{2-3}; \quad x_3 = + 144,20 - 16,92 = + 127,28 \text{ м};$$

$$x_4 = x_3 + \Delta x_{3-4}; \quad x_4 = + 127,28 - 146,45 = - 19,17 \text{ м.}$$

Контроль:

$$x_1 = x_4 + \Delta x_{4-1}; \quad x_1 = - 19,17 + 34,17 = + 15,00 \text{ м.}$$

$$y_1 = - 20,00 \text{ м};$$

$$y_2 = y_1 + \Delta y_{1-2}; \quad y_2 = - 20,00 + 28,68 = + 8,68 \text{ м};$$

$$y_3 = y_2 + \Delta y_{2-3}; \quad y_3 = + 8,68 + 133,32 = + 142,00 \text{ м};$$

$$y_4 = y_3 + \Delta y_{3-4}; \quad y_4 = + 142,00 - 23,07 = + 118,93 \text{ м.}$$

Контроль:

$$y_1 = y_4 + \Delta y_{4-1}; \quad y_1 = + 118,93 - 138,93 = - 20,00 \text{ м.}$$

Полученные результаты заносим в ведомость вычисления координат (табл. 86).

Разомкнутый (диагональный) ход (рис. 21, б)

1. Определяем угловую невязку диагонального хода

$$f_\beta = \Sigma \beta_{\text{из}} - \Sigma \beta_{\text{т}},$$

где $\Sigma \beta_{\text{из}}$ – сумма измеренных углов хода; $\Sigma \beta_{\text{т}}$ – теоретическая сумма углов хода,

$$\Sigma \beta_{\text{т}} = \alpha_0 + 180^\circ n - \alpha_n,$$

где n – число углов диагонального хода, в данном примере $n = 3$; α_0 – дирекционный угол стороны, к которой примыкает диагональный

Таблица 86

Ведомость вычисления координат опорных точек замкнутого теодолитного хода

№ верши- ны	Изме- ренные углы	Исправ- ленные углы	Дирек- ционные углы	Румбы	Горизон- тальное проложе- ние сторон, м	Приращения координат, м				Координаты, м	
						вычисленные		исправленные		<i>x</i>	<i>y</i>
						Δx , м	Δy , м	Δx , м	Δy , м		
1	91°12,5'	91°12'	12°30'	СВ : 12°30'	132,31	+ 0,03 + 129,31 + 0,03, - 16,95 + 0,04	+ 0,04 + 28,64 + 0,04 + 133,28 + 0,04	+ 129,20 + 28,68 - 16,92 + 133,32	+ 129,20 + 28,68 - 16,92 + 133,32	15,00	- 20,00
2	95 15,5	95 15	97 15	ЮВ : 82 45	134,35					+ 144,20	+ 8,68
3	88 17	88 17	188 58	ЮЗ : 8 58	148,30					+ 127,28	+ 142,00
4	85 16	85 16								- 19,17	+ 118,93
	$\Sigma \beta_{iz} = 360^{\circ} 01'$		283 42	СЗ : 76 18	143,10	+ 0,04 + 34,13	+ 0,04 - 138,97	+ 34,17	+ 34,17	+ 15,00	- 20,00
	$\Sigma \beta_{is} = 360^{\circ}$										
$f_{\beta} = 360^{\circ} 01' - 360^{\circ} = 01'$						$P = 558,06$	+ 163,30 - 163,44	+ 161,92 - 162,08	+ 163,37 - 163,37	+ 162,00 + 162,00	
$f_{\text{доп}} = 1,5' \cdot 30'' \sqrt{4} = 1,5'$											
$1' < 1,5'$											
						$f_x = -0,14$	$f_y = -0,16$	$\Sigma \Delta x = 0$	$\Sigma \Delta y = 0$		

$$f_P = \sqrt{(-0,14)^2 + (-0,16)^2} = 0,21 \text{ м.}$$

$$n = 1/558,06 : 0,21 = 1/2657; 1/2657 < 1/1500$$

ход вначале, в данном примере $\alpha_{4-1} = 283^\circ 42'$; α_n – дирекционный угол примычной стороны 3 – 4 в конце диагонального хода, в данном примере $\alpha_{3-4} = 188^\circ 58'$.

$$\Sigma \beta_{iz} = 62^\circ 22' + 158^\circ 10' + 54^\circ 13' = 274^\circ 45';$$

$$\begin{aligned}\Sigma \beta_T &= 283^\circ 42' + 180^\circ \cdot 3 - 188^\circ 58' = 94^\circ 44' + 540^\circ = \\ &= 634^\circ 44' - 360^\circ = 274^\circ 44'.\end{aligned}$$

$$f_\beta = 274^\circ 45' - 274^\circ 44' = 01'.$$

Находим предельно допустимую невязку

$$f_{\beta \text{ доп}} = 2 \cdot t \sqrt{n};$$

$$f_{\beta \text{ доп}} = 2 \cdot 30'' \sqrt{3} = 1,7',$$

$1' < 1,7'$, невязка допустима.

Определяем исправленные углы диагонального хода:

$$\beta_1 = 62^\circ 22'; \quad \beta_5 = 158^\circ 10'; \quad \beta_3 = 54^\circ 13' - 01' = 54^\circ 12';$$

$$\Sigma \beta_{ic} = 62^\circ 22' + 158^\circ 10' + 54^\circ 12' = 274^\circ 44'.$$

По дирекционному углу примычной стороны α_{4-1} и увязанным внутренним (правым) углам диагонального хода вычисляем дирекционные углы этого хода по формуле

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta.$$

$$\begin{array}{rcl} \alpha_{4-1} & = 283^\circ 42' & \alpha_{5-1} = 41^\circ 20' \\ + & & + \frac{180^\circ}{221^\circ 20'} \\ \hline 180^\circ & & - \beta_5 = 158^\circ 10' \\ \hline - 463^\circ 42' & & \alpha_{5-3} = 63^\circ 10' \\ \hline \beta_1 & = \frac{62^\circ 22'}{401^\circ 20'} & + \frac{180^\circ}{243^\circ 10'} \\ - 360^\circ & & - \beta_3 = 54^\circ 12' \\ \hline \alpha_{1-5} & = 41^\circ 20' & \alpha_{3-4} = 188^\circ 58' \end{array}$$

Контроль.

Определяем румбы сторон диагонального хода по найденным дирекционным углам

$$\alpha_{1-5} = 41^\circ 20'; \quad r_{1-5} = \alpha_{1-5}; \quad r_{1-5} = CB : 11^\circ 30';$$

$$\alpha_{5-3} = 63^\circ 10'; \quad r_{5-3} = \alpha_{5-3}; \quad r_{5-3} = CB : 63^\circ 10'.$$

2. Определяем приращения координат диагонального хода

$$\Delta x_{1-5} = d_{1-5} \cos r_{1-5}; \quad \Delta x_{5-3} = d_{5-3} \cos r_{5-3};$$

$$\Delta y_{1-5} = d_{1-5} \sin r_{1-5}; \quad \Delta y_{5-3} = d_{5-3} \sin r_{5-3}.$$

Контроль:

$$\Delta y_{1-5} = \Delta x_{1-5} \operatorname{tg} r_{1-5}; \quad \Delta y_{5-3} = \Delta x_{5-3} \operatorname{tg} r_{5-3};$$

$$\Delta x_{1-5} = 72,50 \cos 41^\circ 20' = 72,50 \cdot 0,750884 = 54,43 \text{ м};$$

$$\Delta y_{1-5} = 72,50 \sin 41^\circ 20' = 72,50 \cdot 0,660484 = 47,88 \text{ м};$$

$$\Delta x_{5-3} = 127,9 \cos 63^\circ 10' = 127,9 \cdot 0,451398 = 57,73 \text{ м};$$

$$\Delta y_{5-3} = 127,9 \sin 63^\circ 10' = 127,9 \cdot 0,892318 = 114,13 \text{ м.}$$

Контроль:

$$\Delta y_{1-5} = 54,43 \operatorname{tg} 41^\circ 20' = 54,43 \cdot 0,879542 = 47,88 \text{ м};$$

$$\Delta y_{5-3} = 57,73 \operatorname{tg} 63^\circ 10' = 57,73 \cdot 1,976747 = 114,13 \text{ м.}$$

Определяем суммы вычисленных приращений координат хода

$$\Sigma \Delta x_T = + 54,43 + 57,73 = + 112,16 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta y_T = + 47,88 + 114,13 = + 162,01 \text{ м.}$$

Теоретическая сумма приращения координат хода

$$\Sigma \Delta x_T = x_n - x_0; \quad \Sigma \Delta y_T = y_n - y_0,$$

где x_0 и y_0 – координаты начальной примычной точки замкнутого хода (в данном примере № 1); x_n и y_n – координаты конечной точки замкнутого хода (в данном примере № 3).

$$\Sigma x_T = + 127,28 - 15,00 = + 112,28 \text{ м};$$

$$\Sigma y_T = + 142,00 - (- 20,00) = + 162,00 \text{ м.}$$

Определяем невязки в приращениях координат по формулам

$$f_x = \Sigma \Delta x_{из} - \Sigma \Delta x_T;$$

$$f_y = \Sigma \Delta y_{из} - \Sigma \Delta y_T.$$

Находим абсолютную невязку хода

$$f_x = + 112,16 - 112,28 = - 0,12 \text{ м};$$

$$f_y = + 162,01 - 162,00 = + 0,01 \text{ м};$$

$$f_P = \sqrt{(- 0,12)^2 + (+ 0,01)^2} = 0,12 \text{ м.}$$

Относительную невязку определяем по формуле

$$n = 1/P : f_P,$$

где P — длина диагонального хода.

$$P = 72,50 + 127,90 = 200,40 \text{ м};$$

$$n = 1/200,4 : 0,12 = 1/1670.$$

$1/1670 < 1/1000$, что допустимо.

Вычисляем исправленные приращения координат, прибавляя поправки к вычисленным приращениям со знаком, обратным знаку невязки:

$$\Delta x_{1-5} = +54,43 + 0,05 = +54,48 \text{ м};$$

$$\Delta x_{5-3} = +57,73 + 0,07 = +57,80 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta x_{\text{ис}} = +54,48 + 57,80 = +112,28 \text{ м};$$

$$\Delta y_{1-5} = -47,88, \text{ оставлена без изменения};$$

$$\Delta y_{5-3} = +114,13 - 0,01 = +114,12 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta y_{\text{ис}} = +47,88 + 114,12 = +162,00 \text{ м}.$$

Исправленные суммы приращений координат равны теоретическим суммам:

$$\Sigma \Delta x_{\text{ис}} = \Sigma \Delta x_{\text{T}} = +112,28 \text{ м};$$

$$\Sigma \Delta y_{\text{ис}} = \Sigma \Delta y_{\text{T}} = +162,00 \text{ м}.$$

3. Определяем координаты вершин разомкнутого хода, аналогично замкнутому ходу.

Координаты примычной точки № 1:

$$x_1 = +15,00 \text{ м};$$

$$x_5 = x_1 + \Delta x_{1-5}; \quad x_5 = +15,00 + 54,48 = +69,48 \text{ м};$$

$$y_5 = y_1 + \Delta y_{1-5}; \quad y_5 = -20,00 + 47,88 = +27,88 \text{ м}.$$

Контроль:

$$x_3 = x_5 + \Delta x_{5-3}; \quad x_3 = +69,48 + 57,80 = +127,28 \text{ м};$$

$$y_3 = y_5 + \Delta y_{5-3}; \quad y_3 = +27,88 + 114,12 = +142,00 \text{ м}.$$

Полученные координаты примычной точки № 3 равны вычисленным координатам точки 3 замкнутого хода.

Все вычисления заносим в ведомость вычисления координат разомкнутого хода (табл. 87).

Таблица 87

Ведомость вычисления координат разомкнутого (диагонального) хода

№ верши- ны	Измерен- ные углы	Исправ- ленные углы	Дирек- ционные углы	Румбы	Горизон- тальные проложе- ния сторон, м	Приращения координат, м				Координаты, м	
						вычисленные		исправленные		x	y
						Δx	Δy	x	y		
1	62°22'	62°22'	41°30'	СВ : 41°30'	72,50	+ 0,05 '	+ 54,43	+ 47,88	+ 54,48	+ 47,88	+ 15,00 - 20,00
5	158 10	158 10	63 10	СВ : 63 10	127,90	+ 0,07	+ 57,73	+114,13	+ 57,80	+114,12	+ 69,48 + 27,88
3	54 13	54 12									+ 127,28 + 142,00
	274 45	274 44									

$$\sum \beta_{iz} = 274^{\circ}45'$$

$$\sum \beta_{ic} = 274^{\circ}44'$$

$$P = 200,40$$

$$+112,16$$

$$+162,01$$

$$+112,28$$

$$+162,00$$

$$f_\beta = 274^{\circ}45' - 274^{\circ}44' = 01';$$

$$f_x = -0,12 \text{ м};$$

$$f_y = +0,01 \text{ м}$$

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 2 \cdot 30'' \sqrt{3} = 1,7';$$

$1' < 1,7'$

$$f_P = \sqrt{(-0,12)^2 + (0,01)^2} = 0,12 \text{ м}$$

$$n = 1/200,4 : 0,12 = 1/1670; \quad 1/1670 < 1/1000$$

§ 33. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА ПОЛИГОНА ПО КООРДИНАТАМ

1. Наносят координатную сетку со сторонами 5 x 5 см или 10 x 10 см, определив ее размеры по наибольшим положительным и отрицательным значениям координат полигона (рис. 23).

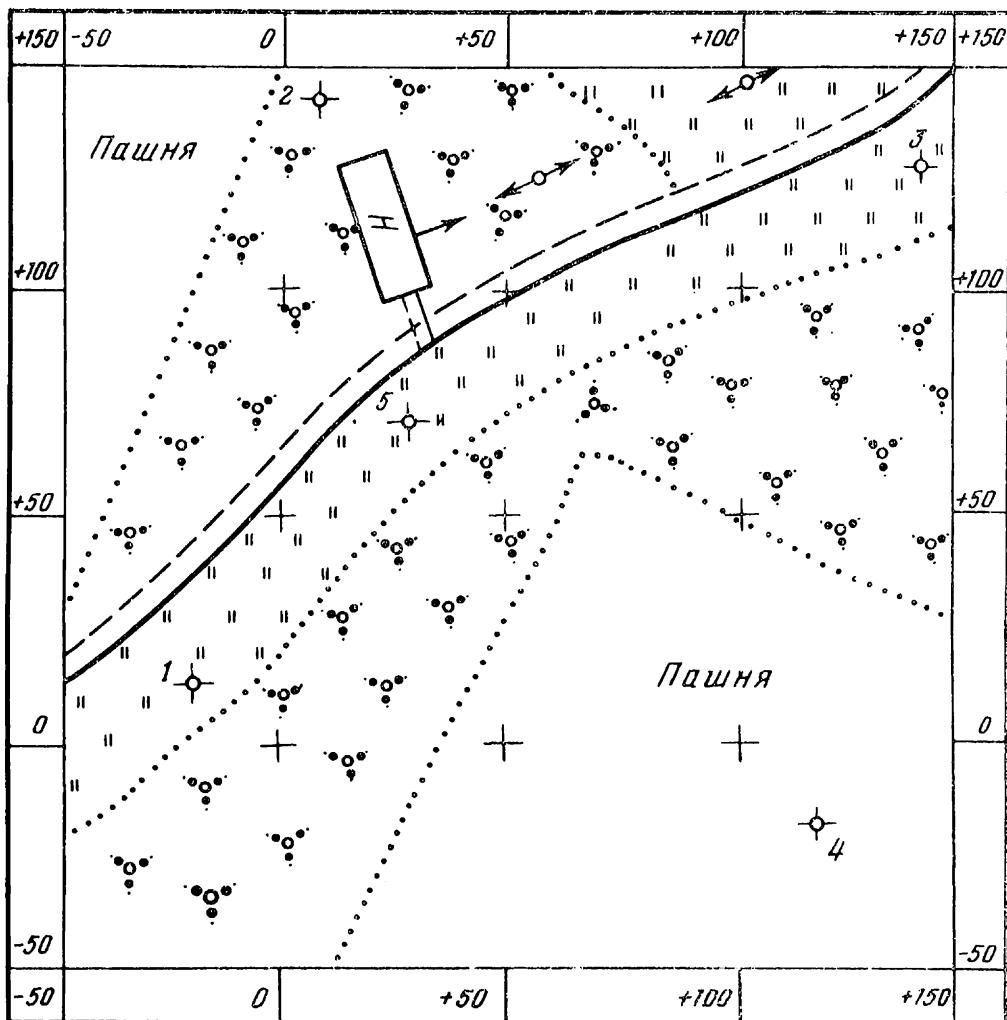


Рис. 23. План участка местности

2. Вычерчивают поперечный масштаб 1 : 1000, которым пользуются для построения всех линий плана.

3. Определяют координатные оси; пользуясь ведомостью координат, наносят вершины замкнутого и диагонального ходов.

4. Наносят ситуацию местности на плане, пользуясь абрисом (см. рис. 22).

5. Обводят план полигона черной тушью и наносят ситуацию, пользуясь условными знаками, соответствующими масштабу 1 : 1000.

6. Наносят на план таблицы "Ведомость координат" и "Экспликация" с указанием площади полигона и его отдельных участков в га.

§ 34. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ПОЛИГОНА И ЕГО ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

Согласно заданию площадь полигона можно определить аналитическим, графическим или механическим способами.

*Пример определения площади полигона аналитическим способом
(по координатам)*

Координаты вершин полигона:

$$x_1 = + 15,00 \text{ м}; \quad y_1 = - 20,00 \text{ м};$$

$$x_2 = + 144,20 \text{ м}; \quad y_2 = + 8,68 \text{ м};$$

$$x_3 = + 127,28 \text{ м}; \quad y_3 = + 142,00 \text{ м};$$

$$x_4 = - 19,17 \text{ м}; \quad y_4 = + 118,93 \text{ м}.$$

1. Площадь полигона определяем по формулам

$$S = 0,5 \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1});$$

$$S = 0,5 \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}),$$

где n — число вершин полигона; i принимает значения от 1 до n .

2. Определяем разности координат, придавая значение i от 1 до 4:

$$y_2 - y_4 = + 8,68 - 118,93 = - 110,25$$

$$y_3 - y_1 = + 142,0 - (- 20,00) = + 162,0$$

$$y_4 - y_2 = + 118,93 - 8,68 = + 110,25$$

$$y_1 - y_3 = - 20,00 - 142,00 = - 162,00$$

$$\begin{array}{r} + 272,25 \\ - 272,25. \end{array}$$

Контроль.

$$x_4 - x_2 = - 19,17 - 144,20 = - 163,37$$

$$x_1 - x_3 = + 15,00 - 127,28 = - 112,28$$

$$x_2 - x_4 = + 144,20 - (- 19,17) = + 163,37$$

$$x_3 - x_1 = + 127,28 - 15,00 = + 112,28$$

$$\begin{array}{r} + 275,65 \\ - 275,65. \end{array}$$

Контроль.

3. Определяем произведения:

$$x_i (y_{i+1} - y_{i-1}); \quad y_i (x_{i-1} - x_{i+1});$$

$$x_1 (y_2 - y_4) = + 15,00 (- 110,25) = - 1653,75$$

$$x_2 (y_3 - y_1) = + 144,20 (+ 162,0) = + 23\ 360,40$$

$$x_3 (y_4 - y_2) = + 127,28 (+ 110,25) = + 14\ 032,62$$

$$x_4 (y_1 - y_3) = - 19,17 (- 162,00) = + 3105,54$$

38844,81

$$y_1 (x_4 - x_2) = - 20,0 (- 163,37) = + 3267,40$$

$$y_2 (x_1 - x_3) = + 8,68 (- 112,28) = - 974,59$$

$$y_3 (x_2 - x_4) = + 142,0 (+ 163,37) = + 23\ 198,54$$

$$y_4 (x_3 - x_1) = + 118,93 (+ 112,28) = + 13\ 353,46$$

38844,81

4. Определяем площадь полигона

$$S = 0,5 \cdot 38844,81 = 19\ 422,405 \text{ м}^2 = 1,942 \text{ га.}$$

Все данные заносим в ведомость вычисления площади полигона (табл. 88).

Таблица 88

Ведомость вычисления площади полигона по координатам его вершин

№ вер- шины	Координаты					
	x_i , м	y_i , м	$y_{i+1} - y_{i-1}$, м	$x_{i-1} - x_{i+1}$, м	$x_i (y_{i-1} - y_{i+1})$	$y_i (x_{i-1} - x_{i+1})$
1	+ 15,00	- 20,00	- 110,25	- 163,37	- 1653,75	+ 3267,4
2	+ 144,20	+ 8,68	+ 162,00	- 112,28	+ 23\ 360,40	- 974,59
3	+ 127,28	+ 142,00	+ 110,25	+ 163,37	+ 14\ 032,62	+ 23198,54
4	- 19,17	+ 118,93	- 162,00	+ 112,28	+ 3105,54	+ 13353,46
			+ 272,25	+ 275,65	38 844,81	38 844,81
			- 272,25	- 275,65	$S = 0,5 \cdot 38\ 844,81 =$	
			0,00	0,00	$= 19\ 422,405 \text{ м}^2 =$	
					$= 1,942 \text{ га}$	

Пример определения площади полигона планиметром ПП-М

Цена деления планиметра $p_S = 0,001$ га. Масштаб 1 : 1000.

1. Выбираем положение полюса планиметра вне полигона так, чтобы счетное колесо при пробной обводке не сходило с бумаги, а рычаги планиметра не составляли тупых (близких к 180°) и острых углов. Обводим дважды контуры полигона по часовой стрелке. Показания на счетном механизме заносим в ведомость определения площади полигона планиметром (табл. 89).

Таблица 89

Ведомость определения площади полигона планиметром

Название контура	1-й счетный механизм		2-й счетный механизм		Средняя разность отсчетов	Цена деления планиметра, га	Площадь, га
	отсчеты после и до обводки	разность отсчетов	отсчеты после и до обводки	разность отсчетов			
Полигон	9843 7891	1952	6035 4077	1958	1955	0,001	1,955
Полигон	5203 3251	1952	8444 6496	1948	1950		1,950

Среднее значение площади:

$$S_{cp} = (1,955 + 1950) : 2 = 1952,5 = 1,952 \text{ га.}$$

2. Определяем абсолютную $f_{P_{abcs}}$ невязку как разность между площадью полигона, определенной планиметром S_{pl} , и площадью, определенной по координатам S_{koop} :

$$f_{P_{abcs}} = S_{pl} - S_{koop},$$

$$f_{P_{abcs}} = 1,952 - 1,945 = 0,007 \text{ га.}$$

3. Определяем относительную невязку

$$f_p = 1/1,952 : 0,007 = 1/279,$$

$1/279 < 1/200$, что допустимо.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ

ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Глава XI. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НИВЕЛИРОВАНИИ

§ 35. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ И ВЫСОТ ТОЧЕК СПОСОБОМ "ВПЕРЕД"

Высота точек на местности при нивелировании определяется по формуле $H_2 = H_1 + h$, где H_1 – высота предыдущей точки, м; H_2 – высота последующей точки, м; h – превышение одной точки над другой, м.

Превышение всегда имеет знак – либо плюс ($+ h$), либо минус ($- h$). Знак превышения получается "автоматически" при определении превышений по формулам, которые будут указаны ниже, в зависимости от метода нивелирования. Однако для контроля следует пользоваться таким практическим правилом: последующая точка выше предыдущей ("идем на подъем") – превышение имеет знак плюс ($+ h$); последующая точка ниже предыдущей ("идем на спуск") – превышение имеет знак минус ($- h$).

Если нивелирование выполняется способом "вперед", то превышение определяется по формуле $h = i - b$, где i – высота прибора, мм; b – отсчет на передней рейке, мм.

Отсюда следует: если $i > b$, то превышение имеет знак плюс ($+ h$), если $i < b$, то превышение имеет знак минус ($- h$).

На рис. 24, а показаны точки (1, 2, 3, 4), высоты которых требуется определить, и место установки прибора (Рп). На рис. 24, б показана установка реек и прибора.

167. Высота прибора $i =$
– 1430 мм, отсчеты по рейкам:
 $b_1 = 2575$ мм, $b_2 = 1735$ мм, $b_3 =$
– 0845 мм, $b_4 = 1115$ мм. Высота
репера $H_p = 85,300$ м.

Определить превышения и высоту точек 1, 2, 3, 4.

Решение:

1. Определяем превышения точек:

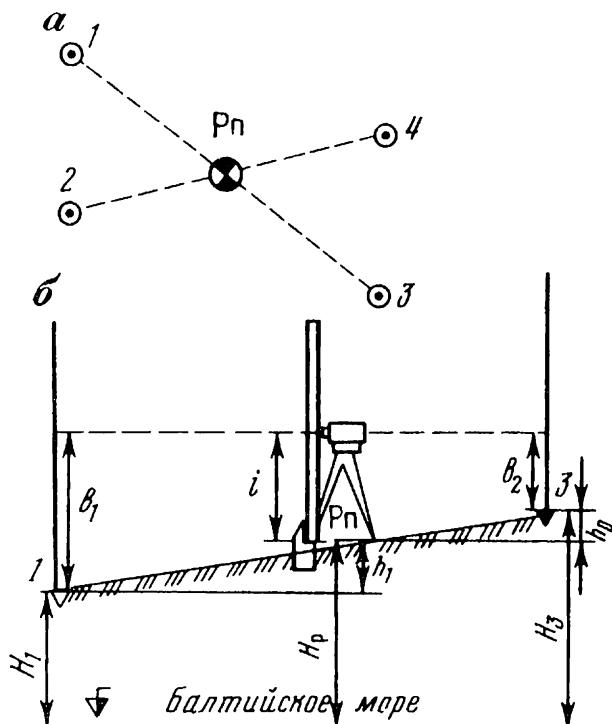
$$h_1 = 1430 - 2575 = -1145 \text{ мм};$$

$$h_2 = 1430 - 1735 = -0305 \text{ мм};$$

$$h_3 = 1430 - 0845 = +0585 \text{ мм};$$

$$h_4 = 1430 - 1115 = +0315 \text{ мм}.$$

Рис. 24. Схема нивелирования способом "вперед"



2. Определяем высоты точек:

$$H_1 = H_p + h_1 = H_p + (-h_1) = 85,300 - 1,145 = 84,155 \text{ м};$$

$$H_2 = H_p + h_2 = H_p + (-h_2) = 85,300 - 0,305 = 84,995 \text{ м};$$

$$H_3 = H_p + h_3 = H_p + (+h_3) = 85,300 + 0,585 = 85,885 \text{ м};$$

$$H_4 = H_p + h_4 = H_p + (+h_4) = 85,300 + 0,315 = 85,615 \text{ м}.$$

168. По данным табл. 90 и рис. 24 определить превышения и высоты точек 1, 2, 3, 4, вычертить профиль (схематический, без масштаба) по линии 1 – Рп – 3 и 2 – Рп – 4.

Таблица 90

Исходные данные	Варианты				
	1	2	3	4	5
H_p , м	25,000	35,000	45,000	55,000	65,000
i , мм	1530	1470	1610	1340	1260
b_1 , мм	0970	1865	0725	2245	0475
b_2 , мм	1125	1920	0995	1785	0890
b_3 , мм	1775	1110	1935	1215	1835
b_4 , мм	1835	0855	2155	0535	2115

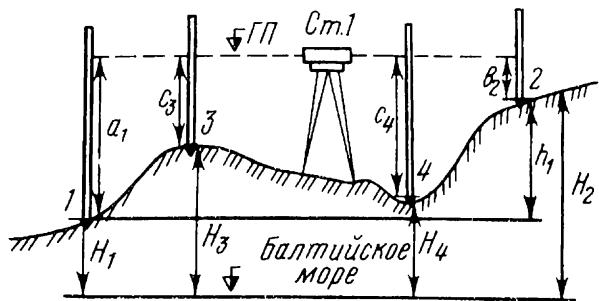
Продолжение табл. 90

Исходные данные	Варианты				
	6	7	8	9	10
H_p , м	60,300	50,200	40,100	30,500	20,600
i , мм	1420	1370	1510	1220	1350
b_1 , мм	0695	1825	1175	1745	1045
b_2 , мм	1755	1135	1935	0615	1835
b_3 , мм	1945	0855	2265	0955	2315
b_4 , мм	0935	2465	0945	2025	0875

§ 36. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ И ВЫСОТ ТОЧЕК СПОСОБОМ "ИЗ СЕРЕДИНЫ"

При нивелировании "из середины" установка реек и прибора на станции показаны на рис. 25. Причем различают два вида точек: связующие 1, 2 и промежуточные 3, 4.

Рис. 25. Схема нивелирования способом "по середине"



Для связующих точек определяется сначала превышение на станции по формуле

$$h = a - b,$$

где a – отсчет по задней рейке, мм; b – отсчет по передней рейке, мм.

Причем, если $a > b$, то превышение имеет знак плюс ($+ h$), если $a < b$, то превышение имеет знак минус ($- h$).

Затем определяется высота последующей точки по формуле

$$H_2 = H_1 + h.$$

Отметки промежуточных точек определяются через горизонт (высоту) прибора (ГП). Горизонт прибора определяется по формуле

$$\text{ГП} = H_1 + a_1.$$

Высота промежуточных точек

$$H_c = \text{ГП} - c,$$

где c – отсчеты по рейке на промежуточных точках.

169. Дано: $H_1 = 75,350$ м. Отсчеты по рейкам: $a_1 = 1833$ мм, $b_2 = 0724$ мм, $c_3 = 1067$ мм, $c_4 = 1793$ мм.

Определить высоты точек 2, 3 и 4.

Решение: Точка 2 является связующей. Поэтому сначала определяем превышение на ст. 1: $h = a - b = 1833 - 0724 = + 1109$ мм. Далее определяем высоту точки 2: $H_2 = H_1 + h = 75,350 + 1,109 = 76,459$ м. Точки 3 и 4 являются промежуточными. Поэтому сначала определяем высоту горизонта прибора: $\text{ГП} = H_1 + a_1 = 75,350 + 1,833 = 77,183$ м. Затем – высоты точек 3 и 4:

$$H_3 = \text{ГП} - c_3 = 77,183 - 1,067 = 76,116 \text{ м};$$

$$H_4 = \text{ГП} - c_4 = 77,183 - 1,793 = 75,390 \text{ м}.$$

170. По данным табл. 91 и рис. 25 определить высоты точек 2, 3, 4.

Нивелирование трассы большой протяженности или передача отметки на стройплощадку требует большого числа установок нивелира, т.е. большого числа станций. Превышение на каждой станции определяется по методике, изложенной выше.

Таблица 91

Вариант	H_1 , м	Отсчеты по рейкам, мм			
		a_1	b_2	c_3	c_4
1	25,350	1743	0873	0517	2583
2	30,450	1928	0924	0621	2674
3	35,550	2015	1007	0733	2565
4	40,650	2134	1138	0847	2856
5	45,750	2248	1276	0913	2767
6	50,850	1817	0783	0338	2573
7	55,950	2008	0996	0476	2681
8	60,150	2236	1058	0573	2767
9	65,250	2443	1163	0619	2894
10	70,050	2657	1277	0857	2952

В том случае, когда высоты связующих точек определять не требуется (передача отметки настройплощадку), высоту конечной точки нивелирного хода можно рассчитать по формуле

$$H_k = H_p + \Sigma h,$$

где H_k – высота конечной точки нивелирного хода, м; H_p – высота репера (начальной точки нивелирного хода), м; Σh – суммарное превышение по нивелирному ходу, м.

Суммарное превышение по ходу определяется по формуле

$$\Sigma h = \Sigma a - \Sigma b,$$

где Σa – сумма отсчетов по задним рейкам всего хода, Σb – сумма отсчетов по передним рейкам всего хода.

Эта формула используется также при контроле вычисления превышений и высот связующих точек в журнале нивелирования – "постстраничном контроле".

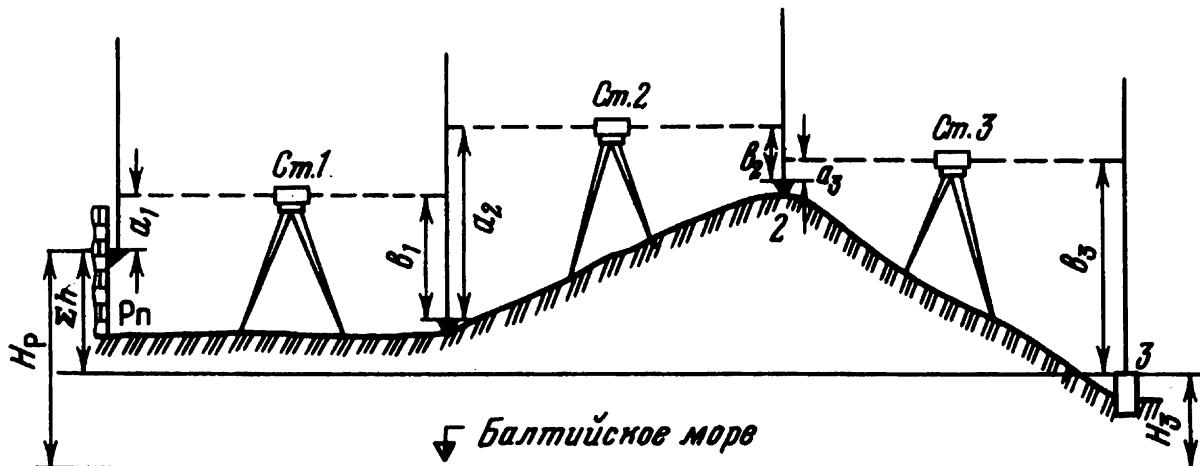


Рис. 26. Схема продольного нивелирования связующих точек

171. Нивелирование хода выполнено с трех станций (рис. 26). Отсчеты на рейках: задние — $a_1 = 0575$, $a_2 = 1833$, $a_3 = 0328$; передние — $b_1 = 1568$, $b_2 = 0747$, $b_3 = 2572$. Высота репера $H_p = 56,725$ м. Определить высоты связующих точек.

Определяем превышения на всех станциях:

$$\text{Ст. 1 } h_1 = 0575 - 1568 = -0993;$$

$$\text{Ст. 2 } h_2 = 1833 - 0747 = +1086;$$

$$\text{Ст. 3 } h_3 = 0328 - 2572 = -2244.$$

Определяем высоты связующих точек:

$$H_1 = H_p + h_1 = 56,725 + (-0,993) = 55,732 \text{ м};$$

$$H_2 = H_1 + h_2 = 55,732 + 1,086 = 56,818 \text{ м};$$

$$H_3 = H_2 + h_3 = 56,818 + (-2,244) = 54,574 \text{ м}.$$

Выполняем контроль вычислений.

Определяем сумму передних отсчетов и задних:

$$\Sigma a = 0575 + 1833 + 0328 = 2736;$$

$$\Sigma b = 1568 + 0747 + 2572 = 4887.$$

Суммарное превышение по ходу Σh :

$$\text{по отсчетам на рейках } \Sigma h = \Sigma a - \Sigma b = 2736 - 4887 = -2151;$$

$$\text{по превышениям } \Sigma h = h_1 + h_2 + h_3 = -0993 + 1086 + (-2244) = -2151;$$

$$\text{по высотам контрольных точек } \Sigma h = H_3 - H_p = 54,574 - 56,725 = -2151.$$

Суммарное превышение одинаково — в этом и заключается контроль.

Определяем отметку репера на стройплощадке H_3 :

$$H_3 = H_p + \Sigma h = 56,725 - 2,151 = 54,574 \text{ (м)}.$$

В этом случае превышение на станциях не определяется, суммарное превышение по ходу рассчитывается по формуле $\Sigma h = \Sigma a - \Sigma b$.

172. По данным табл. 92 и рис. 26 определить высоты связующих точек, выполнить контроль вычислений.

Двусторонние рейки, которые применяются сейчас при нивелировании, дают возможность контролировать правильность взятия отсчета в поле. Они имеют черную и красную стороны. По черной стороне пята (нижний конец рейки, которым она ставится на точку нивелирования) имеет отсчет ноль, т.е., так же как на линейке, имеется штрих — ноль (рис. 27). На красной стороне "нуля" нет, а пята имеет тот или иной отсчет P_k . Так, на рис. 27 пята красной стороны имеет отсчет $P_k = 4685$. Как следует из рис. 27, условием правильности взятия отсчетов является

Таблица 92

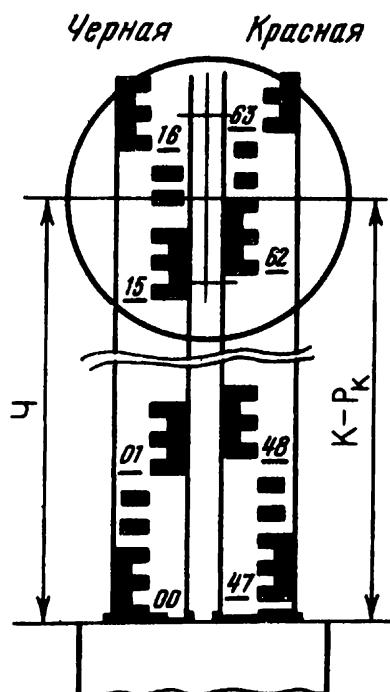
Вариант	H_p , м	Отсчеты по рейкам, мм					
		Ст. 1		Ст. 2		Ст. 3	
		a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3
1	15,375	0328	1347	1764	0411	0314	2437
2	20,464	0437	1484	1883	0523	0473	2515
3	25,553	0549	1621	1975	0636	0525	2627
4	30,642	0651	1756	2015	0768	0637	2731
5	35,731	0763	1835	2126	0832	0642	2844
6	40,829	0875	1783	2073	0715	0577	2771
7	45,915	0727	1677	1965	0647	0434	2684
8	50,173	0643	1515	1841	0563	0328	2575
9	55,087	0582	1433	1724	0433	0405	2615
10	60,248	0489	1327	1633	0574	0528	2722

ся равенство $\chi = K - P_k$, где χ – отсчет по черной стороне, K – отсчет по красной стороне или $K - \chi = P_k$, т.е. разность отсчетов по красной и черной сторонам рейки должна быть равна контрольной цифре – отсчету пятой красной стороны рейки P_k .

173. На рис. 27 отсчеты $\chi = 1565$, $K = 6250$. Выполнить контроль вычислений.

Контроль: $6250 - 1565 = 4685 = P_k$.

На практике действительная разность (P_d) может отклоняться от контрольной на величину ± 4 мм, следовательно, действительная разность ($K - \chi$) должна находиться в таких пределах:



$$(P_k - 4) \leq P_d \leq (P_k + 4).$$

В нашем примере:

$$\left. \begin{array}{l} 4685 - 4 = 4681 \\ 4685 + 4 = 4689 \end{array} \right\}, \quad 4681 \leq P_d \leq 4689.$$

174. В табл. 93 даны отсчеты по рейкам точек нивелирования. Определить, на каких точках (1 – 5) отсчеты по черной и красной сторонам допускаются, на каких – не допускаются. Определить, какие могут быть отсчеты по красной стороне рейки (точки 6 – 10).

Рис. 27. Контроль отсчетов на рейке

Таблица 93

Вариант	P_k	Отсчеты на точках, черные красные					Отсчеты на точках, черные				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4685	1024	1835	2117	2581	2715	0913	1048	1273	1895	2554
		5703	6523	6800	7263	7406					
2	4785	0927	1773	1954	2012	2583	1018	1254	1724	2032	2719
		5715	6552	6742	6803	7365					
3	4885	0513	0848	1023	1517	1934	0774	0958	1659	2117	2848
		5395	5736	5902	6408	6816					
4	4985	0637	0918	1112	1947	2215	0663	0813	1245	1933	2446
		5625	5900	6091	6938	7203					
5	4885	0875	1021	1367	1873	2262	0519	0972	1315	2021	2648
		5763	5900	6255	6755	7153					
6	4785	1010	1518	1873	2113	2557	0873	1043	1513	2120	2792
		5801	6300	6661	6892	7345					
7	4685	1234	1642	1867	2018	2747	0922	1158	1765	1919	2578
		5916	6321	6558	6706	7435					
8	4785	0972	1127	1546	1888	2427	1031	1348	1818	2067	2627
		5754	5918	6325	6670	7215					
9	4885	0817	1343	1795	1956	2592	1143	1573	1927	2172	2738
		5708	6225	6683	6835	7474					
10	4985	0733	0979	1214	1852	2713	1234	1613	1878	2035	2843
		5712	5961	6196	6840	7704					

Глава XII. РАЗБИВКА И НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРАССЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

§ 37. ЭЛЕМЕНТЫ КРУГОВЫХ КРИВЫХ

План железной дороги состоит из двух элементов – прямой и кривой. Прямая сопрягается с кривой с помощью переходной кривой (рис. 28 и 29). Для проектирования кривой и ее разбивки на местности необходимо знать угол поворота кривой и ее радиус R . Угол поворота измеряется теодолитом в поле, а радиус кривой назначается в зависимости от топографических условий, в соответствии с нормами проектирования железных дорог.

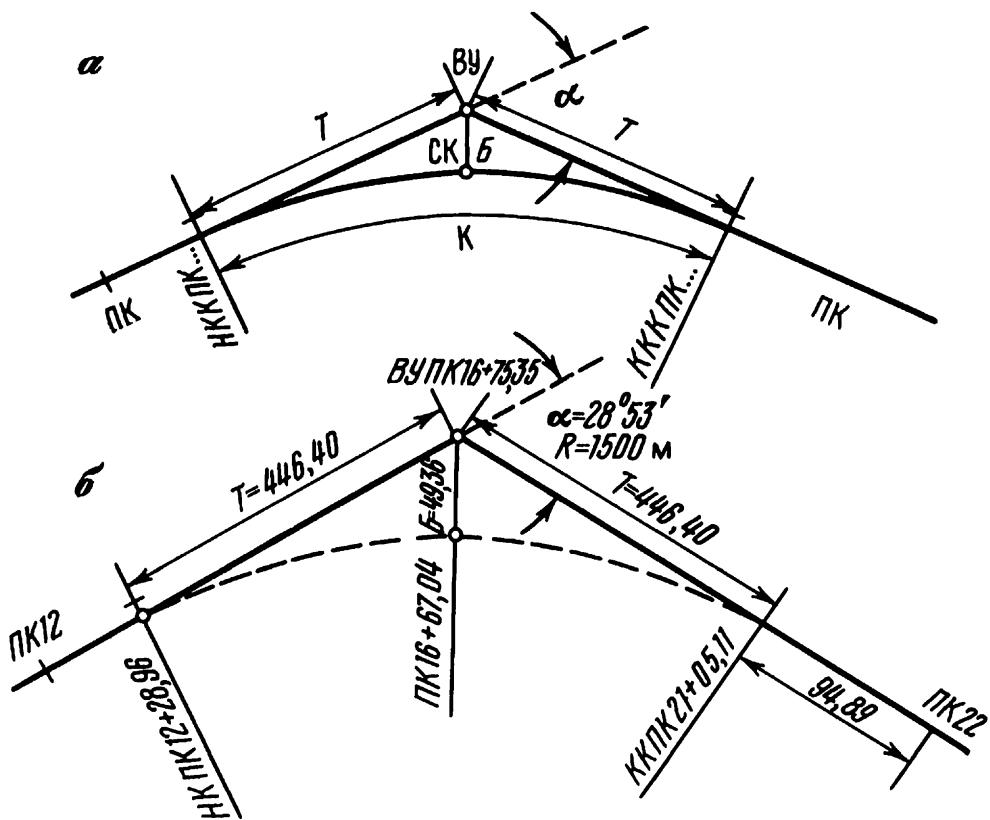


Рис. 28. Схемы разбивки круговой кривой:
а – принципиальная схема; б – схема решения задачи

Следовательно, исходными данными являются α и R , в зависимости от которых определяются все остальные элементы кривой: Т – тангенс круговой кривой, м; К – длина круговой кривой, м; Б – биссектриса круговой кривой, м; Д – домер, м.

Элементы круговой кривой (см. рис. 28) могут быть определены следующими способами.

1) по формулам:

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \quad K = \frac{\pi R \alpha}{180^\circ};$$

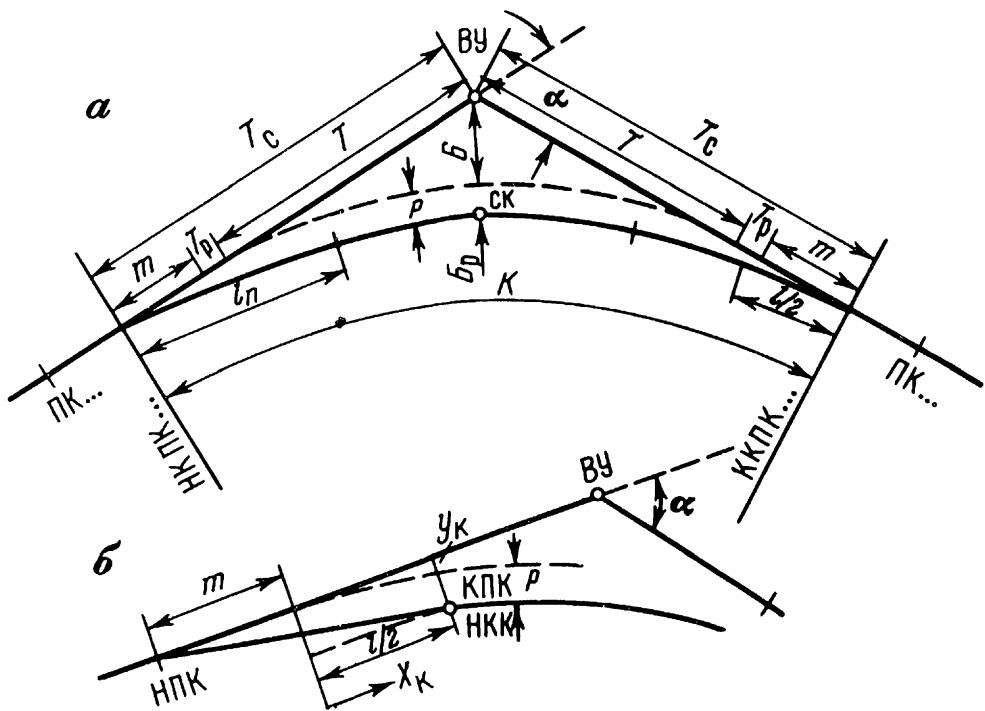


Рис. 29. Схемы разбивки круговой и переходной кривой:

a – принципиальная схема; *б* – схема переходной кривой

$$Д = 2T - K; \quad Б = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right);$$

2) по специальным таблицам для разбивки кривых на железных дорогах [2], которые рассчитываются по формулам, приведенным выше.

175. Определить элементы кривой, если $\alpha = 15^\circ 21'$, $R = 800$ м.

Расчет проведем на микрокалькуляторе, поэтому минуты угла поворота необходимо перевести в доли градуса: $21' : 60 = 0,35^\circ$. Тогда угол поворота $\alpha = 15,35^\circ$, $\alpha/2 = 7,675^\circ$.

$$T = 800 \cdot \operatorname{tg} 7,675 = 800 \cdot 0,1347 = 107,808 \text{ м};$$

$$K = \frac{\pi \cdot 800 \cdot 15,35^\circ}{180} = 0,01745 \cdot 800 \cdot 15,35 = 214,286 \text{ м};$$

$$Д = 2 \cdot 107,808 - 214,286 = 1,33 \text{ м};$$

$$Б = 800 \left(\frac{1}{\cos 7,675^\circ} - 1 \right) = 800 \cdot 0,009038 = 7,23 \text{ м.}$$

По таблицам элементы кривых определяются следующим образом:
находится таблица для заданного радиуса;
в левой крайней графе отыскивают градус угла поворота;
далее отыскивают минуты угла поворота.

Возможны два случая: в таблице имеются искомые минуты — из горизонтальной строчки выписываются значения элементов кривой, в таблице нет искомых минут. В этом случае останавливаются на ближайшем меньшем значении минут и выписывают величины элементов кривой. В таблицах в соседней графе приводятся поправки на одну минуту в сантиметрах. Следовательно, искомые величины будут определяться по формулам

$$T_i = T_t + n' \Delta T; K_i = K_t + n' \Delta K,$$

где T_t, K_t — табличные значения элементов кривой; $\Delta T, \Delta K$ — поправка на одну минуту в см; n — число минут, не хватающее до заданного значения угла поворота.

176. Определить элементы кривой, если $\alpha = 28^\circ 83'$, $R = 1500$ м.

Элементы кривой определяем по таблице (прил. 3). В таблице заданных минут нет. Выписываем значения элементов кривой для ближайшего меньшего значения: $28^\circ 51' - T_t = 385,83$; $K_t = 755,29$; $\Delta T = 16,37$; $B_t = 48,83$. Из соседних граф выписываем поправки $\Delta T = 23$ см, $\Delta K = 44$ см, $\Delta D = 3$ см, $\Delta B = 6$ см. От табличного угла до искомого надо добавить $2'$. Определяем искомые величины:

$$T_i = 385,83 + 2 \cdot 0,23 = 385,83 + 0,46 = 386,29 \text{ м};$$

$$K_i = 755,29 + 2 \cdot 0,44 = 755,29 + 0,88 = 756,17 \text{ м};$$

$$D_i = 16,37 + 2 \cdot 0,03 = 16,37 + 0,06 = 16,43 \text{ м};$$

$$B_i = 48,83 + 2 \cdot 0,06 = 48,83 + 0,12 = 48,95 \text{ м}.$$

Контроль: $2T = K + D = 2 \cdot 386,29 = 756,17 + 16,43 = 772,58 = 772,60$.

В тех случаях, когда прямо из таблиц выписать величины элементов кривых нельзя, что имеет место, если в таблицах нет заданных угла поворота или радиуса кривой, элементы кривых определяются по следующей методике. Из таблиц для радиуса 1000 м (или 100 м) (для этих радиусов таблицы имеют очень большие углы поворота) по заданному углу поворота выписываются значения элементов кривой: T_{1000} , K_{1000} и т.д. Далее расчетом определяются искомые величины:

$$T_i = A \cdot T_{1000}; K_i = A \cdot K_{1000}; B_i = A \cdot B_{1000};$$

$$D_i = A \cdot D_{1000},$$

где $A = \frac{R_i}{R_t}$, т.е. отношение заданного радиуса к табличному, который, как правило, $R_t = 1000$ м и $A = 0,001 R_t$, или $R_i = 100$ м и тогда $A = 0,01 R_t$.

177. Определить элементы кривой с помощью таблиц, если

$$\alpha = 45^\circ 00', R = 800 \text{ м.}$$

В таблицах для $R = 800$ $\alpha_{\max} = 30^\circ 00'$ – прямо по таблицам определить искомые величины нельзя. Для $R = 1000$ и $\alpha = 45^\circ 00'$ имеем: $T_{1000} = 414,214 \text{ м}; K_{1000} = 785,298 \text{ м}; D_{1000} = 43,029 \text{ м}; B_{1000} = -82,392 \text{ м.}$

Определяем коэффициент перевода $A = 800/1000 = 0,8$. Тогда искомые величины $T_u = 0,8 \cdot 414,214 = 331,37 \text{ м}; K_u = 0,8 \cdot 785,298 = -628,32 \text{ м}; D_u = 0,8 \cdot 43,029 = 34,42 \text{ м}; B_u = 0,8 \cdot -82,392 = 65,91 \text{ м.}$

178. По данным табл. 94 определить элементы кривых: по формулам (кривая 1), по таблицам (кривые 2 и 3).

Таблица 94

Вариант	Кривая 1		Кривая 2		Кривая 3	
	α_1	R_1	α_2	R_2	α_3	R_3
1	$20^\circ 23'$	500	$17^\circ 43'$	1200	$39^\circ 34'$	600
2	$18^\circ 14'$	600	$19^\circ 23'$	800	$38^\circ 23'$	800
3	$25^\circ 37'$	700	$20^\circ 17'$	700	$37^\circ 19'$	1200
4	$19^\circ 43'$	800	$22^\circ 34'$	600	$36^\circ 49'$	1500
5	$15^\circ 17'$	1000	$23^\circ 13'$	500	$35^\circ 42'$	1800
6	$24^\circ 13'$	800	$21^\circ 47'$	600	$36^\circ 11'$	600
7	$21^\circ 34'$	700	$18^\circ 38'$	700	$37^\circ 43'$	800
8	$25^\circ 08'$	600	$15^\circ 49'$	800	$38^\circ 26'$	1200
9	$22^\circ 31'$	500	$13^\circ 26'$	1200	$39^\circ 32'$	1500
10	$27^\circ 17'$	400	$11^\circ 23'$	1500	$40^\circ 17'$	1800

§ 38. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СУММИРОВАННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КРИВЫХ

При проектировании круговых кривых с переходными кривыми определяются суммированные элементы кривой:

$$T_c = T + T_p + m; K_c = K + l;$$

$$D_c = D + 2T_p - (0,5l - m); B_c = B + B_p,$$

где m – приращение тангенса при устройстве переходной кривой; B_p , T_p – приращения биссектрисы и тангенса, вызванные сдвигкой кривой.

Эти величины определяются, как правило, по таблицам в зависимости от длины переходной кривой (l), но могут быть определены и по формулам:

$$T_p = p \operatorname{tg} \alpha/2; B_p = p \sec \alpha/2 = p \cos \alpha/2,$$

где p – сдвигка круговой кривой при устройстве переходной,

$$p = l^2/24R.$$

179. Определить элементы переходной кривой и суммированные элементы кривой, если $\alpha = 28^{\circ}53'$, $R = 1500$ м, $l_n = 120$ м. В прил. 3 по длине переходной кривой 120 м находим элементы переходной кривой:

$$T_p = 0,10 - 11; \text{ принимаем } T_p = 0,11 \text{ м};$$

$$m = 60,00 \text{ м}; \quad p = 0,40 \text{ м}; \quad B_p = 0,41 \text{ м.}$$

Определяем эти величины по формулам

$$p = \frac{120^2}{24 \cdot 1500} = 0,40 \text{ м};$$

$$\alpha^\circ = 28 \frac{53}{60} = 28,883^\circ; \quad \alpha/2 = 14,441^\circ;$$

$$T_p = 0,40 \operatorname{tg} 14,441 = 0,103 \text{ м};$$

$$B_p = 0,40/\cos 14,441 = 0,413 \text{ м};$$

$$m = l/2 = \frac{120}{2} = 60 \text{ м.}$$

Определяем суммированные элементы кривой:

$$T_c = 386,29 + 0,11 + 60 = 446,40 \text{ м};$$

$$K_c = 756,17 + 120 = 876,17 \text{ м};$$

$$\Delta_c = 16,43 + 2 \cdot 0,10 - (60 - 60) = 16,63 \text{ м};$$

$$B_c = 48,95 + 0,41 = 49,36 \text{ м.}$$

Контроль: $2T_c = K_c + \Delta_c; \quad 2 \cdot 446,40 = 876,17 + 16,63 = 892,80.$

180. По данным табл. 95 определить суммированные элементы кривой.

Таблица 95

Вариант	α	R	l	Вариант	α	R	l
1	$25^{\circ}17'$	500	180	6	$21^{\circ}41$	800	100
2	23 26	600	140	7	20 13	1500	120
3	22 17	800	120	8	19 31	1200	140
4	20 32	1200	100	9	22 43	600	120
5	19 49	1500	80	10	23 11	500	160

39. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ ТОЧЕК КРИВОЙ ПИКЕТАЖНОМ ИСЧИСЛЕНИИ

При разбивке трассы на прямой и кривой должны быть закреплены местности пикеты и характерные плюсовые точки. Кроме того, для кривой должны быть разбиты и закреплены главные точки кривой – ВУ, НК, КК и СК. Задача усложняется тем, что необходимо измерить расстояние по кривой, т.е. передать пикетажное значение на следующую прямую с учетом длины кривой. Для этого производят расчет пикетажа в кривой.

Как следует из рис. 28, б, продолжая измерение по предыдущей прямой до ВУ, тем самым определяют пикетаж вершины угла поворота кривой (ВУ ПК). Далее производится расчет пикетажа главных точек кривой.

181. ВУ ПК 16 + 75,35. Величины суммированных элементов кривой принимаем из предыдущего примера:

$$T_c = 446,40 \text{ м}; \quad K_c = 876,17 \text{ м}; \quad D_c = 16,63 \text{ м},$$

Расчет пикетажа

ВУ ПК 16 + 75,35

—

$T_c \quad 4 + 46,40$

НК ПК 12 + 28,95

+

$K_c \quad 8 + 76,17$

КК ПК 21 + 05,12

Определяем пикетаж СК

НК ПК 12 + 28,95

+

$K_c/2 \quad 4 + 38,08$

СК ПК 16 + 67,03

Контроль

ВУ ПК 16 + 75,35

+

$T_c \quad 4 + 46,40$

ПК 21 + 21,75

—

$D_c \quad 16,63$

КК ПК 21 + 05,12

Контроль

ВУ ПК 16 + 75,35

$D_c/2 \quad 8,31$

СК ПК 16 + 67,04.

Таким образом, пикетаж КК у нас равен ПК 21 + 05,12 и на следующей прямой необходимо найти и закрепить ПК 22. Очевидно, что от точки КК вперед до ПК 22 необходимо отмерить $100,00 - 05,12 = 94,89$ м.

На основании выполненных расчетов вычерчиваем схему кривой (см. рис. 28, б).

182. По данным табл. 95 и 96 определить пикетаж главных точек кривой, вычертить схему кривой (см. рис. 28, б).

Таблица 96

Вариант	Пикетаж ВУ	Вариант	Пикетаж ВУ
1	11 + 35,65	6	35 + 37,17
2	17 + 15,38	7	23 + 18,75
3	21 + 45,27	8	19 + 58,15
4	31 + 56,43	9	13 + 73,08
5	43 + 73,26	10	27 + 15,86

§ 40. ВЫНОС ТОЧЕК ПИКЕТОВ С ТАНГЕНСА НА КРИВУЮ СПОСОБОМ КООРДИНАТ

Вынос точек пикетов с тангенса на кривую производится способом координат. За ось абсцисс (X) принимается тангенс кривой, причем за нуль оси абсцисс принимаются точки НК или КК, т.е. разбивка точек ведется от НК или КК и ВУ.

Предположим, требуется на кривой закрепить точку I (рис. 30, a). Если мы кривую распрямим и приложим к оси абсцисс, то точка I будет находиться в точке I' . Если же мы найдем проекцию точки I на оси абсцисс, то она будет находиться в точке I'' . Следовательно, для того, чтобы найти точку I на кривой, необходимо:

на тангенсе кривой (оси абсцисс) отложить от НК или КК размер K . Тем самым находим точку I' ;

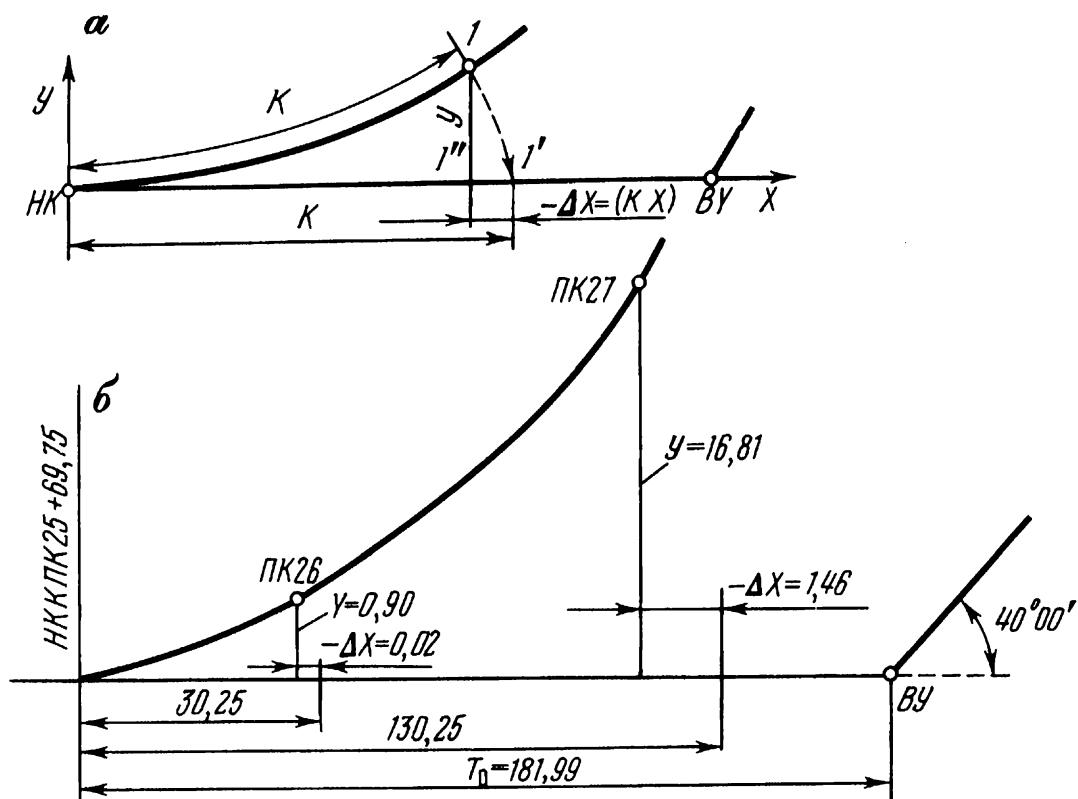


Рис. 30. Схема выноса пикетов на кривую способом координат от тангенса

от точки I назад отложить размер $(-\Delta x)$. В таблицах эта величина обозначается $(K - x)$. Находим точку I'' ;

от точки I'' , перпендикулярно к тангенсу (оси абсцисс) откладываем y и находим искомую точку I .

Величины $(K - x)$ и y в зависимости от радиуса кривой определяются по специальным таблицам ("Таблицы разбивки кривых на железных дорогах") [2].

183. Дано: $\alpha = 40^\circ 00'$; $R = 500$ м; НКК ПК 25 + 69,75. Вынести пикеты на круговую кривую (без переходных кривых). Из таблиц имеем: $T = 181,99$ м. От НКК ПК 25 + 69,75 до ПК 26 расстояние 100 – 69,75 = 30,25 м. От ПК 26 до 27 расстояние $100 + 30,25 = 130,25 < T = 181,99$. Следовательно, на первой половине кривой (до СК) необходимо разбить два пикета – ПК 26 и ПК 27. По таблице для $R = 500$ м определяем $(K - x)$ и y (см. прил. 3). Все расчеты и данные для разбивки пикетов сводим в табл. 97.

По данным табл. 97 вычерчиваем схему разбивки пикетов на кривой (рис. 30, б).

Таблица 97

Пикеты	Расстояние до пикетов K_x	$(K - x)$	y
НКК	0	0	0
ПК 25 + 69,75			
ПК 26	30,25	0,02	0,90
ПК 27	130,25	1,46	16,81

184. По данным табл. 98 определить элементы круговой кривой (без переходной), определить по таблицам координаты $(K - x)$ и y для разбивки пикетов на первой половине кривой, вычертить поясняющую схему (см. рис. 30, б).

Таблица 98

Вариант	α	R , м	НКК ПК
1	$31^\circ 42'$	600	15 + 58,15
2	28 18	700	28 + 47,68
3	27 27	800	18 + 24,13
4	24 36	1000	26 + 12,85
5	20 51	1200	33 + 08,17
6	29 18	600	23 + 82,34
7	30 27	700	17 + 63,74
8	29 36	800	25 + 34,72
9	22 48	1000	19 + 21,38
10	18 57	1200	28 + 15,75

Таблица 99

Вариант	Кривая 1			Кривая 2			
	α	$R, \text{ м}$	ВУ ПК	α	$R, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	ВУ ПК
1	31°15'	1800	26 + 75,30	28°14'	1200	100	81 + 55,80
2	28 45	2000	28 + 25,70	27 35	800	140	82 + 30,10
3	54 15	1500	33 + 68,40	31 38	600	160	84 + 56,40
4	52 18	1200	41 + 38,20	28 28	1500	80	86 + 37,30
5	55 48	800	45 + 42,60	20 47	2000	100	88 + 63,70
6	56 36	1200	49 + 70,30	27 50	1500	100	75 + 33,50
7	53 45	1500	52 + 35,40	33 17	600	140	73 + 73,40
8	38 12	1800	56 + 47,50	29 20	1200	80	58 + 70,70
9	36 19	2000	60 + 15,10	26 50	800	120	46 + 25,60
10	48 54	800	71 + 61,40	19 44	2000	80	36 + 40,50

185. По данным табл. 99:

- 1) определить по таблицам элементы круговой кривой (кривая 1) и пикетаж главных точек кривой;
- 2) найти суммированные элементы кривой с переходной кривой и пикетаж главных точек (кривая 2);
- 3) определить координаты для разбивки пикетов на круговой кривой (кривая 1);
- 4) вычертить схемы круговой кривой, круговой с переходной и разбивку пикетов на круговой кривой.

Глава XIII. ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ НИВЕЛИРОВАНИЯ ТРАССЫ

§ 41. ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЫСОТ ТОЧЕК И ПОСТРANИЧНЫЙ КОНТРОЛЬ

Итоговая задача обработки материалов нивелирования – определение высоты связующих и промежуточных точек. По высотам точек строятся и вычерчиваются продольный и поперечные профили земли по трассе, которые, в свою очередь, являются основой для проектирования железной дороги.

Полевые измерения (отсчеты по рейке) записываются в полевой журнал нивелирования, в котором и производятся все необходимые вычисления.

Образец журнала нивелирования приводится в табл. 100.

Вычисление превышений производится с контролем.

При нивелировании связующих точек отсчеты берутся по черной и красной сторонам рейки. Напомним, что правильность взятия отсчета контролируется в поле. Следовательно, в журнал записываются только

Таблица 100

Журнал нивелирования

№ станции	ПК	Отсчеты по рейкам			Превышения		Средние превышения		Увязанные превышения		Высота горизонта прибора, м	Высота точек, м
		задние	передние	промежуточные	+	-	+	-	+	-		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Правильные отсчеты. Вычисляются два превышения по черным отсчетам и красным. Затем из этих двух превышений определяется среднее превышение на станции.

Так как при вычислении превышений возможны ошибки, то правильность их вычислений обязательно контролируется. Для того чтобы избежать ошибок, все вычисления в журнале нивелирования контролируются методом постраничного контроля.

186. В табл. 101 (нумерация граф в соответствии с образцом журнала нивелирования табл. 100) приведены полевые отсчеты по двусторонним рейкам. Определить превышение на каждой станции и осуществить контроль их вычисления.

Таблица 101*

№ станции	ПК	Отсчет по рейкам черные/красные		Превышения		Средние превышения	
		задние <i>a</i>	передние <i>b</i>	+	-	+	-
1	2	3	4	6	7	8	9
1	P 1	0745					
	ПК 0	<u>5532</u>	1637		0892		0890
2	ПК 0	1853					
	ПК 1	<u>6640</u>	0514	1339		1341	
3	ПК 1	1021					1115
	ПК 1	<u>5808</u>	2138	1117			
			6921	1113			

Продолжение табл. 101

1	2	3	4	6	7	8	9
4	ПК 2	2034 — 6821		1409 — 1413		1411	
5	ПК 3	1267 — 6054		0395 — 0399		0397	
	ПК 4	0872 — 5655					
6	ПК 4	0438 — 5225		2175 — 2171			2173
	ПК 5	2613 — 7396					
7	ПК 5	0575 — 5362		2159 — 2155			2157
	ПК 6	2734 — 7517					
8	ПК 6	1572 — 6359		0487 — 0491		0489	
	ПК 7	1085 — 5868					
9	ПК 7	1735 — 6522		0918 — 0922		0920	
	ПК 8	0817 — 5600					
10	ПК 8	1947 — 6734		1463 — 1467		1465	
	P 2	0484 — 5267					

$$\Sigma a = 74\ 244$$

$$\Sigma b = 74\ 868$$

$$\Sigma h = (74\ 244 - 74\ 868)/2 = - 0312$$

$$12\ 046$$

$$12\ 670$$

$$6023$$

$$6335$$

$$\Sigma h = (12\ 670 -$$

$$- 12\ 046)/2 =$$

$$= - 0312$$

$$\Sigma h = 6335 -$$

$$- 6023 = - 0312$$

*Графа 5 журнала нивелирования опущена, так как она не нужна для данной задачи.

Превышение на каждой станции определяется по формуле $h = b - a$ и записывается в зависимости от знака превышения либо в графу (+), либо в графу (-).

Определим превышение на ст. 1:

по черной стороне: $h_{\text{ч}} = 0745 - 1637 = -0892$;

по красной стороне: $h_{\text{к}} = 5532 - 6420 = -0888$.

Невязка в превышениях $\Delta h = |0892| - |-0888| = 4$ мм. При нивелировании IV класса $\Delta h \leq 5$ мм.

При техническом нивелировании $\Delta h \leq 10$ мм.

Последовательно вычисляют превышения на всех станциях, контролируя невязку превышений по нормам, указанным выше.

Далее для постраничного контроля определяем сумму задних отсчетов (по черной и красной сторонам рейки) и сумму передних.

В нашем примере $\Sigma a = 74\ 244$; $\Sigma b = 74\ 868$. Суммарное превышение по всему нивелирному ходу

$$\Sigma h = \frac{\Sigma a - \Sigma b}{2} = \frac{74\ 244 - 74\ 868}{2} = -\frac{624}{2} = -312 \text{ мм.}$$

Далее суммируем отдельно все "плюсовые" (графа 6) и "минусовые" (графа 7) превышения. Разность между ними должна быть равна суммарному превышению по всему ходу.

В нашем примере $\Sigma (+h) = 12\ 046$; $\Sigma (-h) = 12\ 670$.

Тогда

$$\Sigma h = \frac{12\ 046 - 12\ 670}{2} = \frac{-624}{2} = -312 \text{ мм.}$$

Контроль выполнен — превышения вычислены без ошибки.

После этого определяют средние превышения

$$\text{Ст. 1 } h_{\text{ср}} = \frac{h_{\text{и}} + h_{\text{к}}}{2} = \frac{0892 + 0888}{2} = 0890.$$

Определив средние превышения, контролируют вычисления. Для этого суммируют отдельно "плюсовые" (графа 8) и "минусовые" (графа 9) средние превышения. Разность между ними должна быть равна суммарному превышению по всему ходу.

В нашем примере $\Sigma (+h_{\text{ср}}) = 6023$, $\Sigma (-h_{\text{ср}}) = 6335$. Тогда $\Sigma h = 6023 - 6335 = -312$ мм. Контроль выполнен — ошибок при вычислении средних превышений нет.

187. По данным табл. 102: вычертить журнал нивелирования и заполнить его по образцу табл. 100, 101. Вычислить средние превышения на станциях с контролем.

Таблица 102

Пикеты	Вариант									
	1		2		3		4		5	
	Отсчеты по рейкам (черные/красные)									
	задние	передние	задние	передние	задние	передние	задние	передние	задние	передние
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
Рп 1	0575		0438		0617		0775		0832	
	<u>5363</u>		<u>5220</u>		<u>5400</u>		<u>5560</u>		<u>5615</u>	
РК 0	1872	1548	1934	1623	2013	1705	2127	1857	2245	1934
	<u>6655</u>	<u>6335</u>	<u>6720</u>	<u>6410</u>	<u>6700</u>	<u>6490</u>	<u>6910</u>	<u>6640</u>	<u>7030</u>	<u>6720</u>
ПК 1	1234	0681	1708	0737	1615	0565	1533	0415	1433	0838
	<u>6021</u>	<u>5464</u>	<u>6495</u>	<u>5520</u>	<u>6400</u>	<u>5350</u>	<u>6320</u>	<u>5200</u>	<u>6220</u>	<u>5625</u>
ПК 2	2537	2026	2428	2107	2317	2236	2203	2328	2113	2442
	<u>7320</u>	<u>6810</u>	<u>7215</u>	<u>6895</u>	<u>7100</u>	<u>7020</u>	<u>6990</u>	<u>7115</u>	<u>6900</u>	<u>7225</u>
ПК 3	1548	0518	1637	0627	1523	0736	1416	0443	1308	0508
	<u>6330</u>	<u>5300</u>	<u>6420</u>	<u>5410</u>	<u>6310</u>	<u>5520</u>	<u>6200</u>	<u>5230</u>	<u>6095</u>	<u>5295</u>
ПК 4	0557	0684	0663	0775	0772	0868	0877	0954	0607	0557
	<u>5344</u>	<u>5470</u>	<u>5450</u>	<u>5560</u>	<u>5555</u>	<u>5655</u>	<u>5660</u>	<u>5740</u>	<u>5390</u>	<u>5340</u>
ПК 5	0413	2718	0524	2823	0636	2903	0747	2632	0803	2748
	<u>5200</u>	<u>7500</u>	<u>5310</u>	<u>7610</u>	<u>5420</u>	<u>7685</u>	<u>5535</u>	<u>7415</u>	<u>5590</u>	<u>7535</u>

ПК 6	<u>1437</u>	<u>2663</u>	<u>1517</u>	<u>2754</u>	<u>1625</u>	<u>2576</u>	<u>1734</u>	<u>2775</u>	<u>1542</u>	<u>2957</u>
	<u>6220</u>	<u>7450</u>	<u>6300</u>	<u>7540</u>	<u>6410</u>	<u>7660</u>	<u>6520</u>	<u>7695</u>	<u>6625</u>	<u>7670</u>
ПК 7	<u>1523</u>	<u>0774</u>	<u>1634</u>	<u>0863</u>	<u>1718</u>	<u>0975</u>	<u>1847</u>	<u>1010</u>	<u>1919</u>	<u>0685</u>
	<u>6310</u>	<u>5560</u>	<u>6420</u>	<u>5650</u>	<u>6505</u>	<u>5760</u>	<u>6630</u>	<u>5795</u>	<u>6705</u>	<u>5470</u>
ПК 8	<u>1818</u>	<u>0476</u>	<u>1724</u>	<u>0583</u>	<u>1635</u>	<u>0665</u>	<u>1748</u>	<u>0754</u>	<u>1806</u>	<u>0892</u>
	<u>6605</u>	<u>5260</u>	<u>6510</u>	<u>5370</u>	<u>6420</u>	<u>5450</u>	<u>6535</u>	<u>5540</u>	<u>6590</u>	<u>5670</u>
Рп 2		<u>0517</u>		<u>0620</u>		<u>0475</u>		<u>0733</u>		<u>0805</u>
		<u>5300</u>		<u>5405</u>		<u>5260</u>		<u>5520</u>		<u>5590</u>
Рп 1	<u>0673</u>		<u>0558</u>		<u>0433</u>		<u>0513</u>		<u>0647</u>	
	<u>5460</u>		<u>5345</u>		<u>5220</u>		<u>5300</u>		<u>5430</u>	
ПК 0	<u>2112</u>	<u>1812</u>	<u>2075</u>	<u>1795</u>	<u>1968</u>	<u>1648</u>	<u>1888</u>	<u>1535</u>	<u>2047</u>	<u>1487</u>
	<u>6895</u>	<u>6595</u>	<u>6860</u>	<u>6580</u>	<u>6755</u>	<u>6435</u>	<u>6675</u>	<u>6320</u>	<u>6830</u>	<u>6270</u>
ПК 1	<u>1314</u>	<u>0767</u>	<u>1557</u>	<u>0624</u>	<u>1673</u>	<u>0537</u>	<u>1756</u>	<u>0475</u>	<u>1586</u>	<u>0517</u>
	<u>6100</u>	<u>5550</u>	<u>6340</u>	<u>5410</u>	<u>6460</u>	<u>5320</u>	<u>6540</u>	<u>5260</u>	<u>6370</u>	<u>5300</u>
ПК 2	<u>2272</u>	<u>2513</u>	<u>2383</u>	<u>2708</u>	<u>2464</u>	<u>2655</u>	<u>2373</u>	<u>2563</u>	<u>2287</u>	<u>2475</u>
	<u>7055</u>	<u>7300</u>	<u>7170</u>	<u>7495</u>	<u>7250</u>	<u>7440</u>	<u>7160</u>	<u>7350</u>	<u>7070</u>	<u>7260</u>
ПК 3	<u>1454</u>	<u>0456</u>	<u>1565</u>	<u>0567</u>	<u>1676</u>	<u>0673</u>	<u>1773</u>	<u>0784</u>	<u>1892</u>	<u>0693</u>
	<u>6240</u>	<u>5240</u>	<u>6350</u>	<u>5350</u>	<u>6460</u>	<u>5460</u>	<u>6560</u>	<u>5570</u>	<u>6675</u>	<u>5480</u>
ПК 4	<u>0513</u>	<u>0406</u>	<u>0424</u>	<u>0513</u>	<u>0563</u>	<u>0627</u>	<u>0637</u>	<u>0733</u>	<u>0742</u>	<u>0848</u>
	<u>5300</u>	<u>5190</u>	<u>5210</u>	<u>5300</u>	<u>5350</u>	<u>5410</u>	<u>5420</u>	<u>5520</u>	<u>5525</u>	<u>5635</u>

Продолжение табл. 102

Пикеты	Вариант									
	6		7		8		9		10	
	Отсчеты по рейкам (черные/красные)									
	задние	передние	задние	передние	задние	передние	задние	передние	задние	передние
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
ПК 5	0758	2657	0667	2568	0574	2673	0477	2764	0583	2885
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5545	7440	5450	7355	5360	7460	5260	7550	5370	7670
ПК 6	1756	2736	1663	2625	1578	2513	1484	2624	1392	2735
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6540	7520	6450	7410	6365	7300	6270	7410	6175	7520
ПК 7	1853	0708	1862	0815	1957	0924	1762	1035	1674	0587
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6640	5495	6645	5600	6740	5710	6545	5820	6460	5370
ПК 8	1862	0728	1937	0613	1763	0526	1874	0436	1985	0554
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	6645	5515	6720	5400	6550	5310	6660	5220	6770	5340
Рп 2		0764		0513		0405		0678		0784
		—		—		—		—		—
		5550		5300		5190		5465		5570

4.2. УВЯЗЫВАНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЫСОТ СВЯЗУЮЩИХ ТОЧЕК

Нивелирование трассы для контроля работ в поле может выполнятьсь одним из следующих способов:

- с привязкой к двум реперам в начале и конце трассы;
- двумя нивелирами;
- двойным ходом — туда и обратно.

Во всех случаях определяется невязка нивелирного хода, проверяется ее допустимость, после чего невязка распределяется, т.е. превышения увязываются.

Допустимые невязки устанавливаются специальными нормативными документами. Для IV класса и технического нивелирования допустимые невязки приведены в табл. 103.

Таблица 103

Характеристики	Нивелирование IV класса	Техническое нивелирование
Разность превышений по красной и черной сторонам реек	$d = h_K - h_Q \leq 5 \text{ мм}$	$d = h_K - h_Q \leq 10 \text{ мм}$
Невязки превышений ходов, опирающихся на реперы старших классов (L — число километров в ходе)	$f_x \leq 20\sqrt{L}$	$f_x \leq 50\sqrt{L}$

188. Определить допустимость невязки нивелирного хода, опирающегося на два репера (табл. 104), если высота Рп 1 = 75,355 м и Рп 2 = 75,070 м, длина хода $L \approx 1 \text{ км}$. Распределить невязку и увязать превышения. Вычислить высоты связующих точек. Все расчеты выполнением в графах 10 – 13 журнала нивелирования (см. табл. 100).

Определяем контрольное превышение реперов:

$$\Delta H_K = P_2 - P_1 = 75,070 - 75,355 = -0,285 \text{ м.}$$

У нас же действительное превышение по ходу $-0,312 \text{ м.}$

Определяем невязку по нивелирному ходу:

$$f_x = \sum h_d - \Delta H_K = -312 - (-285) = -27 \text{ мм.}$$

Длина нивелирного хода $\approx 1 \text{ км}$. Тогда допустимая невязка: IV класс нивелирования $f_{x \text{ доп}} = 20\sqrt{1} = 20 \text{ мм}$; техническое нивелирование $f_{x \text{ доп}} = 50\sqrt{1} = 50 \text{ мм.}$

Следовательно, нивелирный ход в примере отвечает требованиям технического нивелирования, так как $20 < |27| < 50$. Допустимую невязку (-27 мм) распределяем на 10 средних превышений ($3 \times 8 + 2 + 1 = 27$), причем общее правило сохраняется — поправки вносятся в

Таблица 104

№ станции	ПК	Средние превышения		Увязанные превышения		Горизонт прибора, м	Высоты точек
		+	-	+	-		
1	2	8	9	10	11	12	13
Ст. 1	Рп 1 ПК 0		+ 3 0890		0887		75,355 74,468
Ст. 2	ПК 0 ПК 1	+ 3 1341		1344		76 833	75,812
Ст. 3	ПК 1 ПК 2		+ 3 1115		1112		75,990 75,048 73,986 74,700
Ст. 4	ПК 2 ПК 3	+ 3 1411		1414			76,114
Ст. 5	ПК 3 ПК 4	+ 3 0397		0400			76,514
Ст. 6	ПК 4 ПК 5		+ 3 2173		2170		74,344
Ст. 7	ПК 5 ПК 6		+ 3 2157		2154		72,190
Ст. 8	ПК 6 ПК 7	+ 3 0489		0492			72,682
Ст. 9	ПК 7 ПК 8	+ 2 0920		0922			73,604
Ст. 10	ПК 8 Рп 2	+ 1 1465		1466			75,070
		6023	6335	6038	6323		$\Delta H_k = -0285$

$$\Sigma h_d = -0312 \quad \Sigma h = -0285 = \Delta H_k$$

$$f_x = \Sigma h_d - \Delta H_k = -312 - (-285) = -27 < f_{x\text{ доп}} = 50\sqrt{1} = 50 \text{ мм.}$$

журнал с обратным знаком. Далее вычисляем и записываем увязанные превышения.

Для контроля суммируем "плюсовые" (графа 10) и "минусовые" (графа 11) увязанные превышения — разность между ними должна быть равна ΔH_k :

$$\Delta H_{\kappa} = 6038 - 6323 = -0285.$$

После контроля увязки превышений вычисляем высоты точек по общей формуле (графа 13):

$$\text{ПК } 0 \ H_0 = \text{Рн } 1 + h_1 = 75,355 + (-0,887) = 74,468;$$

$$\text{ПК } 1 \ H_1 = H_0 + h_2 = 74,468 + 1,344 = 75,812;$$

$$\text{ПК } 2 \ H_2 = H_1 + h_3 = 75,812 + (-1112) = 74,700 \text{ и т.д.}$$

Контроль расчета высот связующих точек – определение отметки Рн 2 (в примере – 75,070 м).

189. По данным табл. 102 и 105:

- определить для технического нивелирования допустимость невязки;
- распределить невязку и вычислить увязанные превышения;
- вычислить высоты связующих точек;
- выполнить контроль своих вычислений.

Таблица 105

Вариант	Высота репера, м		Вариант	Высота репера, м	
	Рн 1	Рн 2		Рн 1	Рн 2
1	17,485	18,367	6	63,126	64,180
2	23,752	24,414	7	81,234	82,544
3	36,584	37,032	8	33,417	34,920
4	48,615	49,620	9	42,264	43,200
5	59,077	59,660	10	55,368	56,600

§ 43. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ТОЧЕК ПО ТРАССЕ

Высоты промежуточных точек вычисляются через горизонт прибора. Следовательно, для тех станций, на которых нивелировались промежуточные точки, необходимо определить высоту горизонта прибора, которая определяется после увязки и вычисления связующих точек.

190. Предположим, на Ст. 3 сняты промежуточные точки: ПК 1 + 25; ПК 1 + 58; ПК 1 + 76, отсчеты по рейке на которые соответствен-но: $c_1 = 0843$, $c_2 = 1785$, $c_3 = 2847$. Определить высоты промежуточных точек. Дополнительные исходные данные принимаем из табл. 101 и 104.

Для Ст. 3 задний отсчет на ПК 1 – $a = 1021$. Высота ПК 1 $H_1 = 75,812$ м.

Определяем высоту горизонта прибора: для Ст. 3 ГП = $H_1 + a_1 = 75,812 + 1,021 = 76,833$ м (записываем в гр. 12 табл. 104). Высоты промежуточных точек определяются по формуле $H_c = \text{ГП} - c$:

$$\text{ПК } 1 + 25 - H_c = 76,833 - 0,843 = 75,990 \text{ м};$$

$$\text{ПК } 1 + 58 - H_c = 76,833 - 1,785 = 75,048 \text{ м};$$

$$\text{ПК } 1 + 76 - H_c = 76,833 - 2,847 = 73,986 \text{ м.}$$

Высоты промежуточных точек записываем в графу 13 журнала нивелирования.

Если промежуточная точка имеет пикетаж ПК 6 + 50, то это значит, что она снималась на станции 8, и тогда из табл. 101, графы 3 находим $a_8 = 1572$, из табл. 104, графы 13 $H = 72,190$. После этого вычисляем высоту промежуточной точки ($c = 2835$).

$$\text{ГП} = 72,190 + 1,572 = 73,762 \text{ м};$$

$$\text{ПК } 6 + 50 - H_c = 73,762 - 2,835 = 70,927 \text{ м.}$$

191. По данным табл. 106, в которой задаются пикетажное значение промежуточных точек и отсчеты по рейкам на них (c), определить необходимые дополнительные исходные данные из задач 186, 188 своего варианта. (Если эти задачи не решались, то дополнительные данные следует выбрать из табл. 101 и 104). Вычислить высоты промежуточных точек.

Таблица 106

Вариант	Промежуточные точки		Вариант	Промежуточные точки	
	Пикетажное значение	Отсчеты по рейкам		Пикетажное значение	Отсчеты по рейкам
1	ПК 3 + 40	1017	6	ПК 1 + 30	1008
	ПК 3 + 60	2775		ПК 1 + 80	2847
	ПК 5 + 15	0835		ПК 7 + 15	0634
	ПК 5 + 70	2518		ПК 7 + 55	1986
2	ПК 4 + 20	0975	7	ПК 2 + 22	1176
	ПК 4 + 80	2433		ПК 2 + 84	2783
	ПК 6 + 25	0618		ПК 5 + 25	0745
	ПК 6 + 85	2733		ПК 5 + 75	2075
3	ПК 1 + 30	1225	8	ПК 4 + 30	1036
	ПК 1 + 60	2578		ПК 4 + 70	2818
	ПК 6 + 10	1015		ПК 6 + 25	0657
	ПК 6 + 75	2837		ПК 6 + 80	2533
4	ПК 2 + 10	0438	9	ПК 3 + 15	1112
	ПК 2 + 70	2563		ПК 3 + 60	2881
	ПК 7 + 35	1514		ПК 6 + 28	0509
	ПК 7 + 80	2738		ПК 6 + 63	2668
5	ПК 3 + 18	0555	10	ПК 2 + 50	1345
	ПК 3 + 76	2813		ПК 2 + 75	2767
	ПК 6 + 18	1225		ПК 7 + 20	0463
	ПК 6 + 63	2536		ПК 7 + 60	1813

§ 44. ПОСТРОЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ ПО ТРАССЕ

Построение продольного профиля производится на основании журнала нивелирования (высоты точек) и пикетажного журнала.

Все необходимые полевые данные записываются в специальные графы типовой сетки продольного профиля, образец которого приводится на рис. 31. Цифры справа от сетки – размеры граф в мм.

Продольный профиль вычерчивается в двух масштабах: горизонтальном 1 : 1000; вертикальном 1 : 100.

В учебных целях, для большей наглядности, горизонтальный масштаб можно применять более крупный: 1 : 1000, 1 : 2000. Графы сетки продольного профиля для облегчения объяснений пронумерованы в порядке их заполнения (слева от сетки). Графы 1 и 2 – в горизонтальном масштабе продольного профиля откладываются расстояния в километрах, пикеты, плюсовые точки. Цифры километров, пикетов, расстояний подписываются красным цветом. Графа 3 – по середине, красным цветом, рисуются участки прямых и кривых трассы железной дороги, причем кривые наносятся со сдвигкой на 5 мм вверх или вниз. Дуга кривой – вверх, если кривая имеет угол поворота "вправо", и вниз, если угол поворота – "влево". Начало кривой и ее конец (начало и конец дуги в графике 3) рассчитываются в поле при разбивке главных точек по методике, изложенной выше (см. § 39).

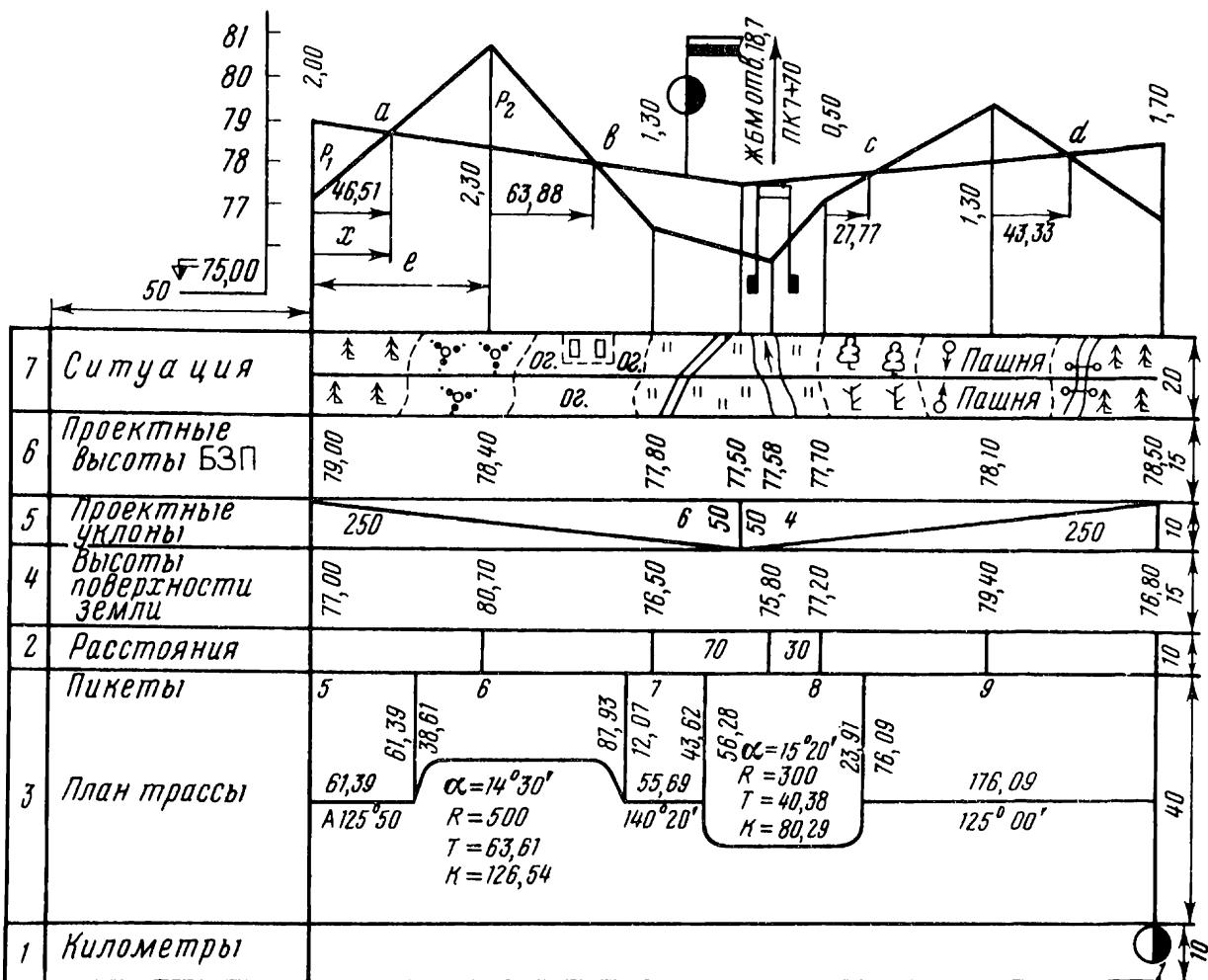


Рис. 31. Подробный продольный профиль

Следовательно, пикетажное значение точек НК и КК, значения всех элементов кривых берутся из пикетажного журнала.

В графе 3 должны быть показаны следующие данные:

для прямых — длина прямой с точностью до сантиметра, ориентирование прямой; дирекционный угол (азимут) или румб; для кривых — привязка НК и КК в пикетаже, в дуге кривой, размеры всех элементов кривой.

192. На рис. 32 представлен пикетажный журнал участка трассы ПК 6 – ПК 10.

Определить по таблицам все элементы круговой кривой, определить расчетом пикетаж главных точек кривой, вычертить и заполнить графы 1, 2, 3 сетки продольного профиля.

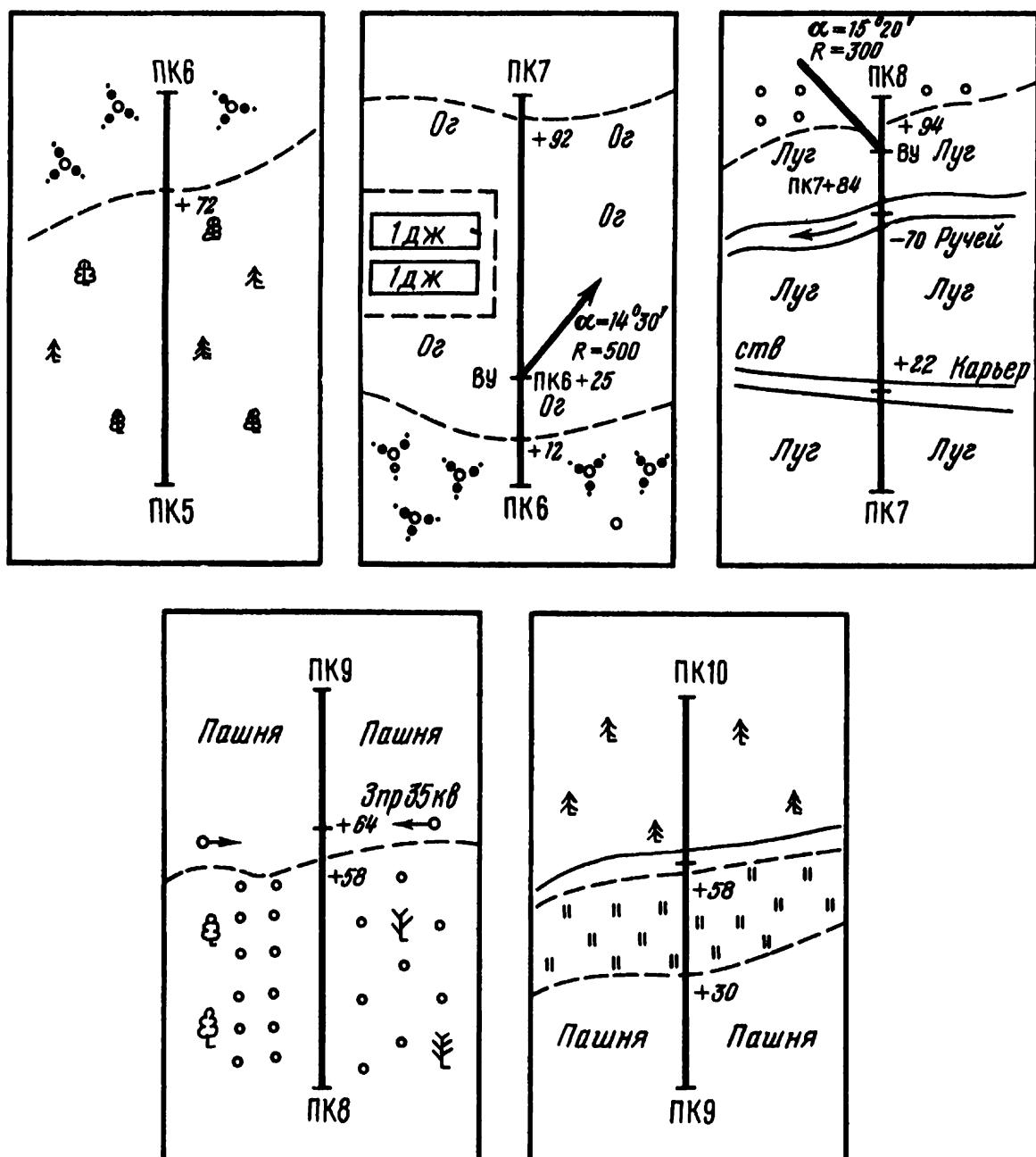


Рис. 32. Пикетажный журнал трассы железной дороги

По таблицам определяем:

при $R = 500$ м и $\alpha = 14^\circ 30'$ – Т = 63,61; К = 126,54; Д = 0,68;

при $R = 300$ м и $\alpha = 15^\circ 20'$ – Т = 40,38; К = 80,29; Д = 0,48.

Определяем пикетаж главных точек кривых.

Кривая 1 (право)

– ВУ ПК 6 + 25,00	Контроль
– Т 63,61	<u>+</u> ВУ ПК 6 + 25,00
	Т 63,61

НКК ПК 5 + 61,39

К 1 + 26,54

ККК ПК 6 + 87,93

Кривая 2 (лево)

– ВУ ПК 7 + 84,00	Контроль
– Т 40,38	<u>+</u> ВУ ПК 7 + 84,00
	Т 40,38

НКК ПК 7 + 43,62

+ К 80,29	–
	Д 0,48

ККК ПК 8 + 23,91

ПК 6 + 88,61

Д 0,68

ККК ПК 6 + 87,93

Контроль

– ВУ ПК 7 + 84,00	Контроль
– Т 40,38	<u>+</u> ВУ ПК 7 + 84,00
	Т 40,38

ПК 8 + 24,38

Д 0,48

ККК ПК 8 + 23,90.

Далее вычерчиваем сетку продольного профиля и заполняем графы 1, 2, 3. В графике 1 проставляем километры условным знаком (см. рис. 31). В графике 2 отмечаем и подписываем пикеты, все плюсовые точки и середины кривых, проставляем расстояния между плюсовыми точками, причем сумма расстояний между плюсовыми точками в каждом пикете должна быть равна 100 м.

В графике 3 по пикетажному значению НКК и ККК вертикальными линиями намечаем начала и концы кривых. На всех остальных участках трассы будет прямая, и поэтому посередине графы проводим прямые до точек НКК и ККК. Кривая 1 имеет угол поворота "право", поэтому дуга вверх, кривая 2 – "лево" – дуга вниз. Внутри дуги выписываем значения основных элементов кривой: α , R , Т, К.

На вертикальных линиях выписываем из расчетов пикетажа главных точек кривой расстояние от пикета до НКК и ККК. Для нашего примера имеем: кривая 1 – НКК ПК 5 + 61,39. На вертикальной линии привязки кривой слева выписываем 61,39 и т.д. Справа выписываем расстояние до следующего пикета (в примере до ПК 6 + 38,61). Контроль: 61,39 + 38,61 = 100 м.

Имея привязки кривых, легко определить длины прямых вставок. В нашем примере для второй прямой имеем $12,07 + 43,62 = 55,69$.

Азимут первой прямой замеряется в поле с помощью буссоли, на карте и плане – транспортиром. Азимуты следующих прямых вычис-

ляются по формуле $A_2 = A_1 \pm \alpha$, где α – угол поворота кривой, причем если угол поворота "право" – знак плюс (+), "лево" – минус (-). В нашем примере $A_1 = 125^\circ 50'$; $A_2 = A_1 + \alpha = 125^\circ 50' + 14^\circ 30' = 140^\circ 20'$; $A_3 = A_2 - \alpha = 140^\circ 20' - 15^\circ 20' = 125^\circ 00'$.

Далее, если требуется, азимуты переводят в румбы.

193. По данным табл. 107:

определить по таблицам элементы кривых;

вычислить пикетажное значение главных точек круговых кривых;

вычертить и заполнить графы 1, 2, 3 сетки продольного профиля.

Таблица 107

Вариант	Участок трассы	Азимут первой прямой	Кривая 1			Кривая 2		
			ПК ВУ	лево	R, м	ПК ВУ	право	R, м
1	ПК 7 – 12	45°16'	8 + 75	8°12'	800	10 + 38	10°50'	500
2	ПК 17 – 22	73 45	18 + 75	9 42	700	20 + 62	11 00	600
3	ПК 27 – 32	110 33	28 + 45	10 36	600	30 + 54	17 30	400
4	ПК 37 – 42	150 26	38 + 61	11 40	500	40 + 17	8 08	800
5	ПК 47 – 52	195 50	48 + 37	17 20	400	50 + 73	9 39	700
6	ПК 57 – 62	220 23	58 + 52	16 50	400	60 + 25	7 51	800
7	ПК 67 – 72	250 37	68 + 31	12 50	500	70 + 28	11 03	600
8	ПК 77 – 82	280 09	78 + 42	11 18	600	80 + 24	9 51	700
9	ПК 87 – 92	300 35	88 + 28	10 12	700	90 + 57	12 30	500
10	ПК 19 – 24	350 42	20 + 33	7 57	800	22 + 44	17 10	400

В графу 4 (см. рис. 31) из журнала нивелирования выписываем высоты пикетов и всех плюсовых высотных точек поверхности земли. По высотам точек строим продольный профиль поверхности земли по трассе.

194. В табл. 108 приведены высоты пикетов и промежуточной точки + 70 (ручей). Номера пикетов берем из предыдущего примера, т.е. ПК 5, ПК 6 и т.д. Требуется построить продольный профиль земли по трассе в масштабах: горизонтальный 1 : 2000, вертикальный 1 : 100.

В графике профиля выписываем вертикально черным цветом высоты пикетов и дополнительной высотной точки ПК 7 + 70 (ручей), положение которых уже проставлено в графике 2.

Таблица 108

Пикеты	Высоты точек	Пикеты	Высоты точек	Пикеты	Высоты точек	Пикеты	Высоты точек
ПК	77,00	ПК	76,50	ПК	77,20	ПК	76,80
ПК	80,70	+ 70 / (ручен)	75,80	ПК	79,40		

Выше сетки продольного профиля (\approx на 5 см) вычерчиваем шкалу высот. Минимальная отметка по нашей трассе — 75,80 (ручей). Поэтому нижнюю отметку шкалы принимаем 75 м и далее по 1 см вверх до максимальной — 81 м.

Проводим ординаты на пикетах и плюсовой высотной точке, причем высота ординат определяется по шкале высот в зависимости от высоты точки.

После того как все точки по их высотам нанесены на чертеж, их соединяют — продольный профиль земли по трассе построен (см. рис. 31).

195. По данным табл. 109 заполнить графу 4 сетки продольного профиля к задаче 192. Построить и вычертить продольный профиль земли по трассе.

Таблица 109

ПК +	Высоты точек, м				
	Вариант				
	1	2	3	4	5
ПК	19,50	24,80	38,70	50,20	60,30
ПК	21,20	27,90	40,80	52,70	63,80
ПК	18,90	24,70	38,20	49,30	60,50
+ 70 (ручей)	17,80	23,50	37,10	48,20	59,70
ПК	19,20	24,70	38,30	49,70	61,30
ПК	20,80	26,60	41,40	52,10	63,60
ПК	19,40	25,20	38,50	49,50	60,90

Продолжение табл. 109

ПК +	Высоты точек, м				
	Вариант				
	6	7	8	9	10
ПК	64,90	82,60	35,10	43,90	57,50
ПК	68,20	85,70	38,50	47,10	59,80
ПК	64,50	82,80	34,70	43,20	56,60
+ 70 (ручей)	63,30	81,70	33,40	42,40	55,30
ПК	65,10	83,20	34,80	43,80	57,10
ПК	66,70	86,30	37,30	46,20	59,40
ПК	64,80	84,40	35,10	43,60	56,20

Графы 5 и 6 сетки продольного профиля — проектные данные положения бровки земляного полотна железной дороги.

Проектный продольный профиль состоит из элементов профиля, которые носят названия спуск 1 (рис. 33, а), площадка 2 и подъем 3.

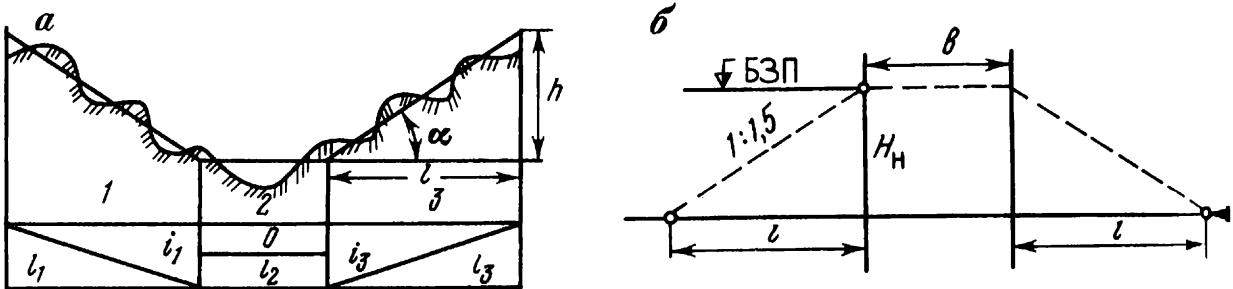


Рис. 33. Уклоны:

a – продольный профиль; *б* – поперечный профиль

Для каждого элемента продольного профиля необходимо назначить уклон и длину элемента профиля. Математически уклон равен тангенсу угла наклона проектной линии к горизонтали, т.е. $\operatorname{tg} \alpha = h/l$ (см. рис. 33, *a*). Уклон может быть задан двумя способами.

I. Отношение высоты к заложению:

$1 : m$, где m – показатель уклона. Этот способ задания уклона применяется в тех случаях, когда угол наклона большой, к примеру, при проектировании поперечных профилей земляного полотна. Уклоны откосов земляного полотна устанавливаются нормами: $1 : 1,5$; $1 : 1,75$; $1 : 2$ и т.д.

Если уклон откоса земляного полотна $1 : 1,5$, то это практически означает, что по вертикали откладывается единица, а по горизонтали $1,5$.

196. Высота насыпи $H = 6$ м, $b = 6$ м. Определить заложение l откоса (рис. 33, *б*).

Заложение определяем по формуле $l = mH_n$ (м). Для нашего примера $l = 1,5 \cdot 6 = 9$ м.

197. По данным табл. 110 определить заложение откоса насыпи

Таблица 110

Вариант	Высота насыпи H , м	Уклон откоса насыпи	Вариант	Высота насыпи H , м	Уклон откоса насыпи
1	4,5	$1 : 1,5$	6	4,0	$1 : 2$
2	5,0	$1 : 1,75$	7	6,5	$1 : 1,5$
3	3,0	$1 : 2$	8	7,0	$1 : 1,75$
4	5,5	$1 : 1,5$	9	5,0	$1 : 2$
5	6,0	$1 : 1,75$	10	7,0	$1 : 1,5$

Вычертить в масштабе $1 : 100$ поперечный профиль насыпи при $b = 6$ м.

II. Для продольного профиля уклон задается в "тысячных", т.е. принимается постоянной длина заложения 1000 м, что удобно для измерения больших расстояний.

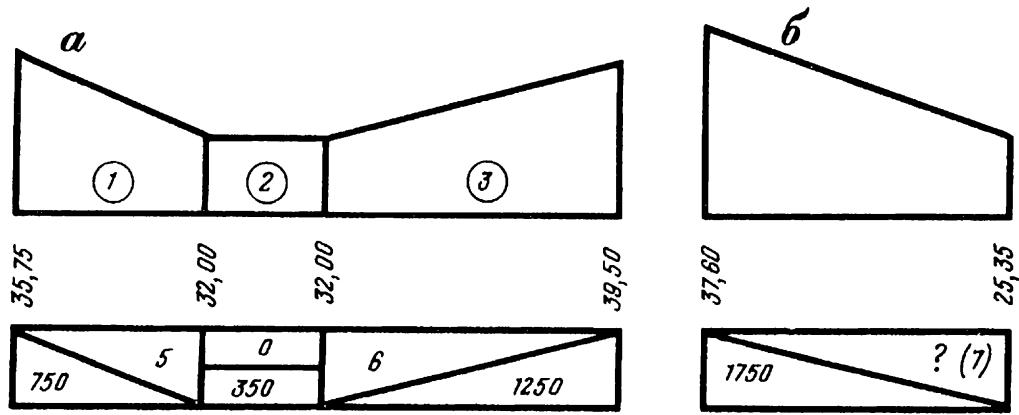


Рис. 34. Элементы продольного профиля железной дороги

В этом случае уклон выражается формулой $\operatorname{tg} \alpha = i/1000$ и условно обозначается $i\%$, где i – превышение в метрах на 1000 м. Превышение на любую длину в этом случае определяется по формуле $h = il$ (м), где i – число тысячных уклона; l – длина элемента в км.

Превышение всегда имеет знак: если элемент профиля "подъем", то превышение $(+h)$, если "спуск", то превышение $(-h)$. Так как проектные высоты, как правило, вычисляются слева направо, то должна быть известна проектная высота левого конца элемента ($H_{л}$), тогда проектная высота правого конца элемента ($H_{п}$) определяется по формуле $H_{п} = H_{л} + h$, где h – превышение со знаком "плюс", если "подъем"; со знаком "минус", если "спуск".

198. Определить проектные высоты элементов, длины которых и проектные уклоны заданы на рис. 34, а. Проектная высота левого конца элемента 1 задается: $H_{л} = 35,75$ м. Определяем превышение для первого элемента "спуска": $i = -5\%$; $l = 0,75$ км; $h = -5 \cdot 0,75 = -3,75$ м.

Проектная высота правого конца элемента 1

$$H_{п} = H_{л} - h = 35,75 - 3,75 = 32,00 \text{ м.}$$

Проектную отметку записываем в графу 6 сетки продольного профиля. Так как следующий элемент 2 – площадка (уклон равен нулю), то по всей длине элемента проектные отметки одинаковы – 32,00 м.

Определяем превышение для следующего элемента 3 (подъема)

$$i = +6\%; l = 1,25 \text{ км}; h = +6 \cdot 1,25 = +7,50 \text{ м.}$$

Проектная высота правого конца элемента 3: $H_{п} = H_{л} + h = 32,00 + 7,50 = 39,50$ м. Проектную высоту вписываем в графу 6 сетки продольного профиля.

Очень часто приходится решать обратную задачу: известны проектные высоты и длина элемента. Требуется определить проектный уклон (рис. 34, б). Определяем превышение

$$|h| = 37,60 - 25,35 = 12,25 \text{ м.}$$

Переписываем общую формулу относительно уклона:

$$i = |h|/l = \frac{12,25}{1,75} = 7\%.$$

Проектные уклоны назначаются и вычисляются с точностью один знак после запятой.

199. $H_{п} = 45,36$ м. Проектная отметка правая в первом приближении (определенена по чертежу) принята $H_{п} = 58,70$ м. Длина элемента $l = 1350$ м. Требуется запроектировать элемент профиля.

Определяем превышение $|h| = 59,70 - 45,36 = 14,34$ м.

Тогда

$$i = \frac{14,34}{1,35} = 10,6222\%.$$

Назначаем проектный уклон: $i = 10,6\%$. Отсюда проектное превышение $h = 10,6 \cdot 1,35 = 14,31$ м. И тогда правая проектная отметка (левая сохраняется): $H_{п} = H_{л} + h = 45,36 + 14,31 = 59,67$ м.

200. По данным табл. 111 и рис. 34, а определить проектные отметки элементов профиля. Заполнить для заданного участка графы 5 и 6 сетки профиля. Запроектировать элементы профиля. Для всех вариантов задачи принять: $H_{п} = 45,45$ м.

Таблица 111

Вариант	Элемент 1			Элемент 2		Элемент 3		Длина элемента l , м	Принятая высота $H_{п}$, м
	$H_{п,н}$	$i, \%$	$l_1, \text{м}$	$i = 0$	$i, \%$	l_3			
				$l_2, \text{м}$					
1	17,68	3	1150	300	7	650	850	54,90	
2	21,36	4	750	400	5	1250	1100	55,50	
3	33,51	5	1350	500	8	750	1200	54,70	
4	42,16	6	850	600	4	1350	1300	54,60	
5	56,74	7	1350	700	6	650	1500	54,50	
6	47,83	8	1150	600	3	750	1400	37,00	
7	36,47	7	1250	500	5	850	1250	36,60	
8	25,08	6	1150	400	3	750	1150	36,20	
9	19,96	4	1250	300	6	750	950	37,00	
10	53,13	3	650	700	8	1250	750	37,30	

Проектная линия бровки земляного полотна может быть нанесена на продольный профиль по методике, которую рассмотрим ниже на конкретном примере. В этом случае задаются дополнительные исходные данные, которые однозначно определяют положение проектной линии на продольном профиле.

201. Проектный профиль состоит из двух элементов. Длина элементов профиля $l_1 = l_2 = 250$ м. Проектные уклоны $i_1 = -6\%$, $i_2 =$

- + 4 %. Проектная высота начала первого элемента проектного продольного профиля $H_{\text{п}} = 79,00$ м. Заполнить проектными данными графу 5 сетки продольного профиля. Рассчитать проектные отметки пикетов и плюсовой точки. Нанести проектную линию на продольный профиль. Определить рабочие отметки. Определить пикетажное значение "нулевых мест" (точки перехода выемки в насыпь и обратно). Заполнить графу 7 сетки продольного профиля.

Дополнительные исходные данные (l, i) заносятся в графу 5 сетки профиля (см. рис. 31). Далее выписывается проектная отметка ПК 5 –

$H_{\text{п}} = 79,00$ м, после чего можно вычислить проектные отметки по всему профилю.

Определяем проектные высоты элементов продольного профиля.
Элемент 1. Превышение $h_1 = i_1 l = -6 \cdot 0,25 = -1,50$ м. Высота правого конца элемента $H_{\text{п}} = H_{\text{п}} - h_1 = 79,00 - 1,50 = 77,50$ м.
Элемент 2. Превышение $h_2 = +4 \cdot 0,25 = +1,00$ м. $H_{\text{п}} = 77,50 + 1,00 = +78,50$ м.

Определяем проектные высоты пикетов и плюсовых высотных точек.

Элемент 1. Превышение на 100 м $h = -6 \cdot 0,1 = -0,60$ м; высоты пикетов:

$$\text{ПК 6 } H_6 = H_5 - h = 79,00 - 0,60 = 78,40;$$

$$\text{ПК 7 } H_7 = H_6 - h = 78,40 - 0,60 = 77,80.$$

Для контроля определим высоту перелома профиля: от ПК 7 до перелома профиля – 50 м. Отсюда превышение $h = -6 \cdot 0,05 = -0,30$ м. Проектная высота: $H_{\text{п}} = H_7 - h = 77,80 - 0,30 = 77,50$ м.

Элемент 2. Превышение на 100 м $h = +4 \cdot 0,1 = +0,4$ м. Но сначала необходимо определить высоту ПК 8, от перелома профиля до которого 50 м. Следовательно, $-h = +4 \cdot 0,05 = +0,20$ м и проектная высота ПК 8 $H_8 = H_{\text{п}} + 0,20 = 77,50 + 0,20 = 77,70$. Далее $H_{\text{п}} = H_8 + h = 77,70 + 0,40 = 78,10$ м; $H_{10} = H_9 + h = 78,10 + 0,40 = 78,50$ м.

Определяем проектную высоту плюсовой высотной точки (ручей ПК 7 + 70), от перелома профиля (ПК 7 + 50) до плюсовой высотной точки – 20 м, а до ПК 8 – 30 м. Превышение на 20 м $h = +4 \cdot 0,02 = +0,08$ м. Проектная высота: $H_{\text{п}} = H_{\text{п}} + h = 77,50 + 0,08 = 77,58$ м.

Контроль: превышение на 30 м $h = +4 \cdot 0,03 = 0,12$ м, и тогда $H_8 = 77,58 + 0,12 = 77,70$ м.

Проектные высоты элементов профиля (79,00, 77,50, 78,50) по шкале высот наносим на чертеж и, соединив точки по линейке, получаем проектную линию бровки земляного полотна.

Рабочие высоты, т.е. высота насыпи или глубина выемки, определяются по формуле $|p| = |H_{\text{п}}| - |H_3|$, где $H_{\text{п}}$ – проектная высота точки, H_3 – высота земли в этой же точке, т.е. графы 6 – 4 (см. рис. 31).

Если $H_{\text{п}} > H_3$ – в этой точке будет насыпь; если $H_{\text{п}} < H_3$, то будет выемка.

Рабочая высота насыпи выписывается выше проектной линии; рабочая высота (глубина) выемки — ниже проектной линии.

Рабочие высоты для нашего примера:

$$\text{ПК } 5 \ p_5 = 79,00 - 77,00 = 2,00 \text{ м (насыпь);}$$

$$\text{ПК } 6 \ p_6 = 78,40 - 80,70 = 2,30 \text{ м (выемка) и т.д. (см. рис. 31).}$$

Пикетажное значение "нулевых мест" определяется из пропорции (см. рис. 31) $p_1/p_2 = x/l - x$. После преобразования получим

$$x = \frac{p_1}{p_1 + p_2} l \text{ (м).}$$

Определим пикетажное значение нулевых точек для нашего примера (a, b, c, d — см. рис. 31).

$$\text{Точка } a \ p_1 = 2,00 \text{ м; } p_2 = 2,30 \text{ м; } l = 100 \text{ м.}$$

$$x_a = \frac{2,00}{2,00 + 2,30} 100 = 46,51 \text{ м. Пикетаж точки } a \text{ ПК } 5 + 46,51.$$

$$\text{Точка } b \ p_1 = 2,30 \text{ м; } p_2 = 1,30 \text{ м; } l = 100 \text{ м;}$$

$$x_b = \frac{2,30}{2,3 + 1,3} 100 = 63,88 \text{ м. Пикетаж точки } b \text{ ПК } 6 + 63,88.$$

$$\text{Точка } c \ p_1 = 0,50 \text{ м; } p_2 = 1,30 \text{ м; } l = 100 \text{ м;}$$

$$x_c = \frac{0,50}{0,50 + 1,30} 100 = 27,77 \text{ м. Пикетаж точки } c \text{ ПК } 8 + 27,77.$$

$$\text{Точка } d \ p_1 = 1,30 \text{ м; } p_2 = 1,70 \text{ м; } l = 100 \text{ м;}$$

$$x_d = \frac{1,30}{1,30 + 1,70} 100 = 43,33 \text{ м. Пикетаж точки } d \text{ ПК } 9 + 43,33$$

В графе 7 сетки продольного профиля вычерчивается ситуация на основании пикетажной книжки.

Таким образом, в процессе решения задачи были заполнены все графы сетки профиля и вычерчен продольный профиль по трассе железной дороги.

202. Исходные данные: продольный профиль поверхности земли по трассе (задача 196). Проектный профиль имеет два элемента: $l_1 = l_2 = 250$ м. Проектные уклоны и высота ($i_1, i_2, H_{\text{п}}$) заданы в табл. 112. Определить расчетом проектные высоты пикетов и плюсовой высотной точки. Нанести проектную линию бровки земляного полотна на продоль-

ный профиль. Определить рабочие высоты и пикетажное значение "нулевых мест".

Таблица 112

Вариант	Проектная высота H_A , м	i_1	i_2	Вариант	Проектная высота H_A , м	i_1	i_2
1	20,80	-5	+4	6	66,40	-4	+2
2	26,50	-6	+3	7	84,10	-2	+7
3	39,80	-3	+5	8	36,70	-5	+3
4	51,60	-6	+4	9	46,20	-7	+2
5	62,30	-3	+4	10	58,80	-6	+2

§ 45. НИВЕЛИРОВАНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Поперечный профиль поверхности земли нивелируется и вычерчивается для того, чтобы в дальнейшем запроектировать поперечный профиль земляного полотна железной дороги.

Нивелирование поперечников имеет следующие особенности:

высоты точек поперечника должны быть привязаны к ближайшей связующей точке по трассе. Для этого задний отсчет при нивелировании поперечника берется на ближайший пикет;

точки поперечника нивелируются как промежуточные точки и, следовательно, отсчеты на них, как правило, берутся только по черной стороне рейки.

203. Поперечник разбит на пикете ПК 8. Плюсовые точки, отсчеты на них с и задний отсчет на связующую точку ПК 8 приведены в табл. 113. Определить высоты точек поперечника и вычертить поперечный профиль.

Таблица 113

№ стан- ции	ПК+	Отсчеты по рейкам, м			Высота горизонта прибора, м	Высоты точек, м
		задние	передние	промежуточные		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>		
Ст. 12	ПК 8	1765			78,565	77,200
		6150				
	Право + 5			1025	-	77,540
				0417	--	78,148
	Лево + 5			1530	--	77,035
				2785	--	75,780

Вычисление высот точек поперечника выполняем в журнале нивелирования (табл. 113), в котором показаны только графы, необходимые для решения данной задачи (нумерация граф по образцу табл. 100).

Графы 1, 2, 3, 5 заполняются на основании полевых данных (исходные данные).

Графа 13 – высота пикета (ПК 8) берется из журнала нивелирования, в котором увязывались и вычислялись отметки связующих точек по трассе (или с продольного профиля).

В графе 12 определяем высоту горизонта прибора для Ст. 12: ГП = $77,200 + 1,365 = 78,565$ м. Далее определяем высоту точек поперечника (записываем в графу 13):

$$\text{право: } + 5 \quad 78,565 - 1,025 = 77,540 \text{ м;}$$

$$+ 8 \quad 78,565 - 0,417 = 78,148 \text{ м и т.д.}$$

Поперечный профиль земли и земляного полотна железной дороги вычерчивается в одном (вертикальном и горизонтальном) масштабе 1 : 100 или 1 : 200.

В графы сетки поперечного профиля записываются полевые и расчетные данные (расстояния и высоты точек). По высотам точек земли вычерчивается поперечный профиль (рис. 35). Далее на продольном профиле определяется проектная высота бровки земляного полотна и записывается в соответствующей графе поперечного профиля. Так как ширина основной площадки по заданию 6 м, то от оси поперечника влево и вправо откладывается в масштабе 3 м и по шкале высот определяется местоположение бровки земляного полотна. Выше этого уровня вычерчивается сливная призма, типовые размеры которой приведены на рис. 35.

Уклон откоса насыпи 1 : 1,5. Следовательно, требуется провести линию из точки 1 (БЗП) с уклоном 1 : 1,5 до пересечения ее с поверх-

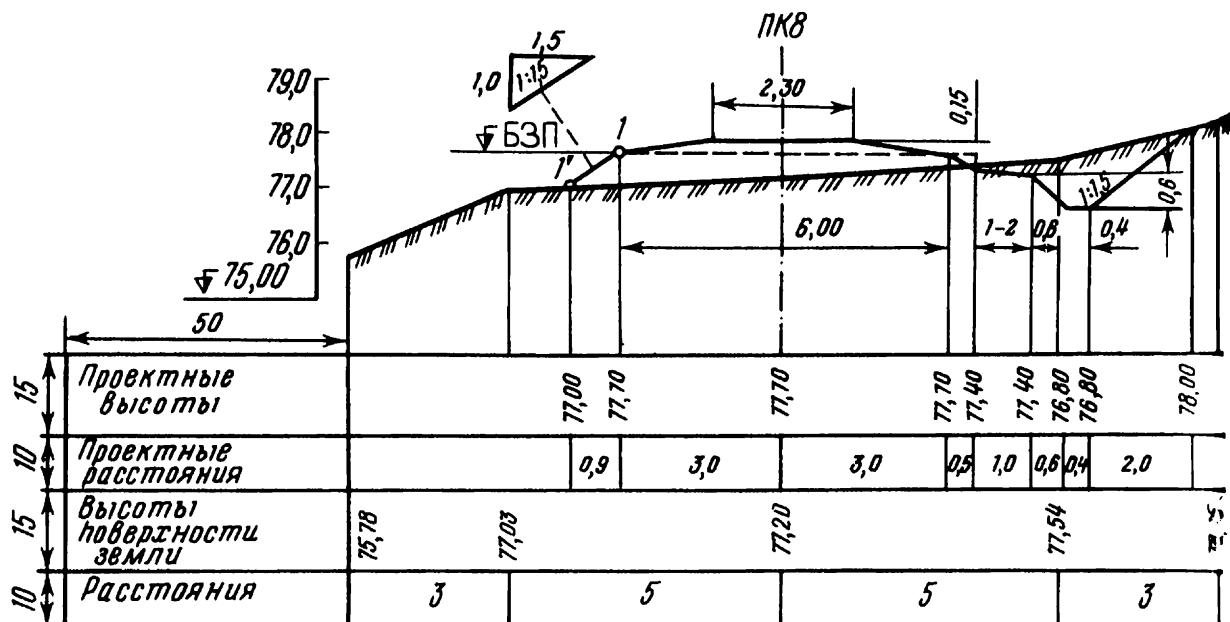


Рис. 35. Поперечный профиль насыпи железной дороги

постью земли (точка I'). Эта задача решается графическим методом. Для этого рядом на чертеже строится прямоугольный треугольник (см. рис. 35) — вертикальный катет — 1 см, горизонтальный — 1,5 см. Гипотенуза этого треугольника определяет направление с уклоном 1 : 1,5. Остается “перенести” эту гипотенузу (ее направление) с помощью треугольника и линейки в точку I и провести линию откоса до пересечения ее с поверхностью земли. Правый откос насыпи строится аналогичным способом.

С нагорной стороны насыпи для отвода воды предусматривается кювет, типовые размеры которого показаны на рис. 35. Проектные высоты и расстояния определяются графически, по чертежу.

204. Поперечный профиль снят на никете, номер которого задается в табл. 114. Задний отсчет a по рейке на заданный никет и отсчеты на промежуточных точках (плюсовых точках поперечника) даны в табл. 115. Определить на продольном профиле трассы своего варианта высоту поверхности земли и проектную высоту бровки земляного полотна на заданном никете поперечника. Заполнить журнал нивелирования полевыми данными и вычислить высоты точек поперечника. Вычертить поперечный профиль земли и насыпи в масштабе 1 : 100.

Таблица 114

Вариант	Поперечник на никете	Вариант	Поперечник на никете	№ станицы	ПК+
1	ПК 9	6	ПК 59		
2	ПК 19	7	ПК 69		
3	ПК 29	8	ПК 79		
4	ПК 39	9	ПК 89	Право	+ 5
5	ПК 49	10	ПК 21		+ 10

Таблица 115

Ст.	11	ПК	Отсчеты по рейкам, м		
			задние	передние	промежуточные
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1			1265		
2				6050	
3					
4					1593
5					1937
					2847
					1015
					0975
					0325

Глава XIV. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО НИВЕЛИРОВАНИЮ ТРАССЫ

§ 46. ЗАДАНИЕ № 2. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОДОЛЬНОГО И ПОПЕРЕЧНОГО ПРОФИЛЕЙ

Исходные данные:

1. Полевой никетажный журнал трассы железной дороги ПК 0 — ПК 10 (рис. 36).

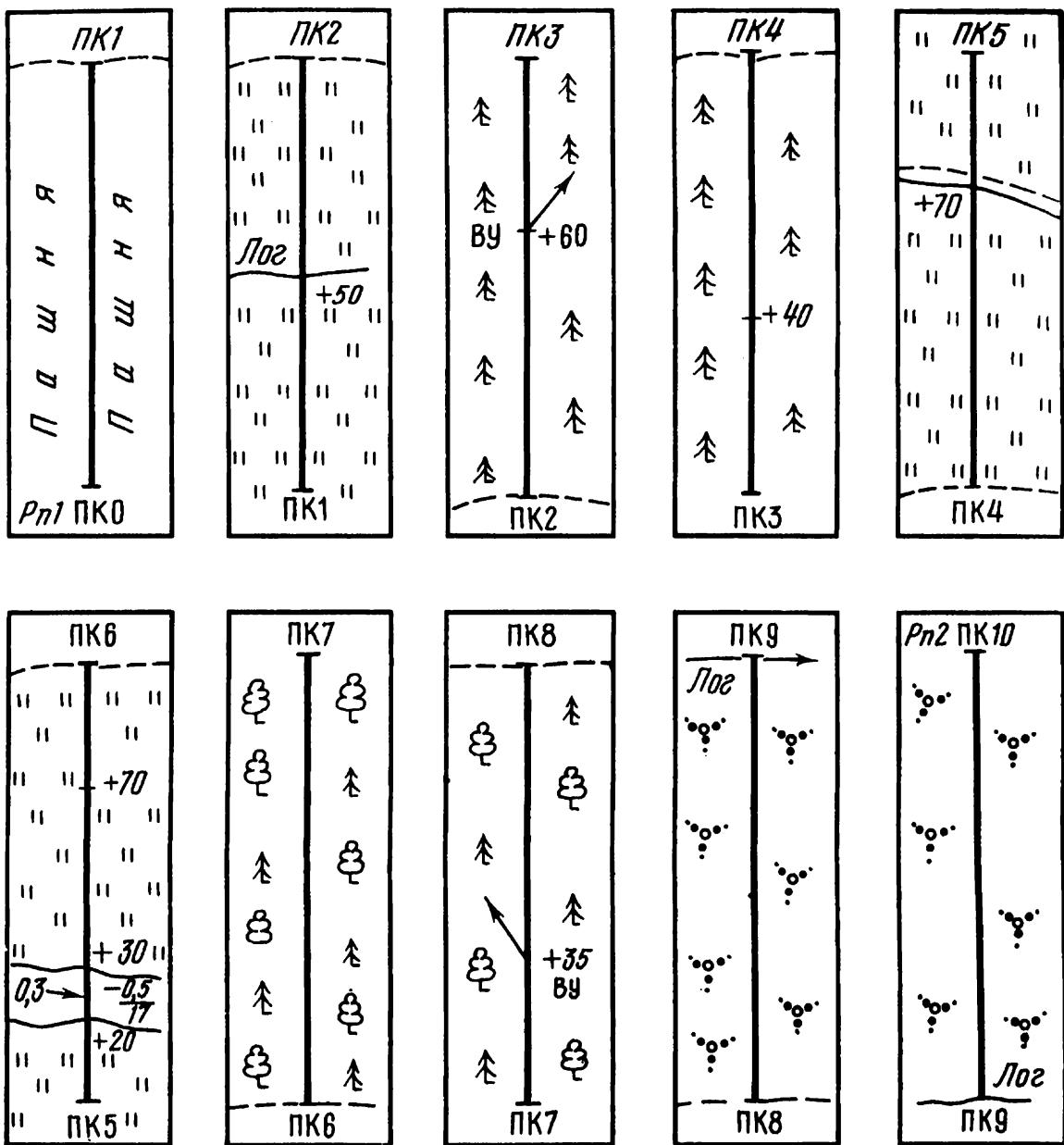


Рис. 36. Пикетажный журнал трассы железной дороги

2. Отсчеты по рейкам на связующих и промежуточных точках (табл. 116) трассы ПК 0 – ПК 10, с привязкой к реперам Рп 1, Рп 2 (высоты реперов даны в табл. 117).

3. Нивелирование поперечника на ПК 5, отсчеты по рейкам на ПК 5 (задний отсчет) и плюсовые точки поперечника (табл. 118).

4. Начальный азимут прямой ПК 0 – ПК 1, замеренный в поле, и проектные данные кривых 1 и 2 – α , R , l приведены в табл. 117.

Требуется:

1. Определить высоты связующих и промежуточных точек по трассе ПК 0 – ПК 10.

Определить высоты плюсовых точек поперечника на ПК 5.

3. Построить и вычеркнуть продольный профиль по трассе ПК 0 – ПК 10 в масштабах: горизонтальный 1 : 2000 и вертикальный 1 : 100.

Таблица 116

№ станицы	ПК+	Отсчеты по рейкам, м		
		задние	передние	промежуточные
Ст. 1	Рп 1	0471		
		5259		
Ст. 2	ПК 0	0683	2014	
		5470	6800	
Ст. 3	ПК 1	1115	2400	
		5905	7183	
Ст. 4	+ 50 ПК 2	2986	1950	2865
		7770	6737	
	+ 60	2804	0413	
		7590	5200	
Ст. 5	ПК 3	0317	0377	
		5100	5160	
Ст. 6	+ 40	0625	2865	
		5408	7652	
Ст. 7	ПК 4	0433	2900	
		5220	7687	
Ст. 8	+ 70 ПК 5	2858	2871	1527
		7645	7658	
Ст. 9	+ 20			2916
	+ 30			2920
	+ 70			2895
Ст. 10	ПК 6	2929	0481	
		7715	5265	
Ст. 11	ПК 7	1538	0384	
		6325	5170	
	+ 35 ПК 8	0684	2215	1017
		5470	7000	
Ст. 12	ПК 9	2831	2808	
		7615	7595	
Ст. 13	ПК 10	1567	0947	
		6350	5730	
Ст. 14	Рп 2		2492	
			7275	

Таблица 117

Вариант	Высоты реперов, м		Азимут ПК 0 – ПК 1	Кривая 1			Кривая 2		
	Рп 1	Рп 2		α	R , м	$l_{n'}$, м	α	R , м	$l_{n'}$, м
1	12,250	9,000	10°16'	5°22'	1500	40	22°17'	400	120
2	14,560	11,300	20 35	7 07	1200	60	16 29	500	120
3	16,770	13,480	30 44	7 26	1000	80	14 28	600	120
4	18,125	14,880	40 56	9 16	800	100	12 26	700	100
5	22,015	18,770	50 05	12 13	700	100	9 28	800	100
6	24,175	20,880	60 19	14 14	600	120	7 44	1000	80
7	26,364	23,070	70 23	16 17	500	120	7 13	1200	60
8	28,471	25,180	80 32	22 44	400	120	5 34	1500	40
9	31,536	28,290	100 48	16 34	500	120	8 34	1000	80
10	33,619	30,370	110 53	15 16	600	120	10 42	800	100
11	35,784	32,540	120 08	13 07	700	100	15 34	600	120
12	37,818	34,570	130 13	10 53	800	100	17 38	500	120
13	41,043	37,740	140 26	9 13	1000	80	23 25	400	120
14	43,125	39,880	150 35	7 25	1200	60	13 13	700	100
15	45,234	41,940	160 47	5 42	1500	40	8 25	1200	60
16	49,376	46,130	170 38	7 43	1200	60	10 34	1000	80
17	52,413	49,160	190 04	9 22	1000	80	11 17	800	100
18	54,536	51,290	200 12	11 32	800	100	16 17	600	120
19	56,647	53,400	210 24	13 22	700	100	17 44	500	120
20	58,753	55,450	220 37	16 25	600	120	23 48	400	120
21	61,861	58,560	230 44	18 13	500	120	6 52	1500	40
22	63,957	60,660	240 51	24 01	400	120	8 34	1200	60
23	65,013	61,770	250 02	18 31	500	120	16 44	600	120
24	67,127	63,880	260 17	17 04	600	120	7 54	1200	60
25	69,275	66,030	280 23	13 44	700	100	9 34	1000	80
26	72,384	69,140	290 36	11 44	800	100	6 25	1500	40
27	74,496	71,250	300 47	10 07	1000	80	6 34	1500	40
28	76,518	73,270	310 54	8 16	1200	60	12 34	800	100
29	78,624	75,380	320 06	6 07	1500	40	1 26	600	120
30	82,736	79,440	330 55	5 07	1800	40	1 26	600	120

4. Построить и вычертить поперечный профиль поверхности земли и кмияного полотна (насыпи) на ПК 5 в масштабе 1 : 100.

Таблица 118

№ станции	ПК +	Отсчеты по рейкам, м		
		задние	передние	промежуточные
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
П. 15	ПК 5	1538		
		<u>6325</u>		
	Право			
	+ 5			1947
	+ 10			2285
	+ 15			2508
	+ 20			2027
	Лево			
	+ 5			1275
	+ 10			0633
	+ 15			0467
	+ 20			1015

47. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ № 2

1. Обрабатывается журнал нивелирования (табл. 100), графы 1, 2, 3, 4, 5 заполняются полевыми исходными данными. В графе 13 выпи-
зываются заданные высоты реперов 1 и 2.

2. Определяются превышения на станциях (связующих точек) по
черной и красной сторонам рейки по формуле $h = a - b$ и записываются
в графу 6 и 7 в зависимости от знака превышения. Определяются сред-
ние превышения на станции

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_{\text{ч}} + h_{\text{к}}}{2}$$

и записываются в графу 8 или 9 в зависимости от знака превышения.

3. Выполняется постраничный контроль. Определяется сумма задних
отсчетов Σa (графа 3), сумма передних отсчетов Σb (графа 4) и
суммарное превышение по нивелирному ходу

$$\Sigma h = \frac{\Sigma a - \Sigma b}{2} .$$

Далее суммируются (с учетом знаков) средние превышения —
графа 8 и 9, и таким образом опять определяется суммарное превышение
по нивелирному ходу $\Sigma h_{\text{ср}}$.

Контроль правильности вычислений:

$$(\Sigma a - \Sigma b)/2 = \Sigma h_{\text{ср}}.$$

4. Определяется допустимость невязки.

Контрольное превышение между реперами

$$h_k = R_{P_2} - R_{P_1}.$$

Действительное, практическое превышение по нивелирному ходу
 $h_d = \Sigma h_{\text{ср}}$. Тогда невязка по ходу

$$\Delta h = h_d - h_k.$$

Допустимая невязка по ходу при техническом нивелировании

$$f_{x\text{доп}} = \pm 50\sqrt{L},$$

где L – длина нивелирного хода в км. Для данного случая $L = 1$ км.
И тогда $f_{x\text{доп}} = \pm 50$ мм, а условие допустимости невязки $\Delta h < 50$ мм.

5. Распределение допустимой невязки.

Определяется поправка на каждое превышение и записывается над средними превышениями (графы 8 и 9) с обратным знаком (см. пояснение к заданию 1 § 42, табл. 104). После этого вычисляются увязанные превышения (графы 10 и 11).

6. Вычисляются высоты связующих точек по формуле $H_2 = H_1 + h$ и записываются в графу 13. Вычисление высот связующих точек контролируется – в итоге расчетов должны получить высоту репера 2 (Рп 2).

7. Вычисляются высоты промежуточных точек. Для этого сначала определяется высота горизонта прибора (ГП), причем только для тех станций, на которых нивелировались промежуточные точки. ГП = $H_i + a_i$ (записываются в графу 12). После этого вычисляются высоты промежуточных точек $H_c = \Gamma P - c$ и записываются в графу 13.

8. Вычисляются высоты плюсовых точек поперечника. Для этого из журнале нивелирования выписывают полевые исходные данные, а в графу 13 из журнала нивелирования связующих точек по трассе – высоту ПК 5. Далее высоты точек поперечника вычисляются как промежуточные, т.е. через горизонт прибора (см. пункт 7).

9. Определяется расчетом пикетажное значение главных точек кривых (НК, СК, КК).

Для этого в зависимости от заданных a , R , l по таблицам разбивки кривых на железных дорогах определяются T , K , $(T_p + m)$. Затем рассчитываются суммарные элементы кривой $T_c = T + T_p + m$; $K_c = K + l$. После чего расчетом определяется пикетажное значение главных точек кривой: НК, СК, КК (формулы и пример см. § 39).

10. Строится и вычерчивается продольный профиль.

Продольные и поперечные профили вычерчиваются на миллиметровой бумаге. Формат листа для продольного профиля по длине 60

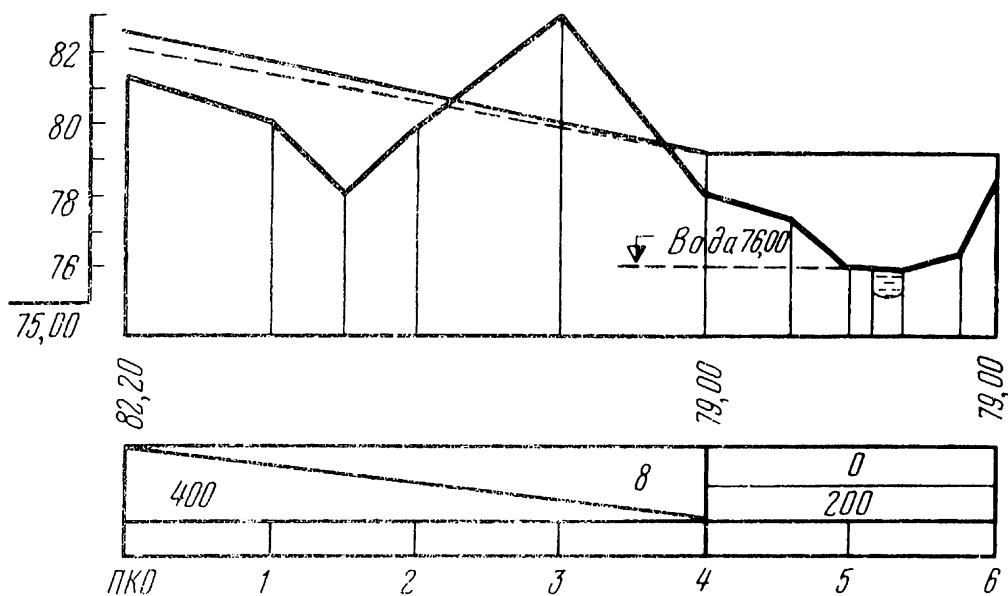


Рис. 37. Схема проектирования элементов продольного профиля

70 см, по высоте 30 – 40 см. В левом нижнем углу листа вычерчивается сетка продольного профиля (см. рис. 31). Графы сетки заполняются и вычерчивается продольный профиль земли трассы по методике, которая подробно излагается в пояснениях к задачам § 44.

Проектную линию следует наносить, начиная с "фиксированного" места. Таким местом является переход через ручей, здесь необходимо искусственное сооружение – мост.

Так как ширина ручья 10 м (см. пикетажный журнал, где также указана и глубина воды в ручье), требуется мост длиной 15 – 20 м. Поэтому принимается типовой железобетонный мост с пролетом 18,7 м. Исходя из этого, на переходе проектируется площадка (уклон равен нулю) длиной 200 м (ПК 4 – ПК 6). Проектная высота площадки назначается на 3 – 3,5 м выше высоты уреза воды в ручье.

Далее проектируются два элемента – влево от площадки и вправо. Длина этих элементов – каждый 400 м. Уклоны этих элементов должны быть выражены целым числом. Поэтому проектные уклоны в данном случае определяются по методике, изложенной в объяснениях к задачам 198, 199.

Пример. Исходные данные приведены на рис. 37. Требуется запроектировать элемент профиля ПК 0 – ПК 4.

Так как высота уреза воды в ручье 76,00 м, то назначаем проектную высоту площадки: $76,00 + 3,00 = 79,00$ м. Эту высоту фиксируем в графике "Проектные высоты", и она в дальнейшем меняться не будет. В первом приближении проводим пунктиром положение проектной линии на ПК 0 – ПК 4 (см. рис. 37). Основное условие ее проведения – минимум объема земляных работ или, иначе говоря, объем выемки приблизительно, на глаз, должен быть равен объему насыпи. По шкале высот определяем проектную высоту на пикете. Принимаем $H = 82,00$. Тогда $h =$

$= H_0 - H_4 = 82,00 - 79,00 = 3,00$ м. Отсюда уклон линии $i = h/l$,
где l – длина элемента в км,

$$i = \frac{3,00}{0,4} = 7,5\%.$$

Уклон при проектировании новых железных дорог должен быть назначен целым числом. В данном случае можно принять и 7%, и 8%. Принимаем $i = 8\%$. Определяем проектную высоту на ПК 0: $h = +il = 8 \cdot 0,4 = +3,20$ м ("плюс", так как от ПК 4 к ПК 0 – подъем). Проектная высота: $H_0 = H_4 + h = 79,00 + 3,20 = 82,20$ м. Проектную высоту фиксируем на профиле и окончательно проводим проектную линию (сплошная на рис. 37).

Правый элемент проектируется аналогично. Далее вычисляются проектные высоты пикетов и всех плюсовых точек по методике, которая излагается в объяснении к задаче 201, а также рабочие высоты. Наконец, расчетом определяются пикетаж нулевых мест и фиксируется на профиле (см. задачу 201, рис. 31).

На продольном профиле стандартным условным знаком необходимо показать охраняемый переезд и железобетонный мост с необходимой надписью (см. рис. 31).

11. Строится и вычерчивается поперечный профиль. Методика выполнения данного раздела задания подробно излагалась в объяснения к задаче 203. На рис. 35 приводится сетка поперечного профиля и типовые размеры насыпи, которые следует принять при выполнении данного задания.

Глава XV. НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

§ 48. ОБРАБОТКА ПОЛЕВОГО МАТЕРИАЛА

Нивелирование поверхности производится с целью получения крупномасштабных планов местности с малой высотой сечения горизонталями (0,25, 0,5, 1 м) на равнинной местности. На местности создается сеть точек, положение которых определяют в плановом и высотном отношениях. Плановое положение точек определяется проложением теодолитных ходов, а высотное – техническим нивелированием.

Сначала разбивают квадраты со сторонами 200 – 400 м, затем квадраты внутри сетки, сгущая их. Длина стороны квадрата зависит от масштаба плана. При масштабе 1 : 2000 минимальная сторона квадрата 40 м, при масштабах 1 : 1000 и 1 : 500 – 20 м.

При разбивке квадратов составляется абрис. По внешним сторонам сетки квадратов прокладывают теодолитные и нивелирные ходы, которые привязывают к пунктам государственной геодезической сети. Квадраты со сторонами 100 м нивелируют каждый отдельно.

Сначала нивелируют наружные квадраты, а затем — внутренние. Отсчеты записывают на схеме внутренних квадратов у соответствующих точек.

Контроль:

на стороне каждого квадрата суммы пакрест лежащих отсчетов должны быть равны между собой (рис. 38), т.е. $a_1 + b_2 = a_2 + b_1$ или $a_1 - b_1 = a_2 - b_2$. Если расхождения не превышают 5 мм, то вычисляют превышения между угловыми точками внешних сторон квадратов. В замкнутом полигоне сумма средних превышений должна быть равна нулю. Допустимая невязка в этом случае определяется по формуле

$$f_{x \text{ доп}} = \pm 10\sqrt{n} \text{ (мм)},$$

где n — число превышений.

Допустимую невязку распределяют поровну на все превышения и вычисляют высоты связующих точек (вершин внешних квадратов), высоты вершин остальных квадратов определяют как промежуточные точки — через горизонт прибора.

205. На местности разбиты и закреплены квадраты со сторонами 100 м. Базисный нивелирный ход (внешние стороны квадратов) привязан к Ри 1. Схема разбивки квадратов (100 x 100) и привязки к Ри 1 показана на рис. 38.

Полевые данные (отчет по рейкам) записываются в журнал нивелирования (табл. 119).

Вычисляем превышения по черной и красной сторонам рейки, контролируя полевые данные: расхождение превышений по черной и красной сторонам рейки не более 5 мм. Если это требование удовлетворяется — вычисляют средние превышения на станциях.

Далее необходимо определить невязку по замкнутому ходу, проверить допустимость невязки, распределить ее так, чтобы суммарное превышение по ходу было равно нулю: ход замкнут на одном и том же ре пере.

В нашем примере невязка $\Delta h = -38$ мм. Допустимая невязка по ходу $L \approx 1,3$ км (техническое нивелирование)

$$f_{x \text{ доп}} = \pm 50\sqrt{1,3} = 57 \text{ мм.}$$

Так как невязка допустимая, то распределяем ее и вычисляем связанные превышения. Проверяем правильность вычислений связанных превышений. Суммы превышений по ходу со знаком "плюс" и со знаком "минус" должны быть равны.

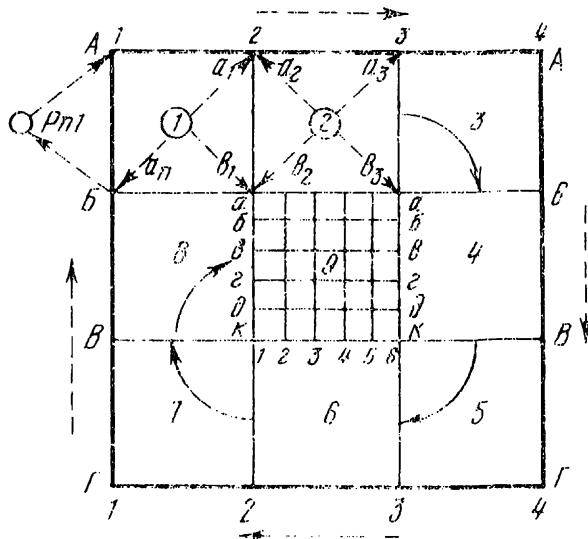


Рис. 38. Схема разбивки и нивелирования по квадратам

Таблица 119

№ станици	Пике- ты	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения, мм		Средние превышения, мм		Увязанные превышения, мм		Высота гори- зонта прибо- ра, м	Высота точек, м
		задний	передний	проме- жуточ- ный	+	-	+	-	+	-		
Ст. 1	Рп 1	1100				0792			+ 3 0794	0791	-	75,350
		5885				0796						
Ст. 2	А 1	2015	1892	-	1526		+ 3 1524		1527		-	74,559
		6800	6681		1522		'					
Ст. 3	А 2	2184	0489	-	1374		+ 3 1376		1379		-	76,086
		6969	5278		1378							
Ст. 4	А 3	2317	0810	-	1480		+ 3 1482		1485		-	77,465
		7102	5591		1484							
Ст. 5	А 4	0425	0837	-		2149			+ 3 2147	2144	-	78,950
		5210	5618			2145						
Ст. 6	Б 4	0537	2574	-		2315			+ 3 2313	2310	-	76,806
		5322	7355			2311						
Ст. 6	В 4	0473	2852	-		2266			+ 3 2264	2261	-	74,496
		5258	7633			2262						

Ст. 7	Г 4	0886 5671	2739 7520	-		1144 1140	-	1142 + 3 1536		1139	-	71,235
Ст. 8	Г 3	1013 5798	2030 6811	-		1538 1534				1533	-	71,096
Ст. 9	Г 2	0974 5759	2551 7332	-		1479 1475		+ 3 1477		1474	-	69,563
Ст. 10	Г 1	2876 7661	2453 7234	-	2455 2451			+ 3 2453		2456	-	68,089
Ст. 11	В 1	2910 7695	0421 5210	-	1456 1452			+ 3 2454		2457	-	70,545
Ст. 12	Б 1	2835 7620	0454 5243	-	2344 2348			+ 2 2346		2348	-	73,002
Ст. 13	Рп 1		0491 5272								-	75,350
		103 333	103 371				11635	11673	11652	11652		
										0		
							Δh = - 38	Δh = - 38	v			0

Таблица 120

№ станции	Пикеты	Отсчеты по рейкам, мм	
		задние	передние
Ст. 1	Рп 1 А 1	a_1 2373 — 7158	b_1
Ст. 2	А 2	2140 — 6925	1119 — 5906
Ст. 3	А 3	2283 — 7068	0976 — 5759
Ст. 4	А 4	0872 — 5657	1038 — 5821
Ст. 5	Б 4	0936 — 5721	1880 — 6663
Ст. 6	Б 4	1053 — 5838	2020 — 6803
Ст. 7	Г 4	1107 — 5892	2269 — 7052
Ст. 8	Г 3	1233 — 6018	2392 — 7175
Ст. 9	Г 2	1164 — 5949	2483 — 7266
Ст. 10	Г 1	2257 — 7042	2250 — 7033
Ст. 11	В 1	2222 — 7007	1238 — 6025
Ст. 12	Б 1	a_{13}	1086 — 5873
Ст. 13	Рп 1		b_{13}

Контроль: $+ 11\ 652 - 11\ 652 = 0$.

После этого по общему правилу вычисляются высоты связующих точек по ходу (наружных вершин квадратов 100 x 100).

Контролем правильности вычисления высот является высота репера (Рп 1), в итоге вычисляем высоты точек по замкнутому ходу.

206. Даны:

схема разбивки и нивелирования базисных квадратов (100 x 100) (см. рис. 38; табл. 120);

высота репера Рп 1 и привязки хода к нему – отсчеты по рейкам на первой станции хода (Ст. 1) – a_1, b_1 и на последней (Ст. 13) – a_{13}, b_{13} (табл. 121).

Таблица 121

Вариант	Высота репера, Рп 1, м	Отсчеты по рейкам красные/черные			
		Ст. 1		Ст. 13	
		a_1	b_1	a_{13}	b_{13}
1	15,750	0738	1176	2748	1194
		5523	5959	7533	5979
2	22,330	0617	1055	2623	1068
		5402	5838	7408	5853
3	36,140	0522	0960	2577	1021
		5307	5743	7362	5806
4	45,870	0837	1275	2438	0881
		5622	6058	7223	5666
5	58,420	0926	1364	2382	0824
		5711	6147	7167	5609
6	64,650	1018	1456	2216	0688
		5803	6239	7001	5473
7	51,460	1136	1574	2155	0626
		5921	6357	6940	5411
8	43,730	1247	1685	2284	0754
		6032	6468	7069	5539
9	32,550	1313	1751	2357	0826
		6098	6534	7142	5611
10	27,910	1474	1912	2414	0882
		6259	6695	7199	5667

Определить расчетом в журнале нивелирования высоты связующих точек по замкнутому нивелирному ходу.

Вершины внутренних квадратов нивелируются следующим образом в центре квадрата ставится нивелир (см. рис. 38 – кружок с цифрой) и берутся отсчеты по рейкам в вершинах квадратов (на рис. 38 пунктиром показаны точки нивелирования).

Отсчеты по рейкам записываются прямо на абрисе крупного масштаба у соответствующих точек.

Нивелирование вершин квадратов контролируется прямо в поле.

$a_1 + b_2 = a_2 + b_1$ (в общем случае – накрест лежащие отсчеты). Невязка допускается не более 5 мм.

На рис. 38 сплошной стрелкой показано направление обхода квадратов в расчетном примере.

207. Полевые данные нивелирования внутренних вершин квадратов (см. рис. 38) даны в табл. 122. Номера станций соответствуют последовательности обхода квадратов. Рейки – 4-метровые. Вычисления выполняем в следующей последовательности:

Контроль полевых отсчетов:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Страна } A2 - B2: \text{ отсчеты черные: } 0642 + 3922 = 4564 \\ \qquad\qquad\qquad \text{красные: } 5427 + 8699 = 14126 \\ \qquad\qquad\qquad \text{Страна } B1 - B2: \text{ отсчеты черные: } 3721 + 0384 = 4105 \\ \qquad\qquad\qquad \text{красные: } 8500 + 5169 = 13669 \end{array} \right\} \Delta = 1 < 5,$$

$$\left. \begin{array}{l} 1930 + 2635 = 4565 \\ 6709 + 7416 = 14125 \\ 2635 + 1471 = 4106 \\ 7416 + 6252 = 13668 \end{array} \right\} \Delta = 1 < 5.$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta = 1 < 5, \\ \Delta = 1 < 5, \\ \Delta = 1 < 5 \end{array} \right\}$$

и т.д. по каждой внутренней стороне квадратов.

Определяем превышение для каждой внутренней стороны квадратов – на двух смежных станциях, по черной и красной сторонам рейки, и средние из них.

$$\begin{aligned} A2 - B2 \text{ Ст. 1:} & \text{ черные } h_{\text{ч}} = 2635 - 642 = 1993; \\ & \text{красные } h_{\text{к}} = 7416 - 5427 = 1989; \\ \text{Ст. 2:} & \text{ черные } h_{\text{ч}} = 3922 - 1930 = 1992; \\ & \text{красные } h_{\text{к}} = 8699 - 6709 = 1990. \end{aligned}$$

Определяем средние превышения:
для стороны $A2 - B2$:

$$h_{\text{ср}} = \frac{1993 + 1989 + 1992 + 1990}{4} = \frac{7964}{4} = 1991;$$

Таблица 122

		1	2		3		4
<i>A</i>		0642	1930		0538	0427	
		5427	6709		5323	5212	
		1993	1992		2112	2111	
		1989	1990		2108	2109	
			1991			2110	
	3721	1086	2635	3922	1272	2650	2538
	8500	1084	7416	8699	1268	7431	7321
	1471	1087	0384	1606	1269	0337	1789
	6252	1083	5169	6393	1271	5122	6572
		1085	2287	2284	1270	2143	2144
<i>B</i>			2283	2286		2147	2146
				2285			2145
	3939	1268	2671	3890	1410	2480	3933
	8718	1266	7452	8679	1410	7269	8718
	1542	1269	0273	1726	1409	0317	1757
	6323	1265	5058	6509	1407	5102	6544
		1267	2243	2244	1409	2117	2116
			2241	2240		2113	2114
				2242			2115
			2516	3970		2434	3873
			7299	8749		7215	8658

Лиля стороны $B1 - B2$:

Ст. 7: черные $h_{\text{ч}} = 542 - 0273 = 1269$;
красные $h_{\text{к}} = 6323 - 5058 = 1265$;

$$h_{\text{ср}} = 1267.$$

Ст. 8: черные $h_{\text{ч}} = 3939 - 2671 = 1268$;
красные $h_{\text{к}} = 8718 - 7452 = 1266$,

Определяем невязки, их допустимость, распределяем невязки и определяем увязанные превышения для каждой внутренней стороны квадратов. Для этого вычерчиваем сетку квадратов и выписываем средние превышения по всем внутренним сторонам (табл. 123) и превышения по нивелирному ходу, по внешним сторонам квадратов (из журнала нивелирования, см. табл. 119). Эти превышения взяты в рамку,

Таблица 123

1	2	3	
A	$+ 3084 + 1527$ $+ 8 - 4$ $+ 1557 - 4 0$ 1995 $- 1085$ $- 4$ 1089 $- 3084$	$+ 3370 + 1379$ $+ 3374$ $+ 1991 - 10 + 4$ $+ 4 + 3 + 3$ $1995 0$ $- 1270$ $+ 3$ $- 1267$ $- 3374$	$+ 3595 + 1485$ $+ 3592$ $+ 2110 + 6 - 3$ $- 3 - 3 0$ 2107 $- 1445$ $- 3$ $- 1448$ $- 3592$
B	$+ 3542 + 1085$ $+ 3546 + 4$ 1089 $- 10 + 4$ $+ 2457 + 9 - 3$ 0 $- 2285$ $- 3$ $- 2288$ $- 1267$ $+ 9$ $- 1258$ $- 3546$	$+ 3555 + 1270$ $+ 3555 - 3$ $+ 1267$ $+ 2285 + 1 - 3$ $+ 3 + - 4 + 3$ $+ 2288 + 3 0$ $- 2145$ $- 4$ $- 2149$ $- 1409$ $+ 3$ $- 1406$ $- 3555$	$+ 3590 + 1445$ $+ 3597 + 3$ $+ 1448$ $+ 2145 - 10 + 3$ $+ 4 + 4 + 3$ 0 $- 2310$ $- 1290$ $+ 3$ $- 3600$ $- 1287$ $- 3597$
B	$+ 3723 + 1267$ $+ 3714 - 9$ $+ 1258$ $+ 7 + 2$ $+ 2456 - 9 0$ 2240 $- 2242$ $+ 2$ $- 3716$ $- 1474$ $- 3714$	$+ 3651 + 1409$ $+ 3646 - 3$ $+ 1406$ $+ 2242 + 3 + 2$ $- 2 - 2 - 3$ $+ 2240 0$ $- 2115$ $+ 2$ $- 2113$ $- 3648$ $- 1533$ $- 3646$	$+ 3405 + 1290$ $+ 3400 - 3$ $+ 1287$ $+ 2115 + 5 - 3$ $- 2 - 2 0$ $- 2261$ $+ 2113$ $- 1139$ $- 3400$
G			

никак они базисные и при дальнейшей увязке превышений внутренних сторон квадратов не должны меняться.

Невязку по каждому квадрату определяем из условия, что сумма превышений в каждом квадрате при обходе его сторон, предположим, по часовой стрелке, должна быть равна нулю, т.е. суммы плюсовых и минусовых превышений должны быть равны.

Так, для квадрата 1 две наружные стороны имеют базисные превышения со знаком "плюс", следовательно, контрольная сумма "плюсов" для этого квадрата: $1527 + 1557 = + 3084$ (записываем в верхнем левом углу квадрата в рамку).

Сумма "минусовых" превышений для квадрата 1: $1991 + 1085 = - 3076$. Отсюда следует, что для квадрата 1 невязка "плюсовая": $+ 3084 - 3076 = + 8$ (записываем в прямоугольную рамку).

Для квадрата 2 имеем:

$$\begin{aligned} \text{"плюсы"} \quad 1379 + 1991 &= + 3370 \\ \text{"минусы"} \quad 2110 + 1270 &= - 3380 \end{aligned} \left. \right\}, \text{невязка} = 10.$$

Допустимость невязки для квадрата определяем по формуле (для технического нивелирования) $f_x^{\text{доп}} = \pm 10\sqrt{n}$, где n — число превышений. Для квадрата $n = 4$, и тогда $f_x^{\text{доп}} = \pm 10\sqrt{4} = \pm 20$ мм.

Для квадрата 3 имеем: $2110 + 1485 = 3595$; $2144 + 1445 = - 3589$. Невязка $+ 6$.

Последовательно обходя квадраты, определяем невязки и сравниваем их с допустимой. Контролируем невязку по всему полигону: $\Sigma(+ \Delta h) = 8 + 6 + 5 + 3 + 7 + 1 = 30$ мм. $\Sigma(- \Delta h) = - 10 - 10 - 10 = - 30$ мм.

Далее распределяем невязки и увязываем превышения последовательно в каждом квадрате от первого до девятого.

Так, для квадрата 1 имеем невязку $+ 8$ мм. Так как плюсовые превышения базисные и они не меняются, то, следовательно, невязку распределяем на "минусовые" превышения: $- 1991 - 4 = - 1995$;

$1085 - 4 = - 1089$, и тогда контрольная сумма $3084 - 3084 = 0$. Квадрат 1 увязан.

Для квадрата 2 имеем невязку 10 мм. В превышение стороны $A2 - B2$ уже внесена поправка $+ 4$ мм и превышение равно $1991 + 4 = 1995$ мм (знак поправки для соседнего квадрата меняется на противоположный, так как превышение также меняет свой знак). Следовательно, остаток невязки $- 10 + 4 = - 6$ мм. Эту невязку распределяем на два "минусовых" превышения: $- 2110 + 3 = - 2107$ мм и $- 1270 + 3 = - 1267$ мм. Невязка по квадрату 2: $- 10 + 4 + 3 + 3 = 0$. Контрольная сумма: $1995 + 1379 = + 3374$ мм и $- 2107 - 1267 = - 3374$ мм. Квадрат 2 увязан.

Для примера рассмотрим еще уязкую последнюю квадратную 9. Квадрат 9 имел поправку $+ 1$ мм. Из квадрата 2 при увязке превышения стороны $B2 - B3$ перешла поправка $- 3$ мм. Из квадрата 4 перешла поправка $- 4$ мм, из квадрата 6 — поправка $+ 3$ мм, из квадрата 8 $+ 3$ мм. Суммарная невязка $+ 1 - 3 - 4 + 3 + 3 = 0$, а контрольная сумма $2288 + 1267 =$

= + 3555 мм и - 1406 - 2149 = - 3555 мм. Замыкающий квадрат увязан, и, следовательно, увязан весь полигон.

После увязки превышений определяем высоты вершин внутреннего квадрата. Искомые высоты определим по горизонтальному ходу: $B1$ - $B4$ и $B1$ - $B4$. Высоты базисных вершин берем из журнала нивелирования (см. табл. 119).

Из журнала нивелирования имеем высоты вершин:

$$B1 = 73,002 \text{ м}; B4 = 76,806 \text{ м}, B1 = 70,545 \text{ м}, B4 = 74,496 \text{ м}.$$

Определяем искомые высоты вершин квадрата:

$$B2 \quad 73,002 + 1,089 = 74,091 \text{ м};$$

$$B3 \quad 74,091 + 1,267 = 75,358 \text{ м};$$

$$B4 \quad 75,358 + 1,448 = 76,806 \text{ м (контроль есть)} \text{ и далее};$$

$$B2 \quad 70,545 + 1,258 = 71,803 \text{ м};$$

$$B3 \quad 71,803 + 1,406 = 73,209 \text{ м};$$

$$B4 \quad 73,209 + 1,287 = 74,496 \text{ м (контроль есть)}.$$

Определим для контроля эти же высоты, но по вертикалям 2 - 2 и 3 - 3. Из журнала нивелирования имеем $A2 = 76,086 \text{ м}$, $A3 = 77,465 \text{ м}$, $\Gamma_2 = 69,563$, $\Gamma_3 = 71,096 \text{ м}$.

Определяем высоты вершин внутреннего квадрата:

$$B2 \quad 76,086 - 1,995 = 74,091 \text{ м};$$

$$B2 \quad 74,091 - 2,228 = 71,803 \text{ м};$$

$$\Gamma_2 \quad 71,803 - 2,240 = 69,563 \text{ (контроль) и далее};$$

$$B3 \quad 77,465 - 2,107 = 75,358 \text{ м};$$

$$B3 \quad 75,358 - 2,149 = 73,209 \text{ м};$$

$$\Gamma_3 \quad 73,209 - 2,113 = 71,096 \text{ м (контроль)}.$$

208. В таблице 124 даны отсчеты по рейкам (для уменьшения объема вычислений отсчеты даны только по черной стороне рейки); высоты внешних вершин квадратов и превышения между ними взять из журнала нивелирования к задаче 207.

Определить средние превышения с контролем для внутренних сторон квадратов; невязки для всех квадратов и их допустимость, распределить невязку и увязать превышения для каждой внутренней стороны квадратов; высоты вершин внутреннего квадрата.

Сетку квадратов сгущения разбивают в зависимости от заданного масштаба топографического плана.

209. Предположим, задан масштаб 1 : 1000. Тогда необходимо разбить квадраты со сторонами 20 x 20 м, причем за базис разбивки их принимаются стороны больших квадратов 100 x 100. Схема разбивки и

Таблица 124

1	2	3	4
	0436 2793 1574	1740 2880 1688	0575 1962 0610
B			B
	1679 2806 1540	1712 2790 1520	0516 2890 1620
B			B
	2025 1954 0757	1760 2955 1710	0486 2916 0416
I			I
1	2	3	4

нумерация точек сгущающей сетки квадратов показаны на рис. 38 (за базис принят средний квадрат $B2 - B3 - B3 - B2 - B2$).

В табл. 125 приведен нивелирийский ход с привязкой к двум вершинам базисного квадрата, отметки которых известны aI, kI (отсчеты на связующие точки по двум сторонам рейки), и отсчеты по рейкам на вершинах квадратов сгущения (по черной стороне рейки). Вычисление высот вершин квадратов сгущения может быть выполнено обычным способом в журнале нивелирования (см. табл. 125). На практике очень часто высоты точек при нивелировании по квадратам вычисляют прямо на абрисе.

Для этого сначала необходимо увязать нивелировочный ход — определить и увязать превышения.

Превышение: Ст. 1 черные $h = 1725 - 1523 = + 202$ мм; красные $h = 6510 - 6310 = + 200$ мм; $h_{cp} = + 201$ мм. Ст. 2 черные $h = 0380 - 2865 = - 2485$ мм; красные $h = 5165 - 7650 = - 2485$ мм; $h_{cp} = - 2485$ мм.

Превышение по базисной стороне: $B2 - B2 - h = + 2288$ мм. Следовательно, $\Sigma h = 2288 + 201 - 2485 = 2489 - 2485 = + 4$ мм. Распределяем невязку с обратным знаком на два превышения: Ст. 1 $h_1 = 201 - 2 = 199$ см; Ст. 2 $h_2 = - 2485 - 2 = - 2487$ мм.

Контроль: $2288 + 199 - 2487 = 0$.

Высота базисной вершины $B2 = 74,091$ м и $B2 = 71,803$ м. Тогда отметка точки $b5$ $74,091 + 0,199 = 74,290$ м и контроль: $74,290 - 2,487 = 71,803$ м.

Вершины квадратов нивелируются и их высоты вычисляются как промежуточные точки, т.е. через горизонт прибора. Определяем горизонт прибора для станций: Ст. 1 ГП = $74,091 + 1,725 = 75,816$ м; Ст. 2 ГП = $= 74,290 + 0,380 = 74,670$ м. Далее определяем высоты вершин квадратов: Ст. 1: $a2 75,816 - 1,470 = 74,346$ м; $a3 75,816 - 1,220 = 74,596$ м; $a4 75,816 - 0,965 = 74,851$ м и т.д. (на Ст. 1 сняты точки в рядах a, b, c); Ст 2: $g1 74,670 - 1,950 = 72,720$ м; $g2 74,670 - 1,710 = 72,960$ м; $g3 74,670 - 1,430 = 73,240$ м и т.д. (на Ст. 2 сняты точки в рядах g, d, k).

Таблица 125

№ станции	Точки ниве- лирова- ния	Отсчеты по рейкам, мм			Превышения		Высота гори- зонта прибо- ра, м	Высота точек, м
		задние	перед- ние	проме- жуточ- ные	+	-		
Ст. 1	a1	1725					75,816	74,091
		<u>6510</u>						
	a2			1470			74,346	
	a3			1220			74,596	
	a4			0965			74,851	
	a5			0720			75,096	
	б1			2180			73,636	
	б2			1925			73,891	
	б3			1670	202		74,146	
	б4			1420	200		74,396	
	б5			1160	201		74,656	
	б6			0890	- 2		74,926	
	в1			2640	199		73,176	
	в2			2340			73,476	
	в3			2100			73,716	
	в4			1840			73,976	
	в6			1320			74,496	
	в5	0380	1523				74,670	74,290
Ст. 2		<u>5165</u>	<u>6310</u>					
	г1			1950			72,720	
	г2			1710			72,960	
	г3			1430			73,240	
	г4			1150			73,520	
	г5			0870			73,800	
	г6			0590			74,080	
	δ1			2400	2485		72,270	
	δ2			2150	2485		72,520	
	δ3			1880	2485		72,790	
	δ4			1600	- 2		73,070	
	δ5			1310	2487		73,360	
	δ6			1030			73,640	
	κ2			2580			72,090	
	κ3			2300			72,370	
	κ4			2025			72,645	
	κ5			1750			72,920	
	κ1		2865					71,803
			<u>7650</u>					
			13 780	18 348	201	2485		- 2,288
			$- 4568/2 = - 2284$					
					201	$- 2284 \Delta h = + 4$		

№ 49. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА С ГОРИЗОНТАЛЯМИ

На чертежной бумаге вычерчивается сетка квадратов в масштабе топографического плана и у каждой вершины записывается ее высота с точностью до сантиметра (рис. 39).

С абриса на план переносится ситуация и затем наводятся горизонтали, с помощью которых изображается рельеф местности. Для этого обязательно должна быть задана или принята по соответствующим инструкциям высота сечения горизонталями.

210. Для топографического плана масштаба 1 : 1000 принимаем высоту сечения горизонталями через 0,5 м. Сначала необходимо определить, горизонтали каких высот пройдут по данному участку местности. Определяем на плане минимальную и максимальную высоты точек. В нашем примере 71,80 м и 75,36 м. Следовательно, первая горизонталь выше точки (71,80 м) четная, будет иметь высоту 72,0. Далее, через 0,5 м: 72,5, 73,0, 73,5, 74,0, 74,5, 75,0.

Горизонталь с высотой 75,5 по нашему плану не пройдет, так как максимальная отметка на плане 75,36 м.

Задача сводится к тому, чтобы на топографическом плане найти точки, имеющие высоту горизонтали, которую хотим нарисовать на плане, причем чем больше этих точек мы найдем на плане, тем более точно изобразим рельеф местности.

Точки, на топографическом плане, имеющие высоту искомой горизонтали, определяются методом интерполяции, т.е. графического пропорционального деления отрезка. Отрезок, который "делят", — это расстояние между высотными точками на плане, в нашем случае такими являются вершины квадратов.

Сначала необходимо определить, между какими высотными точками пройдет искомая горизонталь, т.е. какие стороны квадратов в нашем случае она пересечет.

На рис. 40 показаны два правых верхних квадрата в более крупном масштабе (нумерация точек — только для объяснения). Будем проводить горизонталь с высотой 75,0.

Горизонталь с высотой 75,0 пересечет сторону 1 — 2, так как точка 1 — 74,85 < 75,0, а точка 2 — 75,10 > 75,0. Далее искомая горизонталь пересечет стороны 2 — 5 и 3 — 4.

Еще здесь пройдет горизонталь 74,5 — пересечет стороны 1 — 6 и 6 — 5.

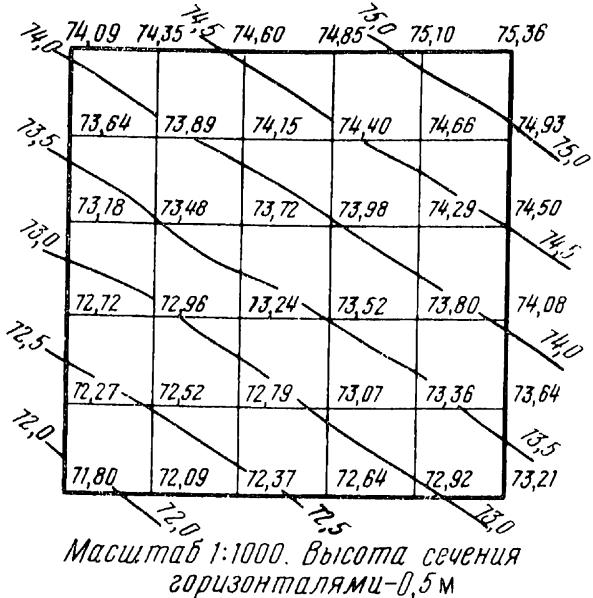


Рис. 39. План местности с горизонталями

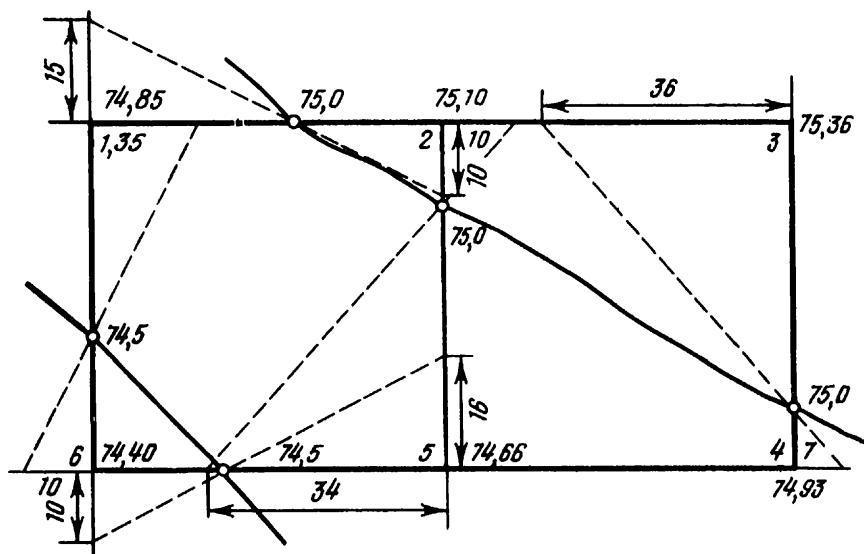


Рис. 40. Графическое интерполирование для построения горизонталей

Если между высотными точками проходит одна горизонталь, то можно интерполировать следующим образом.

Точка 1 (74,85) ниже искомой высоты на 15 см, а точка 2 (75,10) выше на 10 см. Откладываем в разные стороны от стороны 1 – 2 – в точке 1 – 15 мм, в точке 2 – 10 мм. К концам этих отрезков прикладываем линейку и находим точку пересечения со стороной 1 – 2. Она будет иметь высоту 75,0.

Графическое интерполирование других сторон квадратов показано на рис. 40. Если между высотными точками проходят две горизонтали и более – интерполируют с помощью палетки. Этот способ необходимо изучить по учебнику.

211. По данным табл. 126, интерполируя между вершинами квадрата, наведите горизонтали высотой сечения через 0,5 м. Стороны квадрата – 4 х 4 см (1 : 500).

Таблица 126

Вариант	Высота вершины квадрата, м			
	№ вершин по ходу стрелки			
	1	2	3	4
1	25,25	25,80	25,36	24,60
2	30,30	30,75	30,15	29,80
3	43,15	43,60	43,21	42,75
4	58,35	58,63	58,18	57,73
5	63,17	63,73	63,36	62,68
6	75,20	75,67	75,26	74,85
7	67,18	67,85	67,31	66,65
8	52,27	52,77	52,35	51,71
9	48,29	48,72	48,31	47,81
10	36,36	36,63	36,24	35,77

212. По данным табл. 127 нивелирования, квадратов сгущения (20×20), связующей точки с привязкой к вершинам базисного квадрата определить высоты вершин квадратов. Вычертить топографический план в масштабе 1 : 1000. Провести горизонтали высотой сечения — 0,5 м. Высоты точек $A4$ и $B4$ принять из задачи 208, обозначение точек см. рис. 38.

Таблица 127

№ стан- ции	Точки ниве- лиро- вания	Отсчеты по рейкам			№ стан- ции	Точки ниве- лиро- вания	Отсчеты по рейкам		
		задние	передние	промежуточ- ные			задние	передние	промежу- точные
	$A4$	0575							
	a_6	5360				g_1			2050
	a_1			1820		g_2			1825
	a_2			1570		g_3			1555
	a_3			1320		g_4			1285
	a_4			1075		g_5			1015
	a_5			0825		g_6			0750
	b_1			2045		d_1			2270
	b_2			1775		d_2			2025
(ст. 1)	b_3			1525	Ст. 2	d_3			1755
	b_4			1275		d_4			1485
	b_5			1025		d_5			1215
	b_6			0775		d_6			0950
	v_1			2265		k_1			2500
	v_3			1725		k_2			2225
	v_4			1475		k_3			1960
	v_5			1225		k_4			1690
	v_6			0975		k_5			1420
	v_2	1580	2020			k_6			1147
		6365	6805						5932
						$B4$			

Глава XVI. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО НИВЕЛИРОВАНИЮ ПОВЕРХНОСТИ

§ 50. ЗАДАНИЕ № 3. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛНА С ГОРИЗОНТАЛЯМИ НИВЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Исходные данные:

- Полевой абрис разбивки квадратов (20×20 м) и съемки ситуации (рис. 41).
- Схема нивелирования связующих точек (отсчеты по черной и красной сторонам рейки) и вершин квадратов (отсчеты по черной стороне рейки) — рис. 42.

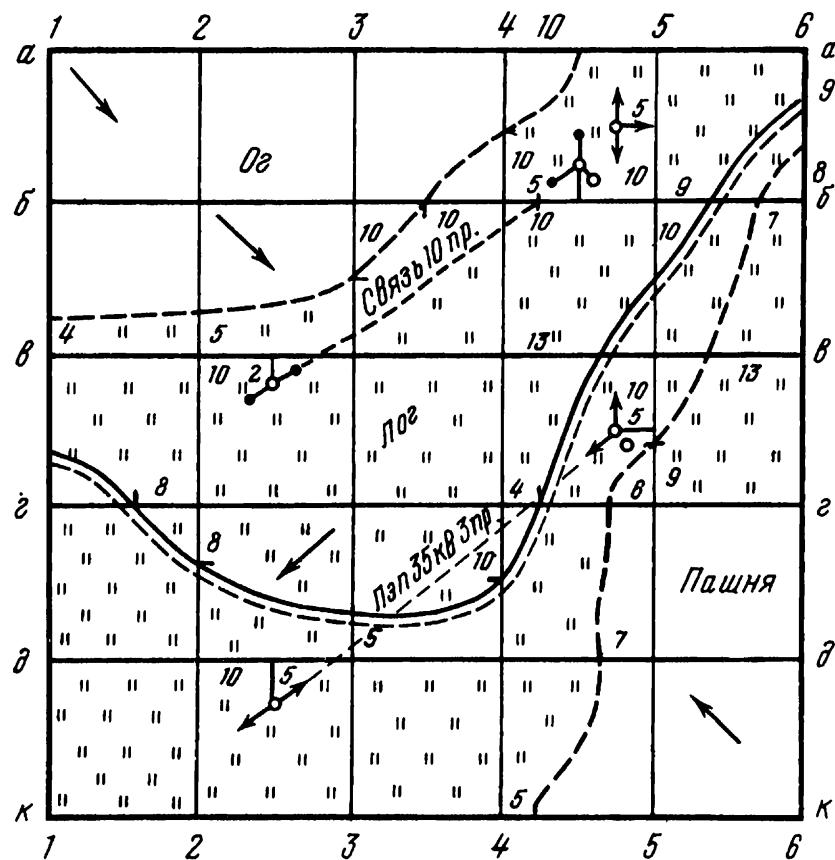


Рис. 41. Схема разбивки квадратов и съемки ситуации

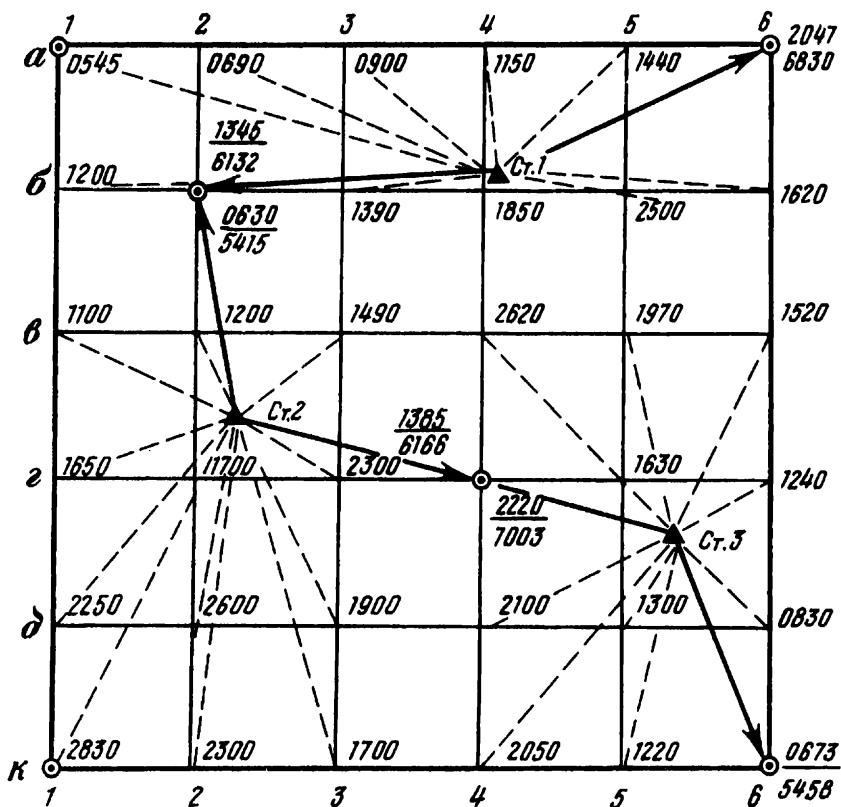


Рис. 42. Схема нивелирования местности по квадратам

3. Высоты вершин базисного квадрата (a_6 , k_6) табл. 128.

Требуется:

1. Увязать превышения и вычислить высоты связующих точек в журнале нивелирования.
2. На абрисе в крупном масштабе вычислить высоты вершин квадратов.
3. Вычертить топографический план местности в масштабе 1 : 1000.
4. Нанести на план горизонтали высотой сечения 0,5 м.

Таблица 128

№ варианта	Высота точек, м		№ варианта	Высота точек, м	
	a_6	k_6		a_6	k_6
1	12,373	13,873	16	74,125	75,625
2	22,418	23,918	17	83,842	85,342
3	33,564	35,064	18	91,103	92,603
4	41,672	43,127	19	16,501	18,001
5	54,745	56,245	20	27,015	28,515
6	63,112	64,612	21	36,217	37,717
7	72,950	74,450	22	47,505	49,005
8	81,015	82,515	23	56,737	59,237
9	93,677	95,177	24	67,125	68,625
10	14,925	16,425	25	78,507	80,007
11	23,973	25,473	26	86,618	88,118
12	31,000	32,500	27	97,351	98,851
13	44,105	45,605	28	25,017	26,517
14	51,205	52,705	29	39,173	40,673
15	61,847	63,347	30	43,735	45,235

§ 51. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ № 3

1. В типовой журнал нивелирования в соответствующие графы высчитываются отсчеты на связующие точки по черной и красной сторонам рейки, которые приведены на схеме нивелирования (см. рис. 42). Далее определяются средние превышения и невязка по ходу. Допустимая невязка определяется по формуле $f_{x \text{ доп}} = \pm 10\sqrt{n}$, где n – число превышений, и если полученная невязка меньше допустимой, ее распределяют. По увязанным превышениям вычисляют высоты связующих точек по ходу.

2. Вычисляют отметки вершин квадратов прямо на абрисе – схеме квадратов в крупном масштабе, написав у каждой вершины квадрата

полевой отсчет по рейке и высоты связующих точек. Далее для каждой станции определяется горизонт прибора по формуле $\Gamma\text{П} = H_1 + a_1$.

Высоты горизонта прибора записываются у соответствующих станций. Высоты вершин квадратов вычисляются как промежуточные точки — через горизонт прибора и записываются на абрисе у соответствующих вершин.

3. На чертежной бумаге (формат 11) в заданном масштабе вычерчивается сетка квадратов, с абриса (см. рис. 41) переносится ситуация, у вершин квадратов записываются высоты с точностью до сантиметра, стандартными условными знаками показывается ситуация.

4. Методом графической интерполяции или с помощью палетки проводятся горизонтали с заданной высотой сечения. Горизонтали обводят коричневым цветом и подписывают высоту. На топографическом плане обязательно должны быть указаны масштаб и высота сечения горизонталими.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Глава XVII. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЛОЖЕНИЙ

§ 52. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ПРОЛОЖЕНИЙ ПО ДАЛЬНОМЕРУ

213. Отсчеты по дальномерным нитям теодолита ТТ-5 равны нижний — 2853 мм (*a*), верхний — 0611 мм (*b*). Определить длину линии на местности.

Решение:

Длину линии на местности *D*, измеренную по дальномеру, определяем по формуле $D = Kn + C$, где *K* — коэффициент дальномера, равный 100 (для теодолитов ТТ-5, Т30, Т10, Т5); *n* — разность отсчетов по дальномерным нитям в сантиметрах; *C* — постоянная дальномера, равная 0 для теодолитов с внутренней фокусировкой.

Находим разность отсчетов

$$n = a - b,$$

$$n = 2853 - 0611 = 2242 \text{ мм} = 224,2 \text{ см.}$$

Определяем длину линии на местности, принимая *C* = 0,

$$D = kn, D = 100 \cdot 224,2 = 224,2 \text{ м.}$$

214. По данным табл. 129 определить длину линии на местности, измеренную по дальномеру теодолита Т30.

Таблица 129

Вариант	Нижний отсчет <i>a</i> , мм	Верхний отсчет <i>b</i> , мм	Вариант	Нижний отсчет <i>a</i> , мм	Верхний отсчет <i>b</i> , мм
1	2628	0157	6	2017	0683
2	2511	1126	7	1976	0754
3	2493	0357	8	2103	1138
4	3774	0470	9	2517	1203
5	2255	0581	10	2686	1353

215. Определить горизонтальное проложение линии *A* — *B*, если угол наклона этой линии к горизонту $\alpha = +1^{\circ}55'$, а разность отсчетов по дальномерным нитям $n = 139,6$ см (рис. 43).

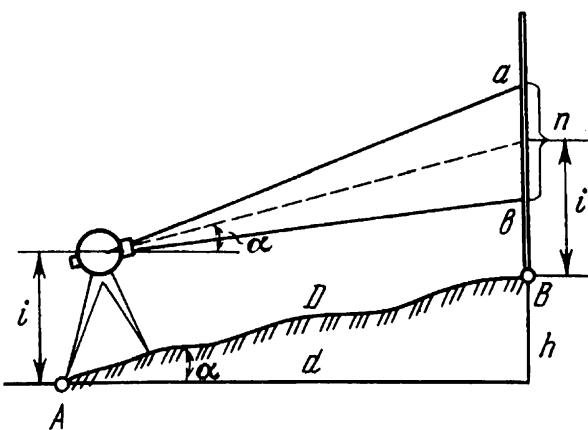


Рис. 43. Схема определения превышения по высоте прибора

Решение:

Горизонтальное проложение определяем по формуле

$$d = K n \cos^2 \alpha.$$

Практически горизонтальное проложение определяют по натуральным значениям тригонометрических функций, по тахеометрическим таблицам Ф.И. Макеева, А.С. Никулина, Л.С. Хренова, В.Н. Ганьшина и др. и с помощью микрокалькулятора.

1. По тахеометрическим таблицам Ф.И. Макеева (М., Недра, 1981) находим на с. 139 для угла $\alpha = 1^\circ 55'$ и расстояния 139 м в столбце справа (прил. 5) $d = 138,8$ м.

Для расстояния 139,6 м горизонтальное проложение равно

$$d = 138,8 + 0,6 = 139,4 \text{ м.}$$

2. С помощью микрокалькулятора определяем значения тригонометрических функций. Необходимо выражать количество минут угла наклона в десятичных долях градуса. Например, $55' : 60 = 0,91666^\circ$. Последовательность нажатия клавиш микрокалькулятора "Электроника Б3-18А":

$$|C|F|\text{зап}|1,91666|F|\cos|=|0,999441;$$

$$|F|\Pi|x^2|F|\text{ИП}|x|139,6|=|139,44 \text{ м.}$$

216. По данным табл. 130, в которой помещены значения измеренных углов наклона и разности отсчетов по дальномерной рейке, определить горизонтальное проложение.

Таблица 130

Вариант	α	$n, \text{ см}$	Вариант	α	$n, \text{ см}$
1	+ 2° 37'	86,3	6	- 4° 08'	79,6
2	- 2 14	102,2	7	+ 3 53	85,1
3	- 7 55	94,5	8	+ 2 26	93,7
4	+ 3 03	73,4	9	- 2 12	114,8
5	+ 2 11	68,2	10	- 1 43	129,5

§3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ ПО УГЛУ НАКЛОНА И РАЗНОСТИ ОТСЧЕТОВ

217. Определить превышение h , если угол наклона, измеренный тахеометром Т30, $\alpha = +3^\circ 52'$, а разность отсчетов по дальномерной рейке при визировании зрительной трубой на высоту прибора составляет $n = 126$ см.

Решение:

Превышение определяют по формуле

$$h = 0,5 Kn \sin 2\alpha.$$

Практически превышение определяют по таблицам натуральных значений тригонометрических функций, по тахеометрическим таблицам или с помощью микрокалькулятора.

1. По таблицам тригонометрических функций:

$$\begin{aligned} h &= 0,5 \cdot 100 \cdot 126 \text{ см } \sin (2 \cdot 3^\circ 52') = 0,5 \cdot 126 \text{ м } \sin 7^\circ 44' = \\ &= 0,5 \cdot 126 \cdot 0,134562 = +8,48 \text{ м.} \end{aligned}$$

2. По тахеометрическим таблицам (Ф.И. Макеев, М., Недра, 1981) на с. 122, в столбце 3° и строке 51 находим 8,44. Прибавив поправку на $+4$ см, получаем $h = +8,44 + 0,04 = 8,48$ м.

3. На микрокалькуляторе "Электроника Б3-18А" последовательность нажатия клавиш: $|C|44| \div |60| = 0,73333$ – выражение числа минут в угле $2\alpha = 7^\circ 44'$ в десятичных долях градуса. $|C|7,7333|F|\sin|x|126| = +|x|0,5| = 8,477406 = +8,48$ м.

218. По измеренному тахеометром Т30 углу наклона α и разности отсчетов n на дальномерной рейке по нитяному дальномеру при визировании на высоту прибора определить превышение h по данным табл. 131.

Таблица 131

Вариант	α	n , см	Вариант	α	n , см
1	$+3^\circ 18'$	86	6	$-4^\circ 03'$	59
2	$-3^\circ 43$	154	7	$+2^\circ 56$	71
3	$+2^\circ 06$	127	8	$-1^\circ 43$	92
4	$+4^\circ 27$	96	9	$+4^\circ 42$	131
5	$-1^\circ 51$	115	10	$+3^\circ 48$	105

219. Тахеометром Т30 измерен вертикальный угол наклона $\alpha = +9^\circ 15'$. Отсчеты по дальномерной рейке по нитяному дальномеру при визировании на высоту прибора: нижний $a = 2526$; верхний $b = 1703$. Определить превышение h и горизонтальное проложение d по тахеометрическим таблицам Ф.И. Макеева.

Решение:

Формулы для расчета

$$h = 0,5 Kn \sin 2\alpha;$$

$$d = Kn \cos^2 \alpha.$$

1. Определяем разность отсчетов $n = a - b = 2526 - 1703 = 82,3$ см

2. На с. 78 (82 м) находим в столбце 9° и строке $15'$ превышение $h = + 13,01$ м.

По табл. IV тахеометрических таблиц находим поправку Δh к превышению на 0,3 м длины линии (в столбце 9° , строка $15'$):

$$\Delta h = 0,16\ 286 \text{ м} \cdot 0,3 = 0,05 \text{ м.}$$

Превышение с поправкой составит $h = 13,01 + 0,05 + 13,06$ м.

3. Определяем горизонтальное проложение для наклонной линии 89 м по табл. 1 тахеометрических таблиц (столбец d , строка $9^\circ 30'$): $d = 79,8$ м.

Поправка на $30'$ составит 0,20 м, а на $15' - 0,10$ м.

Горизонтальное проложение с поправкой $d = 79,8 + 0,1 = 79,9$ м.

Определяем горизонтальное проложение для наклонной линии 89,3 м:

$$d = 79,9 + 0,3 = 80,2 \text{ м.}$$

Определим превышение h и горизонтальное проложение с помощью микрокалькулятора "Электроника Б3-18А", $\alpha = + 9^\circ 15'$ $D = 82,3$ м. Последовательность нажатия клавиш для определения h :

$$|C|18,5|F|\sin| = 0,317\ 304;$$

$$|0,317\ 304|x|82,3| = |x|0,5| = 13,057\ 059 = + 13,06 \text{ м.}$$

Последовательность нажатия клавиш для определения d :

$$|C|F|Зап|9,25|F|\cos| = 0,986\ 997;$$

$$|F|\Pi + x^2|F|ИП|x|82,3| = 80,173\ 614 = 80,2 \text{ м.}$$

Из приведенных вычислений видно, что результаты определения по тахеометрическим таблицам и по микрокалькуляторам расхождений не имеют.

По данным табл. 132, в которой приведены величины измеренных углов наклона, по высоте прибора и отсчетам по нитяному дальномеру тахеометра Т30 определить превышение h и горизонтальное проложение d .

221. При наведении средней нити тахеометра Т30 на высоту сигнала (рейки) $v = 3,00$ м измерен угол наклона $\alpha = + 5^\circ 45'$. Разность отсчетов на рейке по дальномерным нитям $n = 76,0$ см. Высота прибора $i = 1,29$ м.

Таблица 132

Вариант	Угол наклона α	Нижний отсчет a , мм	Верхний отсчет b , мм	Вариант	Угол наклона α	Нижний отсчет a , мм	Верхний отсчет b , мм
1	+ 5° 20'	2517	1038	6	- 8° 43'	2036	0953
2	- 6 17	2637	1149	7	- 9 11	2433	1115
3	+ 7 03	1203	1015	8	+ 9 47	2387	1261
4	- 7 56	2114	0984	9	- 10 34	2015	1045
5	+ 8 12	2075	1038	10	+ 11 28	1946	0829

Определить превышение h и горизонтальное проложение d (рис. 44).

Решение:

При визировании на высоту рейки (сигнала) превышение вычисляем по формуле

$$h = 0,5Kn \sin 2\alpha + i - v,$$

где i — высота прибора; v — высота сигнала.

Превышение h и горизонтальное проложение d находим по тахеометрическим таблицам или с помощью микрокалькулятора.

1. По тахеометрическим таблицам Ф.И. Макеева в столбце 5° и строке 45' находим превышение $h = 7,58$ м;

$$h = h_1 + i - v; \quad h = 7,58 + 1,29 - 3,00 = + 5,87 \text{ м.}$$

На этой же странице (справа) находим в строке 5° 30' горизонтальное проложение $d = 75,3$. Поправка на 30' составит 0,1 м, а на 15' — 0,05 м. С учетом поправки $d = 75,30 - 0,05 = 75,25$ м.

2. С помощью микрокалькулятора "Электроника Б3-18А" определяем превышение h .

Последовательность нажатия клавиш:

$$|C|11,5|F|\sin|=|x|76|=|x|0,5|=7,58;$$

$$|7,58|+|1,29|-|3,0|=5,87;$$

$$h = + 5,87 \text{ м.}$$

Определяем горизонтальное проложение d . Последовательность нажатия клавиш:

$$|C|F|3\pi|5,75|F|\cos|=0,994969;$$

$$|F|\Pi+x^2|F|\Pi|x|76|=75,24;$$

$$d = 75,24.$$

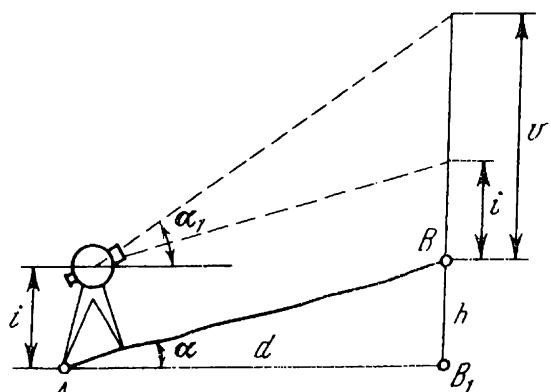


Рис. 44. Схема определения превышения по высоте сигнала

222. При визировании средней нити тахеометра Т30 на высоту сигнала $v = 3,00$ при высоте прибора $i = 1,30$ м измерены угол наклона α_1 и разность отсчетов по дальномерной рейке n , которые приведены в табл. 133. Определить превышение h и горизонтальное проложение d .

Таблица 133

Вариант	Угол наклона α_1	Разность отсчетов n , см	Вариант	Угол наклона α_1	Разность отсчетов n , см
1	+ 3° 20'	73,0	6	+ 7° 29'	92,0
2	+ 5 14	75,5	7	+ 8 03	130,0
3	- 4 18	81,0	8	- 9 47	91,5
4	- 6 53	86,0	9	- 9 12	92,0
5	- 1 51	115,0	10	+ 3 18	105,0

§ 54. ОБРАБОТКА ПОЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

223. При визировании на точку B средней нити тахеометра Т30 со станции A на высоту прибора отсчет по вертикальному кругу составляет при круге лево $\Lambda = 5^\circ 24'$; разность отсчетов по рейке $n = 62,5$ см. Высота станции A $H_A = 265,38$ м. Место нуля вертикального круга $M_0 = 179^\circ 59'$.

Определить высоту точки B .

Решение:

1. Определяем угол наклона $\alpha = \Lambda - M_0 = 5^\circ 24' + 180^\circ - 179^\circ 59' = + 5^\circ 25'$.

2. Пользуясь тахеометрическими таблицами, определяем превышение $h_1 = + 5,81$ м. Поправка в превышение на 0,5 м составляет $\Delta h = 0,04$ м, $h = + 5,81 + 0,04 = + 5,85$ м.

3. Определяем высоту точки B по формуле

$$H_B = H_A + h;$$

$$H_B = 265,38 + 5,85 = 271,23 \text{ м.}$$

224. Определить высоту точки C , если при визировании на нее со станции D тахеометром Т30 получены отсчеты при круге лево Λ и разность отсчетов по дальномерной рейке h , приведенные в табл. 134. Место нуля, вертикального круга $M_0 = 01'$. Высота станции D $H_D = 205,14$ м

225. Обработать полевые материалы тахеометрической съемки трех точек, снятых со станции P , приведенных в табл. 135.

1. Определяем место нуля по формуле $M_0 = (\Pi + \Lambda + 180^\circ) : 2$.

$$M_0 = (175^\circ 32' + 4^\circ 30' + 180^\circ) : 2 = 180^\circ 01' = + 01'.$$

Таблица 134

Вариант	Отсчет по вертикальному кругу Л	Разность отсчетов n , см	Вариант	Отсчет по вертикальному кругу Л	Разность отсчетов n , см
1	3° 26'	61,7	6	2° 56'	86,6
2	2 13	68,4	7	2 01	89,0
3	3 53	72,5	8	3 44	78,5
4	4 23	81,6	9	4 56	75,0
5	4 02	90,3	10	4 33	94,2

2. Определяем угол наклона α на ст. III:

$$\alpha = (\Lambda - \Pi + 180^\circ) : 2 = (4^\circ 30' - 175^\circ 32' + 180^\circ) : 2 = 8^\circ 58' : 2 = + 4^\circ 29';$$

$$\alpha = \Lambda - M_0 = 4^\circ 30' - 0^\circ 01' = + 4^\circ 29';$$

$$\alpha = M_0 - \Pi + 180^\circ = 0^\circ 01' - 175^\circ 32' + 180^\circ = + 4^\circ 29'.$$

3. Определяем угол наклона α_1 на точку 1:

$$\alpha_1 = \Lambda - M_0 = 2^\circ 10' - 0^\circ 01' = + 2^\circ 09'.$$

Определяем угол наклона α_2 на точку 2.

$$\alpha_2 = \Lambda - M_0 = 3^\circ 30' - 0^\circ 01' = + 3^\circ 29'.$$

4. По тахеометрическим таблицам определяем превышение:

$$\text{На Ст. III } h_{C_{\text{ст. III}}} = + 10,36 + 0,03 = + 10,39 \text{ м};$$

$$\text{На т. 1 } h_1 = + 2,53 + 0,02 = + 2,55 \text{ м};$$

$$\text{на т. 2 } h_2 = + 4,94 \text{ м.}$$

С учетом высоты сигнала

$$h_2 = h + i - v;$$

$$h_2 = + 4,94 + 1,25 - 3,00 = + 3,19 \text{ м.}$$

5. По тахеометрическим таблицам определяем горизонтальное проложение d :

$$d_{\text{ст. III}} = 131,2 + 0,3 = 131,5 \text{ м};$$

$$d_1 = 66,9 + 0,6 = 67,5 \text{ м};$$

$$d_2 = 80,7 \text{ м.}$$

Таблица 135

Журнал тахеометрической съемки

№ точек	Разность отсчетов <i>n</i> , см	Горизонталь- ное проложение <i>d</i> , м	Отсчеты	
			горизонталь- ный круг	вертикальный круг
			Станция II, <i>i</i> = 1,25 м.	<i>H_{Ст. II}</i> = 145,62
			Ориентировка на Ст. III	
Ст. III	132,3	131,5	0°00'	4°30'
Ст. III	132,3	131,5	0 00	175 32
1	67,5	67,5	20 15	2 10
2	81,0	80,7	31 06	3 30

6. Определяем высоты точек

$$H_h = H_{Ст.} + h.$$

Высота ст. III

$$H_{Ст. III} = 145,62 + 10,39 = 156,01 \text{ м.}$$

Высота точки 1

$$H_1 = 145,62 + 2,55 = 148,17 \text{ м.}$$

Высота точки 2

$$H_2 = 145,62 + 3,19 = 148,81 \text{ м.}$$

Результаты всех вычислений заносят в журнал тахеометрической съемки (см. табл. 135).

226. Обработать журнал тахеометрической съемки, который приведен в табл. 137. Данные высот станции I взять из табл. 136. Выполнить схему.

Таблица 136

Вариант	Высота станции I <i>H₁</i> , м	Высота прибора <i>i</i> , м	Вариант	Высота станции I <i>H₁</i> , м	Высота прибора <i>i</i> , м
1	263,14	1,30	6	175,03	1,32
2	200,25	1,35	7	144,15	1,36
3	173,11	1,29	8	126,89	1,28
4	155,20	1,26	9	131,92	1,27
5	103,27	1,31	10	150,48	1,33

Угол наклона $\alpha = (\Pi - \Pi) : 2$ $\alpha = MO - \Pi$, $\alpha = \Pi - MO$	Превышение h_1 , м	Высота визирования v , м	Превышение $h = h_1 + i - v$, м	Высота точки H , м

+ 4° 29'	+ 10,39		+ 10,39	156,01
+ 4 29	+ 10,39		+ 10,39	156,01
+ 2 09	+ 2,55		+ 2,55	148,17
+ 3 29	+ 4,94		+ 3,19	148,81

227. Определить допустимую высотную невязку замкнутого тахеометрического хода, в котором 5 станций, фактическая высотная невязка составляет $\Delta h = -0,15$ м, а длина хода 1200 м. Вертикальные углы в ходе не превышают 5° .

Решение:

Определяем предельно допустимую невязку хода по формуле

$$\Delta h = \pm K \sqrt{L} d_{\text{ср}}^{-1},$$

где L — длина хода в км; $d_{\text{ср}}$ — средняя длина стороны хода в км; K — предельная погрешность в превышениях на 1 км хода: при $\alpha < 5^\circ$, $K = \pm 0,3$ м; α от 5° до 7° , $K = \pm 0,4$ м; $\alpha > 7^\circ$, $K = \pm 0,5$ м.

В данном примере $\alpha < 5^\circ$, $K = \pm 0,3$ м.

Определяем среднюю длину хода

$$d_{\text{ср}} = L/n,$$

где n — число станций.

$$d_{\text{ср}} = 1200 : 5 = 240 \text{ м} = 0,24 \text{ км};$$

$$\Delta h_{\text{доп}} = \pm 0,3 \sqrt{1,2 \cdot 0,24} = \pm 0,3 \cdot 0,288 = \pm 0,16 \text{ м.}$$

Фактическая невязка $-0,15 < 0,16$ м, что допустимо.

228. По данным табл. 138 определить допустимую высотную невязку замкнутого тахеометрического хода.

229. Разность высот конечной и начальной точек разомкнутого тахеометрического хода, в котором 4 станции, составляет $\Delta h = +0,14$ м. Длина хода $L = 820$ м. Определить допустимую высотную невязку и сравнить ее с фактической.

Таблица 137

Журнал тахеометрической съемки

Теодолит Т30

№ точек	Разность отсчетов <i>n</i> , см	Горизон- тальное проложе- ние, <i>d</i> , м	Отсчеты		Угол наклона $\alpha = (\text{Л} -$ $- \text{П}) : 2,$ $\alpha = M_0 - \Pi,$ $\alpha = \text{Л} - M_0$	Превыше- ние h_1 , м	Высота визиро- вания <i>v</i> , м	Превыше- ние $h = h_1 +$ $+ i - v$	Высота точки <i>H</i> , м
			гориzon- тальный круг	вертикалъ- ный круг					

Ст. I Ориентировка на ст. II

Ст. II	126,5		0°00'	Л 3°23'					
Ст. II	126,5		0 00	П 176 41					
1	94,0		17 12	Л 4 05					
2	75,6		31 30	П 3 29					

Таблица 138

Вариант	Длина хода L , км	Число станций n	Вертикальные углы α	Вариант	Длина хода L , км	Число станций n	Вертикальные углы α
1	1,1	3	от 5° до 7°	6	0,9	3	до 5°
2	1,2	4	До 5	7	1,0	4	от 5 до 7
3	1,3	4	до 5	8	0,8	3	до 5
4	1,4	4	от 5 до 7	9	1,6	5	от 5 до 7
5	1,5	5	более 7	10	1,7	5	более 7

Решение:

Определяем предельно допустимую невязку хода по формуле

$$\Delta h = \pm (4 d_{cp} \sqrt{n}) \text{ см},$$

где n — число станций хода; d_{cp} — средняя длина линии хода, выраженная в сотнях метров.

Определяем d_{cp} в сотнях метров:

$$d_{cp} = L/n = 8,2 : 4 = 2,05.$$

Определяем предельно допустимую высотную невязку:

$$\Delta h_{\text{доп}} = \pm (4 \cdot 2,05 \sqrt{4}) = \pm 16,4 \text{ см.}$$

Фактическая невязка хода + 14 см допустима, так как она не превышает предельную 16 см.

230. Определить допустимую невязку $\Delta h_{\text{доп}}$ разомкнутого тахеометрического хода, длина и число станций которого указаны в табл. 139.

Таблица 139

Вариант	Длина хода L , м	Число станций n	Вариант	Длина хода L , м	Число станций n
1	829	5	6	684	3
2	954	5	7	705	4
3	1050	5	8	819	5
4	763	4	9	886	6
5	810	5	10	912	6

Глава XVIII. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА ПО ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

§ 55. ЗАДАНИЕ № 4. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА С ГОРИЗОНТАЛЯМИ ПО МАТЕРИАЛАМ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ НА ОСНОВЕ ПРОЛОЖЕННЫХ НА МЕСТНОСТИ ОПОРНЫХ ПЛАНОВО-ВЫСОТНЫХ ХОДОВ (СМ. ЗАДАНИЕ № 1)

1. Обработать журнал тахеометрической съемки (табл. 140), вычислив превышения, высоты станций и реечных точек разомкнутого тахеометрического хода. Высота станций I и II и дирекционные углы стороны I – II взять из табл. 141.
2. По данным журнала тахеометрической съемки вычертить план разомкнутого тахеометрического хода и реечных точек. Масштаб 1 : 1000.
3. Построить горизонтали на плане способом графической интерполяции. Сечение рельефа через 1,0 м.
4. Нанести ситуацию, пользуясь абрисом (рис. 45).
5. Оформить план на основании задания № 1 согласно принятым условным знакам по прилагаемому образцу (рис. 46).

§ 56. ОБРАБОТКА ЖУРНАЛА ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Пример. Обработать журнал тахеометрической съемки для Ст. I по следующим исходным данным: журнал тахеометрической съемки (см. табл. 140); высота I станции $H_{\text{ст. I}} = 42,5$ м; дирекционный угол $\alpha_{\text{I} - \text{II}} = 41^\circ 30'$.

1. Определяем место нуля на каждой станции:

Для теодолита Т30

$$\text{МО} = (\text{Л} + \text{П} + 180^\circ) : 2$$

Для Ст. I при наведении на Ст. II

$$\text{МО} = (2^\circ 08' + 177^\circ 52' + 180^\circ) : 2 = 180^\circ = 0^\circ 00'.$$

2. Вычисляем углы наклона, измеренные со Ст. I (при работе с теодолитом Т30), при наведении на Ст. II:

$$\begin{aligned}\alpha &= (\text{Л} - \text{П} + 180^\circ) : 2; \quad \alpha_4 = (2^\circ 08' - 177^\circ 52' + 180^\circ) : 2 = \\ &= + 2^\circ 08',\end{aligned}$$

при наведении на высотные точки со Ст. I:

$$\alpha = \text{Л} - \text{МО}; \quad \alpha = \text{МО} - \text{П} - 180^\circ;$$

$$\alpha_1 = 1^\circ 24' - 0^\circ 00' = + 1^\circ 24';$$

$$\alpha_2 = 179^\circ 42' - 180^\circ = - 0^\circ 18';$$

Таблица 140

№ точек наблюдения	Разность отсчетов i , см	Горизон- тальное проло- жение d , м	Отсчеты		Угол наклона α	Превы- шение h , м	Высота визиро- вания v	Превыше- ние $h = h_1 +$ $+ i - v$, м	Высота точки H	Примечание						
			гори- зонталь- ный круг	верти- кальный круг												
Станция I $i = 1,30$					$MO = 0^{\circ}00'$					Теодолит Т 30						
Ориентировка на Ст. II																
Ст. II	72,6		0°00'	2°08'				$v = i$								
Ст. II	72,6		0 00	177 52				$v = i$								
1	46,2		14 00	1 24				$v = i$								
2	139,0		37 15	179 42				$v = i$								
3	143,2		62 22	178 42				$v = i$		Граница пашни						
4	64,10		93 10	178 16				$v = i$								
5	50,0		296 14	5 09				$v = i$								
Станция II $i = 1,26$					$MO = 0^{\circ}00'$											
Ориентировка на Ст. III																
Ст. III	128,0		0°00	1°15'				$v = i$								
Ст. III	128,0		0 00	178 45				$v = i$								
6	28,5		30 40	175 48				$v = i$								
7	16,0		209 05	4 36				$v = i$		Граница пашни						
8	76,0		277 16	3 47				$v = i$		Грунтовая дорога						
9	31,10		313 22	1 52				$v = i$		Угол здания						

Продолжение табл. 140

№ точек наблюде- ния	Разность отсчетов n , см	Горизон- тальное проло- жение d , см	Отсчеты		Угол наклона α	Превы- шение h , м	Высота визиро- вания v	Превыше- ние $h = h_1 +$ $+ i - v^1$, м	Высота точки H	Примечание
			гори- зонталь- ный круг	верти- кальный круг						

Ст. III $i = 1,32$ $MO = 0^\circ 00'$

Ориентировка на ст. II

Ст. II	128,0		0°00'	178°45'				$v = i$		
Ст. II	128,0		0 00	1 15				$v = i$		
10	46,1		23 14	0 16				$v = i$		
11	84,1		29 09							
12	80,5		42 30	1 01				$v = i$		
13	45,1		53 02							
14	32,3		290 18	175 32				$v = i$		
15	68,0		354 03	178 43				$v = i$		

Грунтовая
дорога
Опора ЛЭП
Опора ЛЭП

Таблица 141

Дирекционные углы стороны I – II и высоты станции I – III

Вариант	Дирек- цион- ный угол α_{I-II}	Высоты станций		Вариант	Дирек- цион- ный угол α_{I-II}	Высоты станций	
		H_I	H_{III}			H_I	H_{III}
1	10°10'	71,56	77,05	16	31°43'	92,43	97,92
2	11 16	72,22	77,71	17	31 50	93,55	99,04
3	12 15	73,44	78,93	18	33 18	94,07	99,56
4	13 30	74,56	80,05	19	35 06	95,98	101,47
5	15 26	75,83	81,32	20	37 14	96,13	101,62
6	17 34	76,03	81,52	21	39 02	97,21	102,70
7	18 56	77,79	83,28	22	40 48	98,52	104,01
8	19 03	78,84	84,33	23	43 19	99,03	104,52
9	20 16	79,06	84,55	24	44 07	100,05	105,54
10	21 22	80,55	86,04	25	45 26	101,50	106,99
11	22 41	81,31	86,80	26	46 52	102,54	108,03
12	24 15	82,67	88,16	27	47 13	102,37	107,86
13	25 19	83,24	88,73	28	36 08	103,22	108,71
14	30 11	90,01	95,50	29	34 47	104,73	110,22
15	28 28	91,18	96,67	30	35 30	105,16	110,64

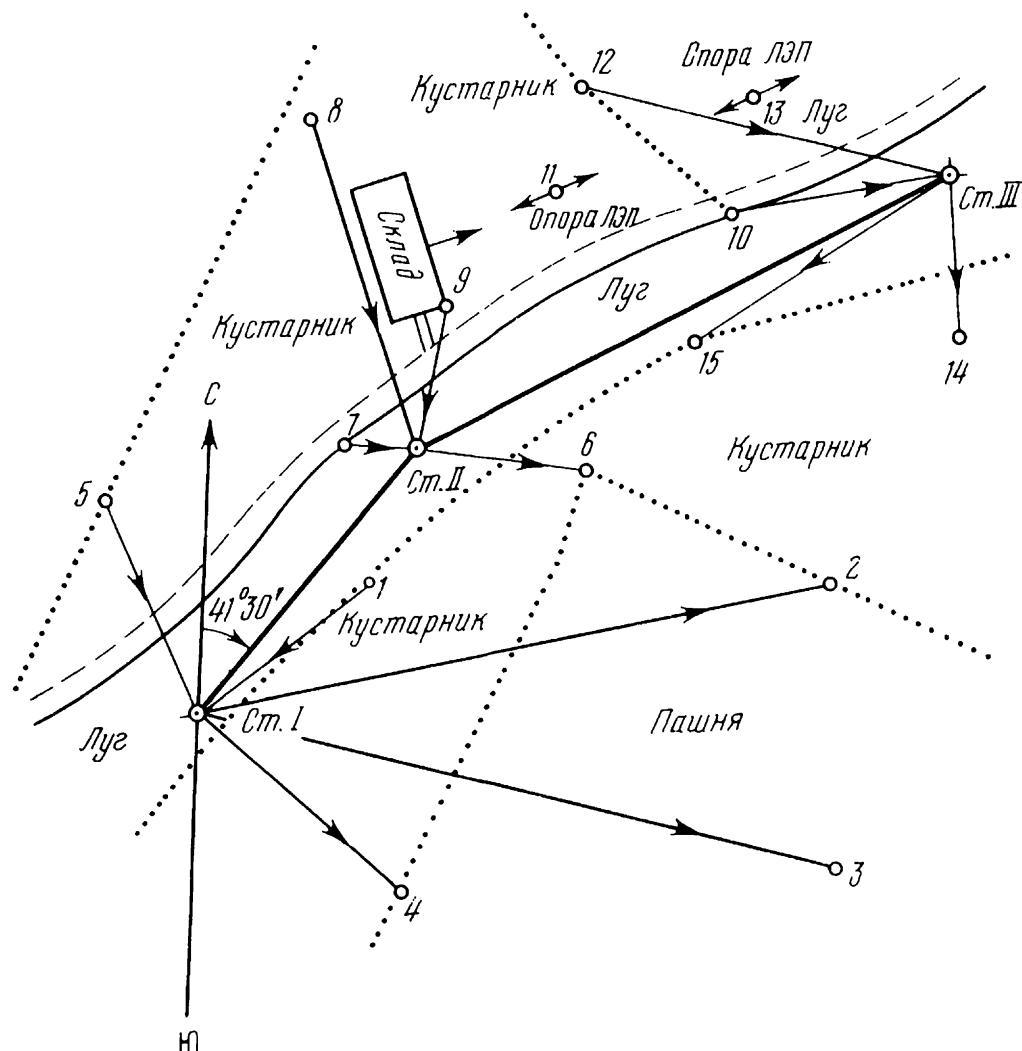


Рис. 45. Абрис

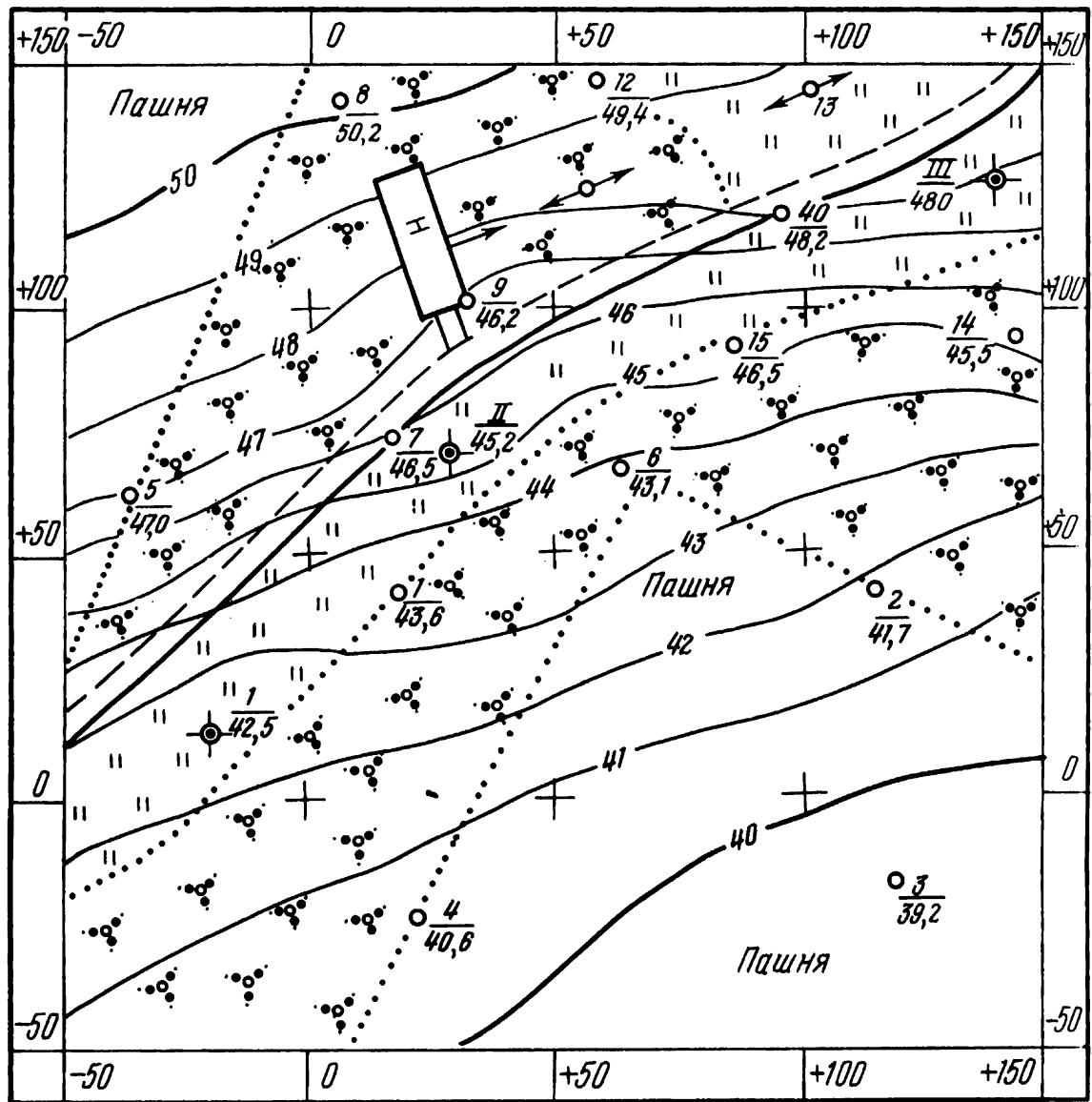


Рис. 46. План с горизонталями

$$\alpha_3 = 178^\circ 42' - 180^\circ = -1^\circ 18';$$

$$\alpha_4 = 178^\circ 16' - 180^\circ = -1^\circ 44';$$

$$\alpha_5 = 5^\circ 09' - 0^\circ 00' = +5^\circ 09'.$$

3. По разности отсчетов n между дальномерными нитями определяют горизонтальные проложения до высотных (речевых) и ситуационных точек, пользуясь тахеометрическими таблицами или микрокалькулятором, по формуле

$$d = Kn \cos^2 \alpha;$$

$$d_{\text{ст. II}} = 100 \cdot 72,6 \cos^2 2^\circ 08' = 72,6 \cdot 0,998614 = 72,499 = 72,5 \text{ м};$$

$$d_1 = 100 \cdot 46,2 \cos^2 1^\circ 24' = 46,2 \cdot 0,999404 = 46,17 = 46,2 \text{ м};$$

$$d_2 = 100 \cdot 139,0 \cos^2 0^\circ 18' = 139 \cdot 0,999972 = 138,996 = 139,0 \text{ м};$$

$$d_3 = 100 \cdot 143,2 \cos^2 1^\circ 18' = 143,2 \cdot 0,999486 = 143,12 = 143,1 \text{ м},$$

$$d_4 = 100 \cdot 64,1 \cos^2 1^\circ 44' = 64,1 \cdot 0,9990862 = 64,04 = 64,0 \text{ м};$$

$$d_5 = 100 \cdot 50,0 \cos^2 5^\circ 09' = 50,0 \cdot 0,9919422 = 49,597 = 49,6 \text{ м}.$$

Полученные данные заносят в журнал тахеометрической съемки.

4. Определяем превышения с помощью тахеометрических таблиц или микрокалькулятора по формуле

$$h = 0,5Kn \sin 2\alpha;$$

$$h_{\text{ст. II}} = 0,5 \cdot 100 \cdot 72,6 \sin 4^\circ 16' = 0,5 \cdot 72,6 \cdot 0,074387 = 2,70 \text{ м};$$

$$h_1 = 0,5 \cdot 100 \cdot 46,2 \sin 2^\circ 48' = 0,5 \cdot 46,2 \cdot 0,04885 = 1,12 \text{ м};$$

$$h_2 = 0,5 \cdot 100 \cdot 139,0 \sin 0^\circ 36' = 0,5 \cdot 139,0 \cdot 0,010472 = 0,73 \text{ м};$$

$$h_3 = 0,5 \cdot 100 \cdot 143,2 \sin 2^\circ 36' = 0,5 \cdot 143,2 \cdot 0,045363 = 3,25 \text{ м};$$

$$h_4 = 0,5 \cdot 100 \cdot 64,10 \sin 3^\circ 28' = 0,5 \cdot 64,1 \cdot 0,1171844 = 3,75 \text{ м};$$

$$h_5 = 0,5 \cdot 100 \cdot 50,0 \sin 18^\circ 10' = 0,5 \cdot 50,0 \cdot 0,178802 = 4,47 \text{ м}.$$

Полученные данные заносим в журнал тахеометрической съемки.

Превышения $h = h_i + v$ остаются без изменений, так как на ст. I

$v = i$.

5. Высоты речных точек вычисляем по формуле

$$H_n = H_{\text{ст.}} + h,$$

где H_n – высота речной точки, снятой с данной станции; $H_{\text{ст.}}$ – высота станции, с которой снята данная точка; h – превышение точки n над станцией.

$$H_{\text{ст. II}} = H_{\text{ст. I}} + h_{\text{ст. I}} = 42,50 + 2,70 = 45,20 \text{ м};$$

$$H_1 = H_{\text{ст. I}} + h_1 = 42,50 + 1,12 = 43,62 \text{ м};$$

$$H_2 = H_{\text{ст. I}} + h_2 = 42,50 - 0,73 = 41,77 \text{ м};$$

$$H_3 = H_{\text{ст. I}} + h_3 = 42,50 - 3,25 = 39,2 \text{ м};$$

$$H_4 = H_{\text{ст. I}} + h_4 = 42,50 - 1,94 = 40,56 \text{ м};$$

$$H_5 = H_{\text{ст. I}} + h_5 = 42,50 + 4,47 = 46,97 \text{ м}.$$

Вычисленные значения высот точек заносим в журнал тахеометрической съемки (табл. 142).

Аналогично производят вычисления по другим станциям (II – III) задания. При вычислительной обработке станции III для ситуационных точек № 11 и 13 вычисляют только горизонтальные проложения.

Таблица 142

Журнал тахеометрической съемки

№ точек наблюдения	Разность отсчетов n , см	Горизон- тальное проложе- ние d , м	Отсчеты		Угол наклона α	Превы- шение h_1 , м	Высота визиро- вания v , м	Превы- шение $h = h_i +$ $+ i - v$	Высота точки H , м	Примечание
			гори- зонталь- ный круг	верти- каль- ный круг						

Ст. I $i = 1,30$ $H_{\text{ст. I}} = 42,50$ м $M0 = 0^\circ 00'$ $\alpha_{\text{I} - \text{II}} = 41^\circ 30'$

Ориентировка на ст. II

Ст. II	72,6	72,5	$0^\circ 00'$	$2^\circ 08'$	$2^\circ 08'$	+ 2,70		+ 2,70	45,20	Теодолит Т 30
Ст. II	72,6	72,5	0 00	177 52	2 08	+ 2,70		+ 2,70	45,20	№ 256 378
1	46,2	46,2	13 00	1 24	1 24	+ 1,12		+ 1,12	43,62	Граница кустарника
2	139,0	139,0	37 15	179 42	- 0 18	- 0,73		- 0,73	41,77	Граница пашни
3	143,20	143,10	62 22	178 42	- 1 18	- 3,25		- 3,24	39,25	3-я вершина теодолитного хода
4	64,10	64,0	93 10	178 16	- 1 44	- 1,94		- 1,93	40,56	Граница пашни
5	50,0	49,0	296 14	5 09	+5 09	+ 4,77		+ 4,97	46,97	Граница пашни

Ст. II $i = 1,26$ $H_{\text{ст. II}} = 45,20$ $M0 = 0^\circ 00'$

Ориентировка на ст. III

 $\alpha_{\text{II} - \text{III}} = 63^\circ 10'$

Ст. III	128,0	127,90	0°00'	1°15'	+ 1°15'	+ 2,79		+ 2,79	47,99	
Ст. III	128,0	127,90	0 00	178 45	+ 1 15	+ 2,79		+ 2,79	47,99	
6	28,5	28,3	30 40	175 48	- 4 12	- 2°08'		- 2,08	43,12	Граница пашни
7	16,0	15,9	209 05	4 36	+ 4,36	+ 1 29		+ 1,29	46,49	Ось грунтовой дороги
8	76,0	75,7	277 16	3 47	+ 3 47	+ 5 02		+ 5,02	50,22	Точка теодолит- ного хода
9	31,10	31,10	313 22	1 52	+ 1 52	+ 1 01		+ 1 ,01	46,21	Угол здания

Ст. III $i = 1,32$

$H_{\text{ст. III}} = 47,99$

$M_0 = 0^{\circ}00'$ $\alpha_{\text{III-II}} = 243^{\circ}10'$

Ориентировка на ст. II

Ст. II	128,0	127,90	0°00'	178°45'	- 1°15'	- 2,79		- 2,79	45,20	
Ст. II	128,0	127,90	0 00	1 15	- 1 15	- 2,79		- 2,79	45,20	
10	46,1	46,1	23 14	0 16	+ 0 16	+ 0,21		+ 0,21	48,20	Ось дороги
11	84,1	-	29 09	-	-	-		-	-	Опора ЛЭП
12	80,5	80,5	42 30	1 01	+ 1 01	+ 1,43		+ 1,43	49,42	Граница кустарни- ка
13	45,1	-	53 02	-	-	-		-	-	Опора ЛЭП
14	32,3	32,1	290 18	175 32	- 4 26	- 2,50		- 2,50	45,49	
15	68,0	68,0	354 03	178 43	- 1 17	- 1,52		- 1,52	46,47	Граница луга

§ 57. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНА С ГОРИЗОНТАЛЯМИ ПО МАТЕРИАЛАМ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

1. На листе заданного формата наносим координатную сетку на основании задания № 1, диагональный ход в котором принят как тахеометрический ход в задании № 4.

2. Наносим на план опорные точки теодолитного и тахеометрического ходов.

3. По горизонтальным углам и горизонтальным проложениям, взятым из журнала тахеометрической съемки, наносим на план речные и ситуационные точки, снятые с каждой станции полярным способом.

4. Около каждой речной точки делаем надпись в виде дроби: числитель — номер точки, а знаменатель — высота точки.

5. Пользуясь абрисом, условными знаками наносим контуры и содержание ситуации.

6. По высотам станций и точек способом графической интерполяции выполняем построение горизонталей с сечением рельса через 1 м.

6.1. Для этого соединяем все точки, снятые с одной станции, прямыми линиями по направлениям стрелок, указанных в абрисе. На сторонах каждого полученного треугольника наносим положение горизонталей способом графической интерполяции.

6.2. Построение выполняем на миллиметровой бумаге или кальке. На кальке наносят ряд параллельных линий на расстоянии 3 — 4 мм (рис. 47). У концов построенных линий надписываем высоты через 1 м.

6.3. Чтобы найти положение горизонталей, например на линии 1 — 4 (с высотами 42,5 и 40,56), накладываем кальку на прямую 1 — 4 так, чтобы положение точек 1 и 4 соответствовало их высотам (см. рис. 47). Пересечение прямой 1 — 4 с линиями кальки и будет соответствовать положению горизонталей с высотами 41 (*m*) и 42 (*n*).

6.4. Плавными кривыми (горизонталями) соединяем точки с одинаковыми высотами. Горизонтали обводим тонкими линиями, толщиной 0,1 мм, светло-коричневого цвета. Высоты горизонталей надписывают тем же цветом, в разрывах горизонталей, цифры располагают так, чтобы их верх был обращен к вершине ската. Горизонтали, кратные 10, обводят в 2,5 раза толще обычных.

7. План оформляют в туши. В учебных целях на плане участка местности, составленном по материалам тахеометрической съемки, сохраняют положение станции и речных (высотных) точек, их номера и высоты, пример оформления плана приведен на рис. 46.

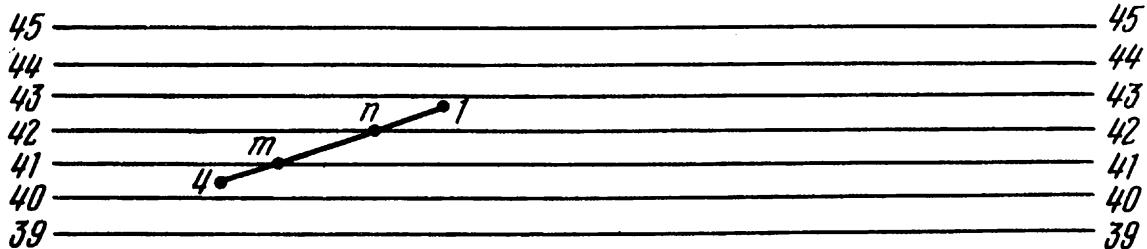


Рис. 47. Схема построения горизонталей способом графической интерполяции

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

Глава XIX. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРИВЫХ

§ 58. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРИВЫХ КООРДИНАТАМИ ОТ ТАНГЕНСА

Цель данной работы — найти на местности и закрепить точки кривой с определенным расстоянием между ними — 5, 10, 20 м. Расстояние между точками разбивки кривой либо задается, либо принимается исполнителем работ.

Железнодорожные кривые разбиваются при радиусе более 600 м через 20 м, при радиусе менее 600 м — через 10 м.

Необходимые данные для детальной разбивки кривых подбираются по специальным таблицам.

В настоящее время наиболее часто применяются: 1. Д.И. Власов, В.Н. Логинов "Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах", Транспорт, 1968 (в дальнейшем "Таблицы Власова"). 2. В.Н. Ганьшин, Л.С. Хренов "Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых", "Недра", 1985.

В таблицах приводятся подробные теоретические и методические пояснения с примерами расчетов, с которыми необходимо обязательно ознакомиться.

Существует несколько способов детальной разбивки кривых. Способ прямоугольных координат от тангенса: необходимые пояснения с примером были даны при рассмотрении вопроса — вынос пикетов на кривую (см. § 40). Отличие заключается только в определении K — расстояния от начала тангенса до точки на кривой.

В данном случае, если требуется разбить кривую через K (м), то расстояние от начала тангенса до точки на кривой будет $K_1 = K$, $K_2 = 2K$, $K_3 = 3K \dots K_i = iK$.

231. Определить координаты ($K - x$) и y для детальной разбивки круговой кривой через 20 м, если $\alpha = 15^\circ 34'$, $R = 800$ м. По таблицам определяем элементы кривой:

$$\text{Таблицы Власова } T = 109,23 + 0,12 = 109,35 \text{ м;}$$

$$\text{с. 214 } K = 217,12 + 0,23 = 217,35 \text{ м;}$$

$$B = 7,42 + 0,02 = 7,44 \text{ м.}$$

$$\text{Таблицы Ганьшина } T_{1000} = 136,69 \text{ м;}$$

$$\text{с. 29 } K_{1000} = 271,69 \text{ м;}$$

$$B_{1000} = 9,30 \text{ м.}$$

$$A = \frac{800}{1000} = 0,8.$$

$$T_{800} = 0,8 \cdot 136,69 = 109,35 \text{ м};$$

$$K_{800} = 0,8 \cdot 271,69 = 217,35 \text{ м};$$

$$B_{800} = 0,8 \cdot 9,30 = 7,44 \text{ м.}$$

Далее из таблицы выписываем значения координат (таблицы Власова – с. 468, Ганьшина – с. 268). Искомые координаты заносим в таблицу (табл. 143).

По табличным данным элементов кривой и координат вычерчиваем схему разбивки половины кривой. Схему вычерчиваем в крупном масштабе. Величину ($K - x$) показываем без масштаба.

Таблица 143

K	$K - x$	y
0	0	0
20	0,00	0,25
40	0,02	1,00
60	0,06	2,25
80	0,13	4,00
100	0,26	6,24
109	0,34	7,41

Таблица 144

Вариант	α	$R, \text{м}$
1	14°43'	600
2	13 37	700
3	12 47	800
4	10 22	1200
5	9 19	1500
6	13 52	600
7	12 55	700
8	11 38	800
9	9 56	1200
10	8 25	1500

Схема разбивки второй половины кривой аналогична первой.

232. По данным табл. 144 определить элементы круговой кривой и координаты для детальной разбивки ее через 20 м (по таблицам). Вычертить в произвольном крупном масштабе схему разбивки половины кривой.

Детальная разбивка круговой кривой с переходными кривыми производится по такой же методике, только координаты определяются по другим таблицам.

233. Определить по таблицам элементы круговой и переходной кривой, координаты для детальной разбивки этой кривой, если $\alpha = 26°16'$, $R = 600$, $l = 140$ м.

По таблицам Власова (с. 273) $T = 139,90 + 0,09 = 139,99$ м;

$K = 274,89 + 0,17 = 275,06$ м; $B = 16,09 + 0,02 = 16,11$ м.

Для переходной кривой $T_p = 0,32$ м, $m = 69,97$ м, $p = 1,36$ м, $B_p = 1,40$ м.

Определяем "суммарные" элементы кривой:

$$T_c = 139,99 + 0,32 + 69,97 = 210,28 \text{ м}; K_c = 275,06 + 140 = 415,06 \text{ м}; \\ B_c = 16,11 + 1,40 = 17,51 \text{ м}.$$

По таблицам Ганьшина (с. 41) $T = 233,32 \cdot 0,6 = 139,99 \text{ м}$; $K = 458,44 \cdot 0,6 = 275,06 \text{ м}$; $B = 26,86 \cdot 0,6 = 16,11 \text{ м}$.

Элементы переходной кривой (таблица II. 1) $\Delta T = T_p + m = 70,28 \text{ м}$; $\Delta B = B_p = 1,40 \text{ м}$.

Из табл. 3 (Власова), с. 420 выписываем координаты для разбивки кривой через 20 м (табл. 145).

Таблица 145

K	$K - x$	y	K	$K - x$	y'
20	0,00	0,02	120	0,09	3,43
40	0,00	0,13	140	0,19	5,44
60	0,00	0,43	160	0,37	8,10
80	0,01	1,02	180	0,65	11,42
100	0,04	1,98	200	1,05	15,39

По таблицам Ганьшина сначала определяются координаты для переходной кривой (с. 403) — они полностью совпадают.

Для определения координат круговой кривой, следующей за переходной, необходимо выполнить несложные расчеты.

Для точки КПК (конец переходной кривой) имеет координаты: $(K - x) = 0,19 \text{ м}$; $y = 5,44 \text{ м}$.

При устройстве переходной кривой круговая кривая сдвигается на величину r , м и укорачивается с каждой стороны на $l/2$ (см. рис. 29). Теоретическое начало круговой кривой находится от точки НПК (начала переходной кривой) на расстоянии m , а действительное начало круговой кривой (точка КПК — НКК) от этой "нулевой точки" будет находиться еще дальше, на расстоянии $l/2$. Следовательно, K для точки НКК (по круговой кривой) имеет значение $K = 140/2 = 70 \text{ м}$. Для этого значения определим координаты для круговой кривой (табл. 1.3, с. 265) $(K - x) = 0,16 \text{ м}$; $y_k = 4,08 \text{ м}$. Как видно на рис. 29, $y_n = y_k + r$. В нашем примере $y_n = 4,08 + 1,36 = 5,44 \text{ м}$. Поправки по оси X имеют разницу: $\Delta = 0,19 - 0,16 = 0,03 \text{ м}$. Эту поправку необходимо прибавить к значениям $(K - x)$, определенным по табл. 1.3. Следовательно, для любой текущей точки на круговой кривой имеем $x_k = K - l/2, \text{ м}$.

Определим координаты для точки $K = 160 \text{ м}$: $x_k = 160 - 70 = 90 \text{ м}$. Для круговой кривой имеем $K - x = 0,34 \text{ м}$ и $y_k = 6,74 \text{ м}$. Тогда при устройстве переходной кривой $(K - x) = 0,34 + 0,03 = 0,37 \text{ м}$; $y_n = 6,74 + 1,36 = 8,10 \text{ м}$.

Для точки $K = 180 \text{ м}$ $x_k = 180 - 70 = 110 \text{ м}$. Для круговой кривой $(K - x) = 0,61 \text{ м}$; $y_k = 10,06 \text{ м}$, а при переходной: $(K - x) = 0,61 + 0,03 = 0,64 \text{ м}$; $y_n = 10,06 + 1,36 = 11,42 \text{ м}$ и т.д.

234. По данным табл. 146 определить элементы круговой и переходной кривой, координаты для разбивки кривой через 20 м. Вычертить в крупном масштабе схему разбивки кривой.

Таблица 146

Вариант	α	$R, \text{м}$	$l_n, \text{м}$	Вариант	α	$R, \text{м}$	$l_n, \text{м}$
1	9°04'	1500	100	6	9°49'	1200	100
2	10°19'	1200	120	7	8°47'	1500	80
3	12°38'	800	140	8	12°37'	700	120
4	13°29'	700	140	9	11°43'	800	120
5	14°22'	600	160	10	13°52'	600	120

§ 59. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРИВЫХ СПОСОБОМ ЗАСЕЧЕК

Этот способ применяется в стесненных условиях и практически выполняется следующим образом.

В точке НК – начала переходной кривой устанавливается теодолит. Нули на лимбе и алидаде совмещаются. Теодолит ориентируется по направлению тангенса и закрепляется. Далее теодолитом отмеряют угол δ_1 и по этому направлению рулеткой или лентой откладывают расстояние a_0 – определена точка k_1 (рис. 48). Отмеряют теодолитом угол δ_2 и, перенеся нуль рулетки в точку k_1 , находят пересечение вертикальной нити сетки нитей теодолита с отсчетом на рулетке, равным a_0 . Работа продолжается далее в той же последовательности. Следовательно, для разбивки кривой этим способом необходимо по таблицам определять углы δ_1 , δ_2 , δ_3 и т.д. в зависимости от радиуса и длины переходной кривой.

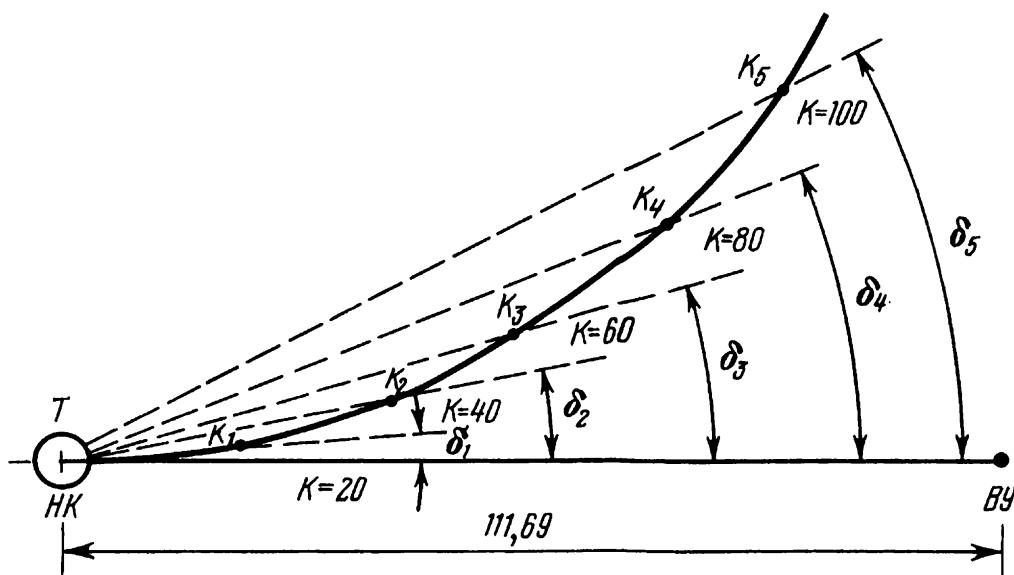


Рис. 48. Схема детальной разбивки кривых способом засечек

235. Определить по таблицам углы δ для разбивки круговой кривой способом засечек, если $\alpha = 25^\circ 11'$, $R = 500$ м.

Определяем элементы круговой кривой

$$T = 111,61 + 0,08 = 111,69 \text{ м}; K = 219,62 + 0,14 = 219,76 \text{ м}.$$

Из таблиц (Власов, с. 507, Ганьшин, с. 311) выписываем искомые углы: $K = 20 \delta_1 = 1^\circ 18,5'$; $K = 40 \delta_2 = 2^\circ 17,5'$; $K = 60 \delta_3 = 3^\circ 26'$; $K = 80 \delta_4 = 4^\circ 35'$; $K = 100 \delta_5 = 5^\circ 43,5'$.

По табличным данным вычерчиваем схему разбивки (см. рис. 48).

236. По данным табл. 147 определить элементы круговой кривой, углы для разбивки способом засечек. Вычертить в крупном масштабе схему разбивки круговой кривой.

Таблица 147

Вариант	α	$R, \text{ м}$	Вариант	α	$R, \text{ м}$
1	$58^\circ 07'$	200	6	$25^\circ 11'$	500
2	$47^\circ 51'$	250	7	$20^\circ 47'$	600
3	$40^\circ 25'$	300	8	$17^\circ 56'$	700
4	$35^\circ 15'$	350	9	$16^\circ 05'$	800
5	$31^\circ 43'$	400	10	$12^\circ 40'$	1000

§ 60. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА КРИВОЙ ПРИ НЕСКОЛЬКИХ УГЛАХ ПОВОРОТА

При большом угле поворота кривой в сложных топографических или ситуационных условиях очень затруднительно или просто невозможно разбить и закрепить на местности вершину угла поворота. Кроме того, при детальной разбивке кривой возникают затруднения, так как в таблицах координаты ($K - x$) и y приводятся для сравнительно небольшого угла поворота. Наконец, для уменьшения объема полевых работ (чтобы избежать выноса пикетов на кривую) проектируют так называемые кратные кривые. В этих случаях большой угол поворота разбивают на несколько малых, т.е. проектируют составную кривую — кривую, состоящую из нескольких кривых одного радиуса (рис. 49).

237. Запроектировать и детально разбить на местности кривую: $\alpha_c = 45^\circ 00'$, $R = 800$ м, $l = 120$ м, НК \approx ПК 35.

Подбираем кратную кривую $K = 200$ м.

По таблицам Власова, с. 213 при $\alpha = 14^\circ 18'$, $K = 199,67$ м; при $\alpha = 14^\circ 21'$, $K = 200,36$ м. Следовательно $\alpha_k = 14^\circ 19,5'$; $K = 199,67 + 0,23 + 0,12 = 200,02$ м.

По таблицам Ганьшина, с. 293 для $R = 400$ имеем $K = 100$, $\alpha_k = 14^\circ 19,5'$. Так как у нас радиус 800 м, то все линейные размеры необходимо увеличить в два раза. Тогда $K = 200$, $\alpha_k = 14^\circ 19,5'$, $T = 2 \times 50,26 = 100,52$ м, $D = 2 \cdot 0,52 = 1,04$ м; $B = 2 \cdot 3,15 = 6,30$ м.

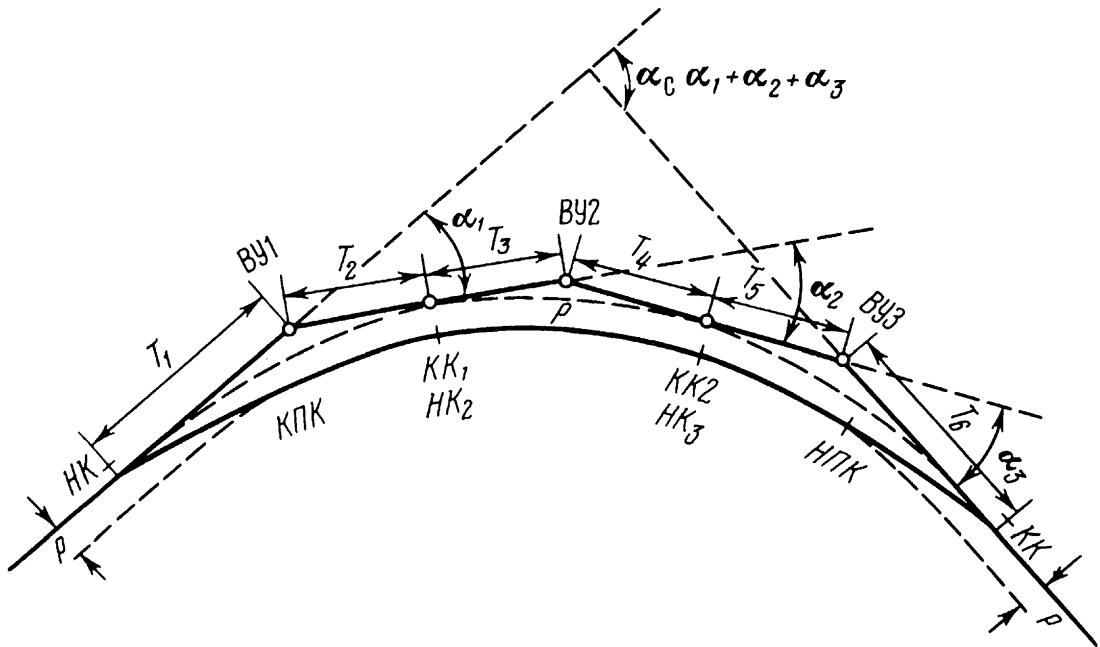


Рис. 49. Схема проектирования и разбивки кратных кривых

Определяем угол поворота третьей, последней кривой:

$$\alpha_3 = \alpha_c - 2 \cdot \alpha_k = 45^\circ 00' - 2 \cdot 14^\circ 19,5' = 16^\circ 21'.$$

По таблицам определяем $T = 114,93$ м; $K = 228,29$ м; $\Delta = 1,56$ м; $B = 8,21$ м.

Определяем элементы переходной кривой: $T_{p'} = 0,09$ м; $m = 59,99$ м; $p = 0,75$ м; $B = 0,76$ м.

Суммарные элементы конечных кривых:

Кривая 1 $\alpha = 14^\circ 19,5'$, (см. рис. 49):

$$T_1 = T + T_p + m = 100,52 + 0,09 + 59,99 = 160,60 \text{ м};$$

$$K_1 = K + 0,5l = 200 + 60 = 260,00 \text{ м};$$

$$\Delta_1 = \Delta + 2T_p - (0,5l - m) = 1,04 + 0,18 - 0,01 = 1,21 \text{ м}.$$

Кривая 3 $\alpha = 16^\circ 21'$:

$$T_5 = T + T_p = 114,93 + 0,09 = 115,02 \text{ м};$$

$$T_6 = T + T_p + m = 115,02 + 59,99 = 175,01 \text{ м};$$

$$K_3 = K + 0,5l = 228,29 + 60 = 288,29 \text{ м};$$

$$\Delta_3 = \Delta + 2T_p - (0,5l - m) = 1,56 + 0,18 - 0,01 = 1,73 \text{ м}.$$

Элементы сдвинутых круговых кривых:

Кривая 2 $\alpha = 14^\circ 19,5'$

$$T_2 = T_3 = T_4 = T + T_p = 100,52 + 0,09 = 100,61 \text{ м};$$

$$K_2 = K = 200,00 \text{ м};$$

$$\Delta_2 = \Delta + 2T_p = 1,04 + 0,18 = 1,22 \text{ м}.$$

$$\text{Биссектрисы для всех кривых: } B_c = B + B_p.$$

$$\text{Кривые 1 и 2 } B_c = 6,30 + 0,76 = 7,06 \text{ м};$$

$$\text{Кривая 3 } B_c = 8,21 + 0,76 = 8,97 \text{ м}.$$

Суммарная длина кривой 1 – 260 м, поэтому назначаем пикет для точки НК ПК 35 + 40 м.

Далее вычисляем пикетаж.

Однако, прежде чем приступить к расчету, рекомендуется проверить определение и расчет элементов кривых по формуле $T_c + T_c - \Delta_c = K$.

Для кривой 1 : $160,60 + 100,61 - 1,21 = 260,00$; $261,21 - 1,21 = 260$ м и т.д.

<i>Кривая 1</i>	<i>Кривая 2</i>	<i>Кривая 3</i>
НК ₁ ПК 35 + 40,00	НК ₂ ПК 38 + 00,00	НК ₃ ПК 40 + 00,00
+ T ₁ 1 + 60,60	+ T ₃ 1 + 00,61	+ T ₅ 1 + 15,02
ВУ ₁ ПК 37 + 00,60	ВУ ₁ ПК 39 + 00,61	ВУ ₃ ПК 41 + 15,02
+ T ₂ 1 + 00,61	+ T ₄ 1 + 00,61	+ T ₆ 1 + 75,01
ПК 38 + 01,21	ПК 40 + 01,22	ПК 42 + 90,03
- Δ ₁ 1,21	- Δ ₂ 1,22	- Δ ₃ 1,73
КК ₁ ПК 38 + 00,00	КК ₂ ПК 40 + 00,00	КК ₃ ПК 42 + 88,30

Контроль вычислений:

НК ₁ ПК 35 + 40,00	НК ₂ ПК 38 + 00,00	НК ₃ ПК 40 + 00,00
+ K ₁ 2 + 60,00	+ K ₂ 2 + 00,00	+ K ₃ 2 + 88,29
КК ₁ ПК 38 + 00,00	КК ₂ ПК 40 + 00,00	КК ₃ ПК 42 + 88,29
- 0,5K ₀ 1 + 00,00	- 0,5K ₀ 1 + 00,00	- 0,5(K ₃ - 0,5K ₀) 1 + 74,14
СК ₁ ПК 37 + 00,00	СК ₂ ПК 39 + 00	СК ₃ ПК 41 + 14,15

Как следует из контрольных расчетов, невязка всего 1 см.

Определяем по таблицам координаты для детальной разбивки этих кривых.

Кривые 1 и 3 – координаты будут одинаковы и определяются по таблицам разбивки переходных и следующих за ними круговых кривых

Кривая 2 – координаты определяются по таблицам для сдвинутых круговых кривых (таблицы Власова) или для круговых кривых с учетом сдвигки от переходной кривой. Координаты в последнем случае определяются по формуле $(K - x)_c = (K - x)_k + (0,5l - m)$ и $y_c = y_k + p$.

Из таблиц Власова (с. 417) имеем для концевых половин кривых 1 и 3 (табл. 148, а и б) (величина K по большему тангенсу $T_6 = 175,01$ м).

Таблица 148

а			б			в		
K	$K - x$	y	K	$K - x$	y	K	$K - x$	y
20	0,00	0,01	100	0,03	1,74	20	0,00	1,00
40	0,00	0,11	120	0,07	3,00	40	0,02	1,75
60	0,00	0,38	140	0,14	4,75	60	0,06	3,00
80	0,01	0,89	160	0,27	6,99	80	0,13	4,75
						100	0,26	6,99

Для всех остальных сдвинутых круговых кривых из таблиц Власова (с. 447) имеем данные, приведенные в табл. 148, в. Следует обратить внимание на то, что при $K = 0$ $y = 0,75$, а это и есть величина сдвигки от переходной кривой $p = 0,75$ м.

Методика определения координат в этом случае по таблицам Ганьшина была объяснена выше.

238. По данным табл. 149 и рис. 49 запроектировать составную кривую, кратную 100 м.

Таблица 149

Вариант	$R, \text{м}$	α_c	$l_n, \text{м}$	$\text{НК} \underset{\cong}{\underset{\cong}{=}} \text{ПК}$	Вариант	$R, \text{м}$	α_c	$l_n, \text{м}$	$\text{НК} \underset{\cong}{\underset{\cong}{=}} \text{ПК}$
1	300	58°	120	15	6	700	60	120	40
2	400	56	100	20	7	600	62	140	45
3	500	54	140	25	8	500	64	100	50
4	600	52	120	30	9	400	66	120	55
5	700	50	140	35	10	300	68	140	60

Определить координаты для разбивки кривой.

Вычертить в крупном масштабе схему составной кривой.

§ 61. ДЕТАЛЬНАЯ РАЗБИВКА СОПРЯЖЕНИЙ УКЛОНОВ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Сопряжение элементов продольного профиля для обеспечения плавности хода поездов осуществляется вертикальными кривыми, радиусы которых зависят от категории железной дороги и устанавливаются нормами проектирования железных дорог.

Для железных дорог I категории – $R_B = 15\ 000$ м, для II и III – $R_B = 10\ 000$ м, для IV – $R_B = 5000$ м.

Основные элементы вертикальных сопрягающихся кривых определяются по следующим формулам:

Тангенс вертикальной кривой: $T_B = R_B \Delta i / 2000$, м.

Биссектриса вертикальной кривой: $B_B = T_B^2 / 2R_B$, м

Координата текущей точки $x : y = x^2 / 2R_B$, м.

Практически координаты для разбивки сопряжения элементов продольного профиля определяются по таблицам (Власов, с. 509, Ганьшин, с. 415 и далее). В таблицах Ганьшина приводятся элементы вертикальных кривых и координаты для их разбивки только для радиуса 1000 м. Следовательно, данные из этих таблиц необходимо умножить при $R_B = 10\ 000$ м на 10, при $R_B = 5000$ м – на 5 и т.д.

В проектные высоты продольного профиля вносится поправка, равная значению ординаты y , причем если вертикальная кривая ниже проектного профиля – поправка вычитается ($-y$), если выше – поправка прибавляется ($+y$).

239. Запроектировать сопряжение элементов продольного профиля (рис. 50). Категория железной дороги – III. Проектная высота $H_1 = 75,25$ м. В соответствии с нормами $R_B = 10\ 000$ м. Тогда

$$T_B = \frac{10\ 000}{2000} \Delta i = 5 \Delta i, \text{ м.}$$

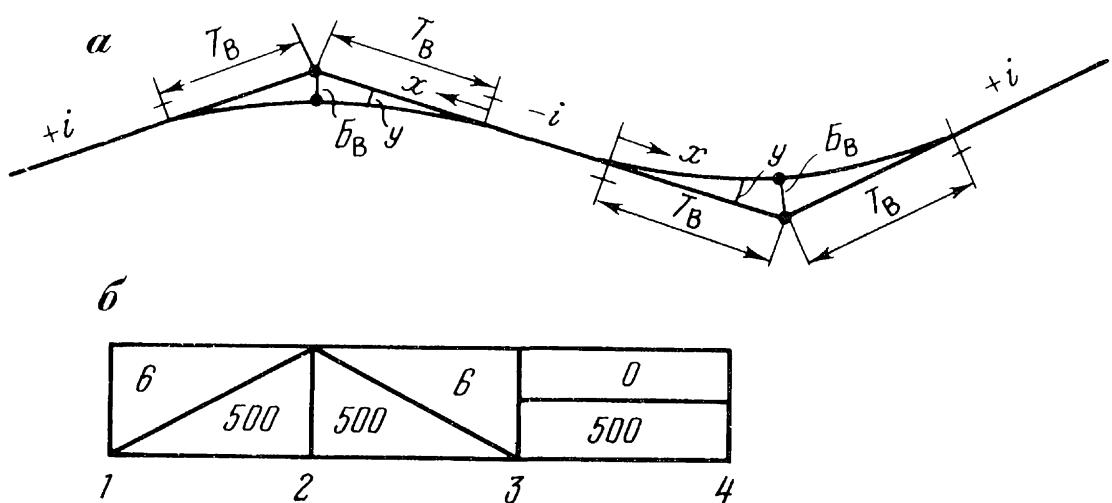


Рис. 50. Схема сопряжения элементов продольного профиля:

а – принципиальная схема; *б* – проектные элементы профиля

Определяем разность (алгебраическую) сопрягаемых уклонов:

$$\text{т. 2 } \Delta i = i_1 - i_2 = (+6) - (-6) = 12\%;$$

$$\text{т. 3 } \Delta i = 6 - 0 = 6\%.$$

Тангенс вертикальной кривой:

$$\text{т. 2 } T_B = 5 \cdot 12 = 60 \text{ м};$$

$$\text{т. 3 } T_B = 5 \cdot 6 = 30 \text{ м}.$$

Определяем биссектрису для точек перелома:

$$\text{т. 2 } B_B = T_B^2 / 2R_B = 60^2 / 2 \cdot 10^4 = 0,18 \text{ м};$$

Таблица 150

Вариант	Уклон и длина элементов			R , тыс. м
	1 – 2	2 – 3	3 – 4	
1	+ 3 — 600	— 7 — 700	— 2 — 800	10
2	+ 5 — 800	— 5 — 600	0 — 700	5
3	+ 8 — 400	— 2 — 300	+ 4 — 600	10
4	+ 7 — 600	— 3 — 400	+ 3 — 300	5
5	+ 6 — 700	— 4 — 400	+ 5 — 600	10
6	— 4 — 800	+ 5 — 400	— 5 — 300	5
7	— 3 — 700	+ 7 — 600	+ 3 — 400	10
8	— 4 — 600	+ 6 — 800	— 2 — 700	5
9	— 5 — 400	+ 5 — 600	— 2 — 300	10
10	— 6 — 400	+ 4 — 300	— 3 — 600	5

$$т. 3 \quad B_{в} = 30^2 / 2 \cdot 10^4 = 0,045 \text{ м.}$$

Определяем проектные отметки точек 2 и 3:

$$H_2 = H_1 + il = 75,25 + 6 \cdot 0,5 = 75,25 + 3,00 = 78,25 \text{ м;}$$

$H_3 = H_1 = 75,25$ м (так как превышение на элемент 2 – 3 равно 3 м только со знаком "минус").

Вносим поправки в проектные отметки:

т. 2 – вертикальная кривая будет ниже проектных линий:

$$H'_2 = H_2 - B_{в} = 78,25 - 0,18 = 78,07 \text{ м;}$$

т. 3 – кривая будет выше проектных линий:

$$H'_3 = H_3 + B_{в} = 75,25 + 0,05 = 75,30 \text{ м.}$$

Для детальной разбивки вертикальных кривых из таблиц выписываем ординаты y через 10 м (Власов, с. 509):

$$K = 10 - y = 0,00; \quad K = 20 - y = 0,02; \quad K = 30 - y = 0,05;$$

$$K = 40 - y = 0,08; \quad K = 50 - y = 0,13; \quad K = 60 - y = 0,18.$$

240. По данным табл. 150 и рис. 50 запроектировать сопряжение элементов продольного профиля. Определить проектные высоты в точках 2 и 3 при устройстве вертикальной сопрягающей кривой, если проектная высота $H_1 = 25,37$ м. Определить по таблицам координаты для разбивки вертикальной кривой. Вычертить в крупном масштабе схему сопряжения элементов продольного профиля.

Глава XX. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

§ 62. ВЫНОС В НАТУРУ ПРОЕКТНЫХ ВЫСОТ ТОЧЕК

Вынос проектных высот отдельных точек производится нивелированием с привязкой к точке, высота которой известна (как правило, к реперу). Задача сводится к тому, что необходимо определить отсчет по рейке (черной стороне), при котором пята рейки (отсчет нуль) будет находиться на проектной искомой высоте.

241. Выставить проектную высоту верха фундамента на обноске (рис. 51, а). Высота репера $P_{II} = 25,375$ м.

Проектная высота фундамента $H_{II} = 24,423$ м. Устанавливаем нивелир и берем отсчет по рейке на репере $a = 1045$. Далее определяем, какой должен быть отсчет по рейке, чтобы пята ее была на проектной высоте. Для этого сначала определяем высоту горизонта прибора: $\Gamma_{II} = P_{II} + a = 25,375 + 1,045 = 26,420$ м. Тогда искомый отсчет для заданной проектной высоты: $c = \Gamma_{II} - H_{II} = 26,420 - 24,423 = 1,997$ м = 1997 мм.

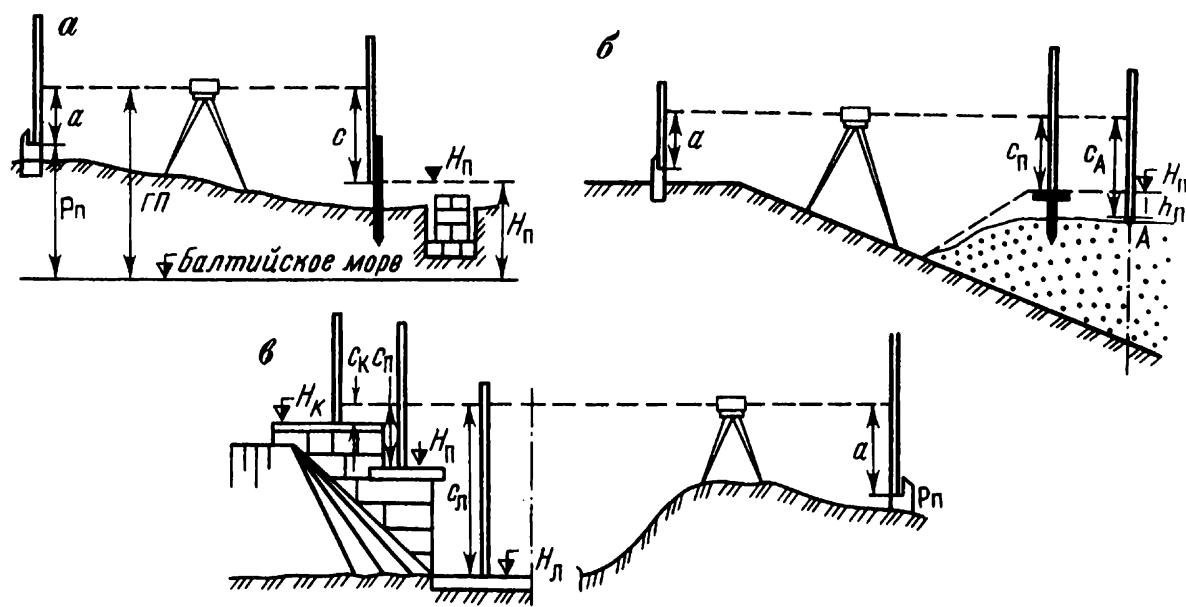


Рис. 51. Схема разбивки и контроля проектных высот:

а – фундамента; *б* – насыпи; *в* – устоя моста

Перемещая рейку вверх (или вниз), останавливаем ее, когда отсчет по рейке будет расчетным – 1997. Пята рейки будет находиться на проектной высоте.

242. По данным табл. 151 определить отсчет по рейке для выноса проектной высоты.

Таблица 151

Вариант	P_n	H_n	Отсчет по рейке <i>a</i>	Вариант	P_n	H_n	Отсчет по рейке <i>a</i>
1	15,737	14,237	0412'	6	61,803	60,585	0948
2	22,145	21,016	0913	7	77,526	76,408	1015
3	34,017	32,825	0716	8	86,413	85,276	1105
4	48,355	47,124	0838	9	90,037	88,972	0973
5	53,672	52,253	0525	10	10,294	8,978	1015

243. В процессе строительства осуществляется контроль за отсыпкой насыпи. Взять отсчет на текущую точку *A* ($c_A = 2747$). Определить оставшуюся величину подъема h_n до проектной высоты. Какой отсчет должен быть на рейке на проектной высоте H_n (рис. 51, *б*)?

Высота $P_n = 25,328$ м; $a = 0425$; $H_n = 24,075$ м.

Решение:

Определяем высоту текущей точки *A*:

$$H_A = P_n + a - c = 25,328 + 0425 - 2,747 = \Gamma_n - 2,747 = 26,178 - 2,747 = 23,431 \text{ м.}$$

Тогда величина подъемки $h_n = 24,075 - 23,431 = 0,644$ м.

Отсчет по рейке на проектной высоте для установки высотника:
 $c_{II} = ГП - H_{II} = 26,178 - 24,075 \text{ м} = 2,103 \text{ м} = 2103$.

Можно сначала определить проектный отсчет c_{II} , а потом величину подъемки: $h_{II} = c_L - c_{II} = 2747 - 2103 = 0,644 \text{ м}$.

244. По данным табл. 152 и рис. 51, б определить оставшуюся величину подъемки h_{II} , отсчет по рейке для установки высотника на проектной высоте H_{II} .

При разбивке и геодезическом контроле строительства можно проверить с одной станции несколько проектных высот.

Таблица 152

Вариант	R_{II}	H_{II}	a	c_A
1	16,247	14,430	0415	2832
2	28,733	26,960	0437	2810
3	38,015	36,170	0452	2897
4	42,264	40,450	0468	2882
5	52,237	55,500	0507	2844
6	66,255	65,540	0518	2833
7	71,772	70,170	0523	2725
8	82,633	80,950	0535	2818
9	95,148	93,470	0588	2866
10	12,775	11,050	0563	2888

245. Известны проектные высоты лотка (H_{JL}), подферменной площадки (H_{II}), кордонного камня (H_K) моста. Необходимо так подобрать задний отсчет, чтобы можно было с одной станции проверить указанные проектные высоты. Практически это означает, что надо так установить нивелир, чтобы можно было взять отсчеты по трем рейкам (рис. 51, в) при условии, что длина рейки 3 м. Высота репера: $R_{II} = 12,250 \text{ м}$.

Проектные отметки: $H_{JL} = 11,050 \text{ м}$, $H_{II} = 12,850 \text{ м}$, $H_K = 13,450 \text{ м}$.

Превышение между кордонным камнем и репером: $13,450 - 12,250 = 1,200 \text{ м}$.

Следовательно, если мы установим прибор таким образом, что отсчет по рейке на репере $a \leq 1200$, то нельзя будет взять отсчет по рейке на кордонном камне. Отсюда отсчет по рейке должен быть $a > 1200$.

С другой стороны, превышение между репером и лотком моста $R_{II} - H_{JL} = 12,250 - 11,050 = 1,200 \text{ м}$. Отсюда, так как длина рейки всего 3 м (3000), то $3000 - 1200 = 1800$ есть предельный отсчет по рейке на репере, при котором мы "увидим" только самый верх рейки в лотке моста, т.е. взять практически отсчет уже не сможем. Таким образом, мы установили пределы возможных отсчетов по рейке на репере $1200 < a < 1800$.

Принимаем отсчет по рейке на репере, средний между предельными, — $a = 1500$ (практически соответственно устанавливаем нивелир). Тогда $\Gamma\Gamma = R_{II} + a = 12,250 + 1,500 = 13,750 \text{ м}$. Далее определяем отсче-

ты на контрольные точки. Кордонный камень: $c_k = 13,750 - 13,450 = 0,300 = 0300$ мм. Лоток: $c_l = 13,750 - 11,050 = 2,700 = 2700$ мм. Подферменная площадка: $c_p = 13,750 - 12,850 = 0,900 = 0900$ мм.

246. По данным табл. 153 и рис. 51, в определить отсчет a по рейке на репере (практически требуется соответствующим образом установить нивелир) с таким расчетом, чтобы можно было построить или проконтролировать проектные высоты H_l , H_p , H_k , для чего необходимо определить контрольные отсчеты по рейкам на проектных высотах.

Таблица 153

Вариант	P_p	H_l	H_p	H_k
1	25,000	23,900	25,500	26,100
2	26,830	25,730	27,330	27,930
3	30,150	29,050	30,650	31,250
4	37,240	36,140	37,740	38,340
5	42,360	41,260	42,860	43,460
6	48,430	47,330	48,930	49,530
7	57,360	56,260	57,860	58,460
8	65,250	64,150	65,750	66,350
9	83,750	82,650	84,250	84,850
10	91,570	90,470	92,070	92,670

§ 63. ПОСТРОЕНИЕ НА МЕСТНОСТИ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ ЗАДАННОГО УКЛОНА

Эта работа может быть выполнена с помощью нивелира или теодолита.

247. С помощью нивелира разбить на местности линию с "нулевым уклоном" – площадку.

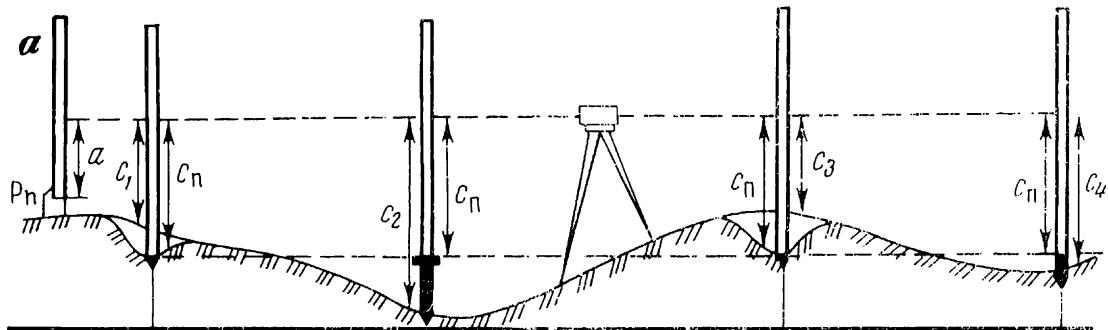
Схема установки прибора и реек приведена на рис. 52, а. Проектная высота площадки $H_p = 25,750$ м. Высота репера $P_p = 26,735$ м.

Берем отсчет на репер $a = 1215$, тогда горизонт прибора ГП = $26,735 + 1,215 = 27,950$ м. Далее определяем проектный отсчет по рейке $c_p = \text{ГП} - H_p = 27,950 - 25,750 = 2,200$ м = 2200 мм. И так как требуется разбить площадку, то, следовательно, на всех точках (1 – 4) отсчет по рейкам должен быть $c_p = 2200$. В тех случаях, когда требуется определить объемы земляных работ по планировке, необходимо вычислить рабочие высоты в точках разбивки. Эта задача может быть решена двумя путями:

1. Известны высоты поверхности земли в точках разбивки. В этом случае $p = H_p - H_z$:

$$\text{т. 1 } p_1 = 25,750 - 26,10 = -0,35 \text{ м};$$

$$\text{т. 2 } p_2 = 25,750 - 25,10 = +0,65 \text{ м};$$



Высота поверхности земли	26,10	25,10	25,25	25,55
Источник	1	2	3	4

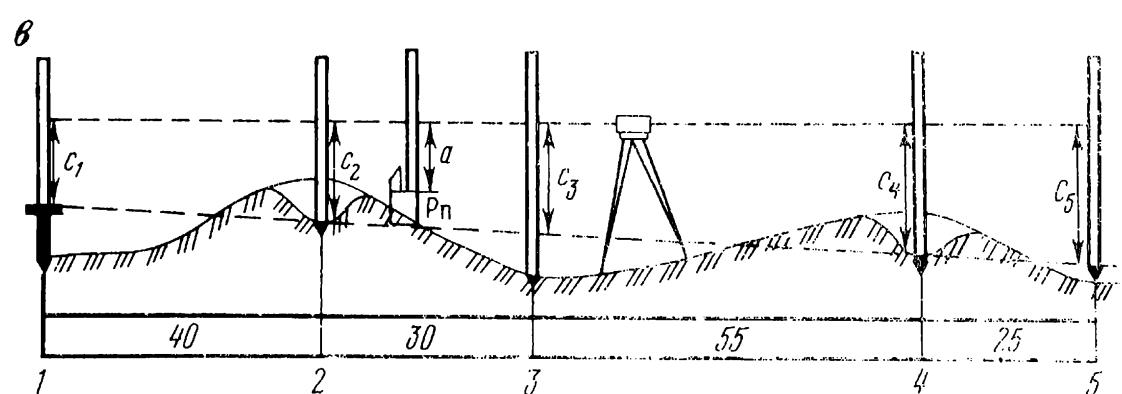
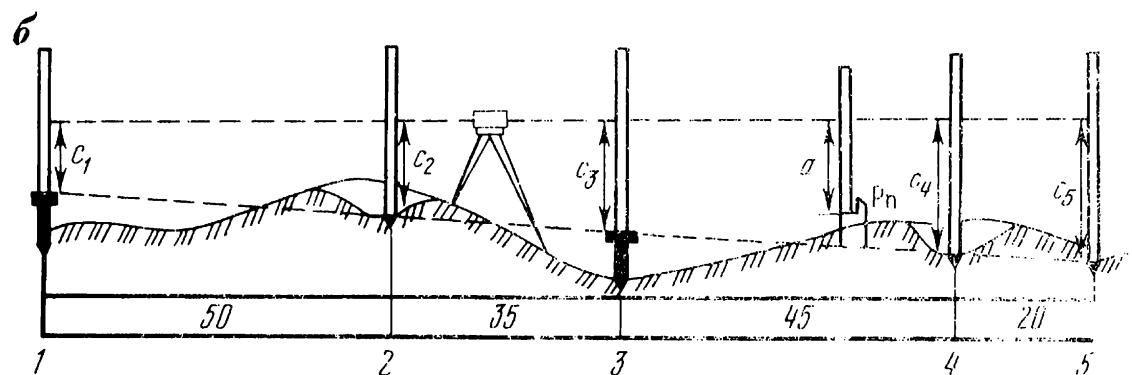


Рис. 52. Схема разбивки проектной линии на местности нивелиром:

a – площадки; *б* и *в* – с проектным уклоном

$$\text{т. } 3 p_3 = 25,750 - 26,25 = -0,50 \text{ м};$$

$$\text{т. } 4 p_4 = 25,750 - 25,55 = +0,20 \text{ м}.$$

2. Если высоты точек разбивки не известны, то необходимо взять отсчеты по рейке высоты поверхности земли в точках разбивки. Тогда рабочая высота в данной точке есть разность отсчетов: $p = c_3 - c_n$.

Предположим: $c_1 = 1850$; $c_2 = 2850$; $c_3 = 1700$; $c_4 = 2400$.

Отсюда рабочие высоты:

$$p_1 = 1850 - 220 = -0350 = -0,35 \text{ м};$$

$$p_2 = 2850 - 2200 = +0650 = +0,65 \text{ м};$$

$$p_3 = 1700 - 2200 = -0500 = -0,50 \text{ м};$$

$$p_4 = 2400 - 2200 = +0200 = +0,20 \text{ м}.$$

248. По данным табл. 154 и рис. 52, а произвести разбивку площадки с проектной высотой $H_{\text{п}}$. Определить рабочие высоты в точках разбивки.

Разбивка линии на местности с заданным уклоном отличается от разбивки площадки только тем, что в зависимости от уклона i и расстояния между точками определяются превышения между ними и вычисляются проектные отсчеты для каждой точки разбивки.

Таблица 154

Вариант	$P_{\text{п}}$	a	$H_{\text{п}}$	c_1	c_2	c_3	c_4
1	15,735	0915	15,000	1015	2345	0985	1500
2	21,335	1025	20,800	1010	2205	0830	1400
3	33,485	0845	32,900	0950	2015	0720	1300
4	47,555	1075	47,000	1100	2250	0950	1550
5	54,625	0965	54,000	1010	2170	0870	1450
6	66,815	1105	66,000	1400	2500	1020	1800
7	75,155	0885	74,500	1020	2250	0850	1400
8	88,025	1095	87,450	1130	2340	0770	1550
9	93,285	0935	92,750	0950	1960	0680	1300
10	19,975	1035	19,000	1500	2610	0930	1950

249. Схема установки прибора и реек, точки разбивки и расстояния между ними приводятся на рис. 52, б.

Произвести разбивку линии на местности с уклоном $i = 8\%$. Высота репера: $P_{\text{п}} = 25,750$ м. Проектная высота точки 3 $H_3 = 24,970$ м.

Берем отсчет на репер $a = 1230$ и определяем горизонт прибора: $\Gamma P = 25,750 + 1,230 = 26,980$ м.

Отсчет по рейке должен быть $c_{\text{п}} = \Gamma P - H_{\text{п}}$. В нашем случае $c_3 = 26,980 - 24,970 = 2,010$ м = 2010 мм. Далее необходимо определить превышение между точками разбивки, причем по направлению 3 – 1 будет подъем и, следовательно, превышения со знаком "плюс", по направлению 3 – 5 – спуск и превышения со знаком "минус".

Превышения определяются по формуле $h = il$ (м), где i – уклон в %, l – расстояние в км.

В нашем случае:

$$\text{т. 2 } h_2 = +8 \cdot 0,035 = +0,28 \text{ м};$$

$$\text{т. 1 } h_1 = +8 \cdot 0,050 = +0,4 \text{ м};$$

$$\text{т. 4 } h_4 = -8 \cdot 0,045 = -0,36 \text{ м};$$

$$\text{т. 5 } h_5 = -8 \cdot 0,020 = -0,16 \text{ м}.$$

Для контроля определяем суммарное превышение по всей линии 1 – 5: $h_c = |8| \cdot 0,150 = |1,20| \text{ м} = 0,28 + 0,40 + 0,36 + 0,16 = 1,20 \text{ м}$.

Определяем проектные отсчеты на точках разбивки: $c_i = c_{\text{пп}} \pm \Delta h$ (мм), где $c_{\text{пп}}$ — отсчет на точку, установленную на проектной высоте. В нашем случае:

$c_2 = c_3 + h_2 = 2010 - 0280 = 1730$ (знак превышения сменился и противоположный, так как определяется не высота точки, а отсчеты по рейкам, которые при подъеме уменьшаются, а при спуске увеличиваются);

$$c_1 = 1730 - 0400 = 1330 \text{ мм}; \quad c_4 = 2010 + 0360 = 2370 \text{ мм}; \quad c_5 = 2370 + 0160 = 2530 \text{ мм}.$$

Для контроля определяем суммарное превышение по всей линии по отсчетам: $c_5 - c_1 = 2530 - 1330 = 1200 \text{ мм} = 1,20 \text{ м}$.

Далее по отсчетам по рейкам разбиваем точки на местности.

250. По данным табл. 155 и рис. 52, в произвести разбивку линии на местности с уклоном $i = 6\%$. Определить рабочие высоты для точек разбивки.

Таблица 155

Вариант	Рп	α	$H_3, \text{м}$	Отсчеты по рейкам на земле в точках				
				1	2	3	4	5
1	95,145	0915	94,560	1900	1320	2210	1230	2080
2	83,255	0825	82,580	2100	1240	2180	1180	2110
3	74,365	1005	73,870	1950	1420	2320	1060	1990
4	65,425	1015	64,940	2050	1170	2260	1210	2210
5	56,535	1025	56,060	1850	1090	2120	1120	2170
6	47,645	1035	47,180	1800	1270	2160	1040	2060
7	38,765	0985	38,250	1970	1250	2220	1260	2240
8	29,875	0975	29,350	2020	1120	2310	1140	2120
9	13,915	0955	13,370	1870	1030	2420	1010	2090
10	92,585	0895	91,980	1680	1110	2270	1220	2130

Разбивка теодолитом на местности линии с определенным уклоном производится по углу, который соответствует уклону и устанавливается на вертикальном круге теодолита.

251. Произвести разбивку теодолитом линии с уклоном $i = 8\%$. Как известно, $i = \operatorname{tg} \alpha = 0,008$.

Определяем значение угла наклона:

$$\operatorname{arctg} 0,008 = 0,4583^\circ = 0,4583 \cdot 60 = 27,5'.$$

Значение угла наклона может быть определено на микрокалькуляторе или по таблицам (Власов, с. 510, Ганьшин, с. 425).

Для нашей задачи угол наклона $\alpha = -0^\circ 27,5'$. Точка 2 ниже точки 1 — спуск, поэтому угол наклона со знаком "минус". Если подъем, то угол наклона имеет знак плюс.

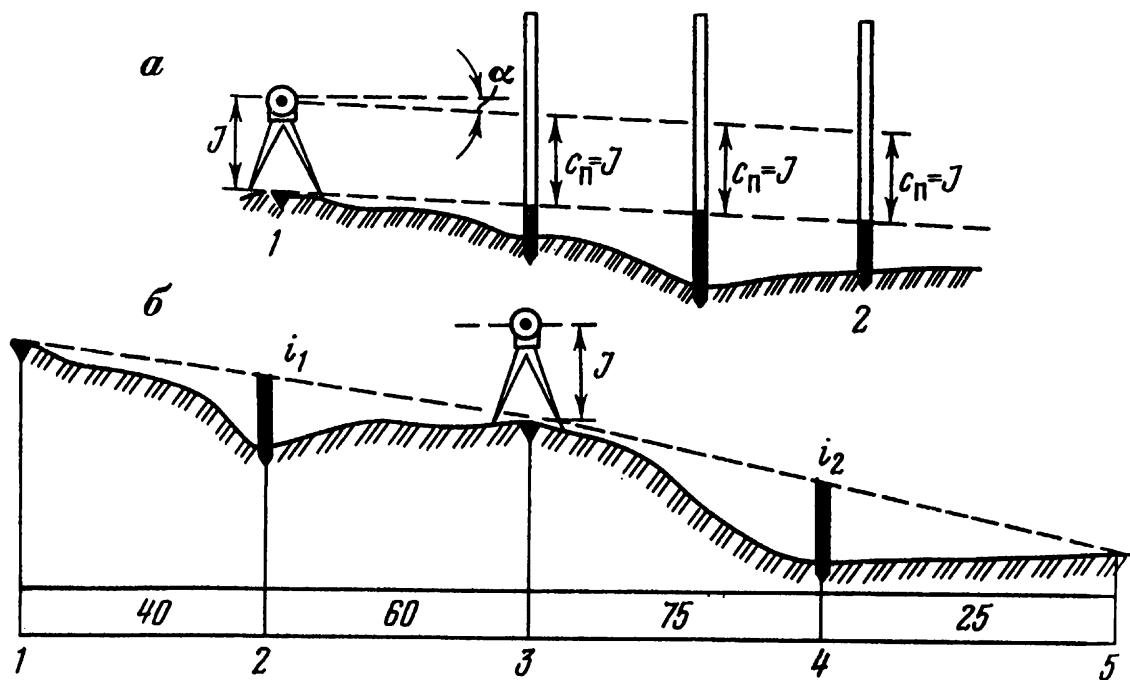


Рис. 53. Схема разбивки проектной линии на местности теодолитом:

а – принципиальная схема; *б* – с проектными уклонаами

Определяем отсчеты по вертикальному кругу, если МО = $0^{\circ}02'$. Отсчет при круге право: КП = МО + α ; КП = $360^{\circ}00' + 0^{\circ}02' + (-0^{\circ}27,5') = 359^{\circ}34,5'$. Отсчет при круге лево: КЛ = МО – α ; КЛ = $0^{\circ}02' - (-0^{\circ}27,5') = 0^{\circ}29,5'$.

Устанавливаем отсчет в зависимости от положения вертикального круга, замеряя высоту прибора $J = 1430$ мм (рис. 53, *а*). Далее последовательно на всех колышках ставим рейку и, подбивая колышек, добиваемся отсчета на рейке $c_n = J = 1430$ мм. Линия заданного уклона разбита на местности. Если требуется определить проектную высоту точки 2, то это можно сделать двумя способами и тем самым проконтролировать расчеты. Проектная высота точки 1 $H_1 = 15,174$ м. Определяем превышение h по уклону $i = 8\%$, а расстояние $1 - 2l = 83$ м; $h = -8 \cdot 0,083 = -0,664$ м. Это же превышение определяем по тахеометрическим таблицам: $\Delta h_T = -0,664$. Тогда проектная высота точки 2 – $H_2 = 15,174 - 0,664 = 14,510$ м.

Таблица 156

Вариант	H_3	J	Уклоны, %		Вариант	H_3	J	Уклоны, %	
			i_1	i_2				i_1	i_2
1	15,25	1127	6	7	6	54,18	1094	7	10
2	24,63	1215	7	6	7	57,73	1167	11	9
3	31,38	1348	9	5	8	64,87	1238	9	11
4	39,19	1473	5	9	9	75,31	1384	11	5
5	42,48	1528	10	7	10	86,59	1494	5	11

252. По данным табл. 156 и рис. 53, б разбить две линии с заданными уклонами при помощи теодолита. Определить по уклонам и тахеометрическим таблицам превышение и проектные высоты точек разбивки.

Вычертить в крупном масштабе схему разбивки линий теодолитом с заданным уклоном.

§ 64. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ СООРУЖЕНИЙ

Определение высоты сооружений, подвески проводов и т.д. — очень частая задача в практике строительства и изысканий, решаемая с помощью теодолита. Имеют место несколько вариантов задач такого типа и, следовательно, их решений.

I. Можно измерить расстояние до сооружения и основание его (или поверхность земли в месте измерения высоты) ниже прибора.

253. Для определения высоты сооружения в поле измеряется: расстояние l от теодолита до сооружения мерной лентой; углы наклона $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ и т.д. (рис. 54, а).

Принимаем $l = 50,00$ м; $\alpha_1 = 5^\circ 35'$; $\alpha_2 = 12^\circ 27'$; $\alpha_3 = 13^\circ 21'$; $\alpha_4 = 4^\circ 30'$.

Определяем горизонтальное проложение по таблицам для $l = 50,00$ м и $\alpha_4 = 4^\circ 30'$. Из таблиц имеем $\Delta d = 15,4$ см. Тогда $d = 50,00 - 0,15 = 49,85$ м.

Определяем высоту стены $h_c = h_1 + h_2 = d \operatorname{tg} \alpha_1 + d \operatorname{tg} \alpha_2$. Для расчета на микрокалькуляторе минуты в углах наклона выражим в долях градуса: $\alpha_1 = 5^\circ + 35/60 = 5,5833^\circ$; $\alpha_2 = 12^\circ + 27/60 = 12,45^\circ$; $\alpha_3 = 13 + 21/60 = 13,35^\circ$.

$$h_1 = 49,85 \cdot \operatorname{tg} 5,5833^\circ = 49,85 \cdot 0,09776 = 4,873 \text{ м};$$

$$h_2 = 49,85 \cdot \operatorname{tg} 12,45^\circ = 49,85 \cdot 0,22078 = 11,006 \text{ м}.$$

Тогда $h_c = 4,873 + 11,006 = 15,878$ м.

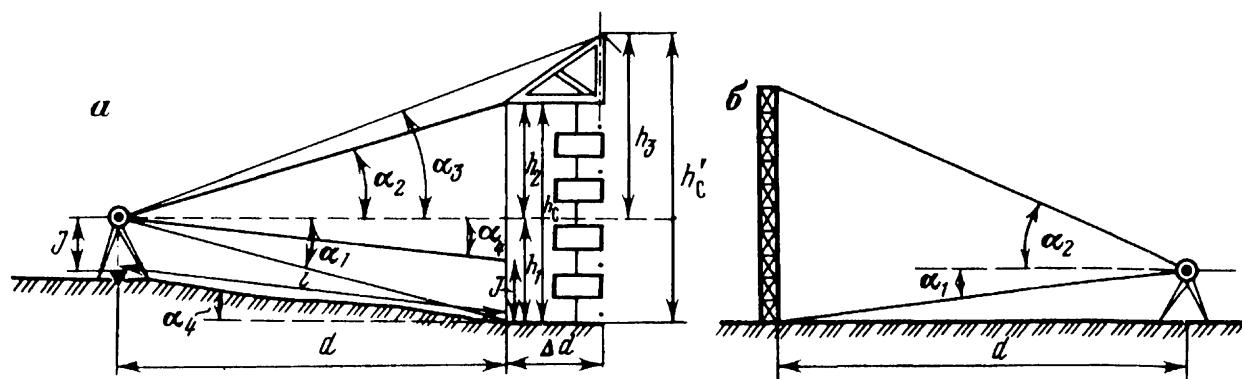


Рис. 54. Схема определения высоты сооружения:

а — здания; *б* — осветительной мачты

Определяем высоту здания. Для этого дополнительно измеряется рулеткой $\Delta d = 10,24$ м. Тогда $h_3 = (d + \Delta d) \operatorname{tg} \alpha_3 = (49,85 + 10,24) \times \operatorname{tg} 13,35^\circ = 60,09 \cdot 0,23731 = 14,260$ м. Общая высота здания $h_c = h_1 + h_3 = 4,873 + 14,260 = 19,133$ м.

254. По данным табл. 157 и рис. 54, б определить высоту осветительной мачты на станции.

Таблица 157

Вариант	α_1		α_2		$d, \text{ м}$
	0	1	0	1	
1	2	23	21	15	35
2	1	52	23	21	40
3	1	47	20	19	45
4	1	16	18	07	55
5	1	09	21	44	60
6	1	58	22	29	35
7	2	03	25	37	40
8	1	35	21	54	45
9	1	27	19	41	55
10	1	12	20	33	60

255. По данным табл. 158 и рис. 55 определить высоту подвески провода в пролете и на опоре.

II. Теодолит располагается ниже основания сооружения.

Таблица 158

Вариант	Высота провода								β	
	в пролете				на опоре					
	α_1		α_2		α_1		α_2			
	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
1	2	27	23	12	1	37	17	46	48	41
2	2	15	22	41	1	31	17	38	48	35
3	2	05	22	58	1	28	17	26	48	39
4	1	57	23	07	1	19	17	23	48	45
5	1	48	23	15	1	25	17	19	48	37
6	1	50	23	20	1	40	17	30	48	46
7	2	00	23	00	1	35	17	33	48	43
8	2	11	22	58	1	26	17	29	48	40
9	2	19	22	40	1	21	17	40	48	38
10	2	30	22	35	1	18	17	22	48	36

256. Для определения высоты водонапорной башни в поле измерены расстояние l от теодолита до сооружения и углы наклона α_1 , α_2 , α_3 . Принимаем для нашего примера $l = 50,00$ м; $\alpha_1 = 3^\circ 38'$; $\alpha_2 = 29^\circ 12'$; $\alpha_3 = 5^\circ 30'$ (рис. 56).

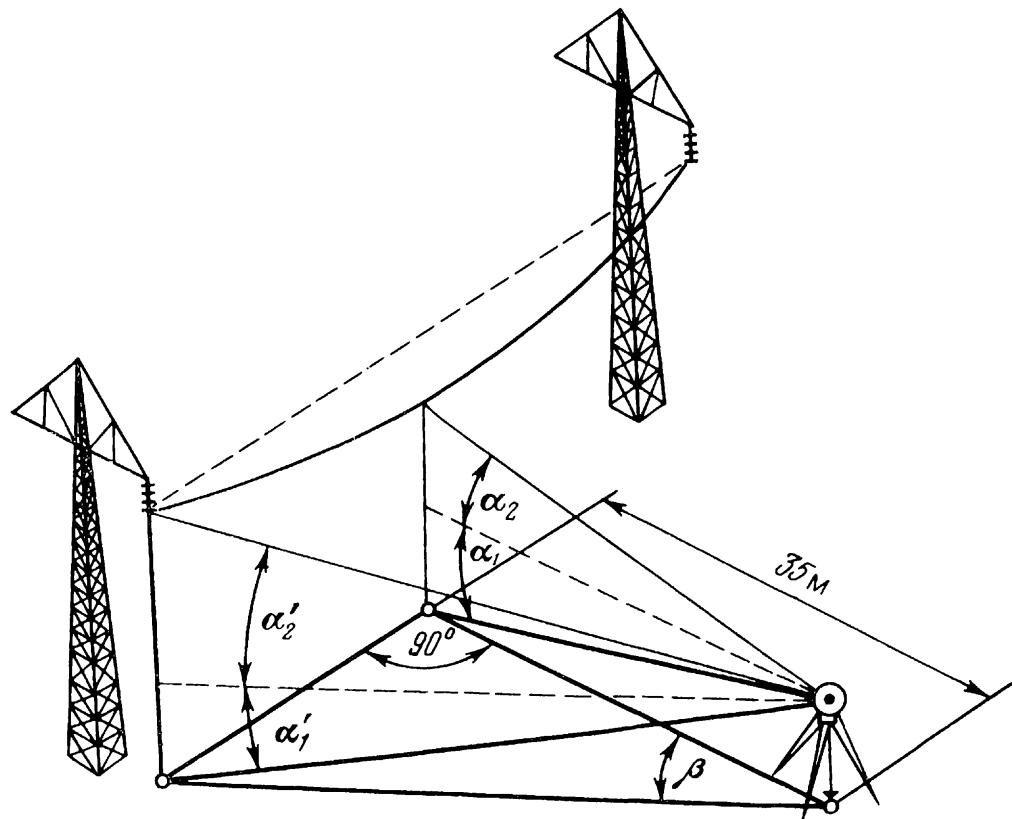


Рис. 55. Схема определения высоты подвески провода

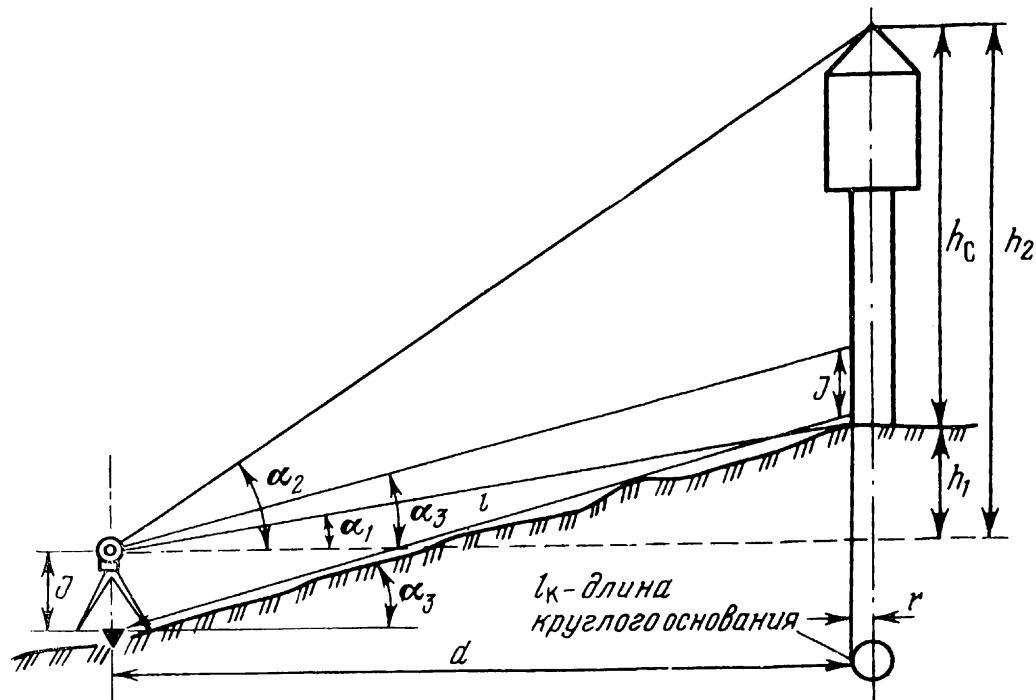


Рис. 56. Схема определения высоты водонапорной башни

Как видно из рис. 56, высота сооружения (h_c) будет определяться по формуле $h_c = h_2 - h_1$ (в первом случае эти две высоты суммировались). Определим отдельно высоты:

$$h_1 = dtg \alpha_1; \quad h_2 = dtg \alpha_2.$$

Определяем по таблицам поправку за наклон $\Delta d = 21,6$ см (при $l = 50$ м, $\alpha_3 = 5^\circ 30'$). Следовательно, горизонтальное проложение $d = 50,00 - 0,22 = 49,78$ м. Определяем $h_1 = 49,78 \cdot \operatorname{tg} \alpha_1 = 49,78 \times \operatorname{tg} 3^\circ 38' = 49,78 \cdot 0,063498 = 3,161$ м.

Для определения высоты h_2 необходимо к горизонтальному проложению линии d прибавить радиус основания водонапорной башни. Для этого рулеткой измеряют длину круга основания башни. Как известно, $l_k = 2\pi r$, отсюда $r = l_k / 2\pi = 0,1591549 \cdot l_k$ (м).

Предположим, длина круга основания башни $l_k = 31,42$ м, тогда $r = 0,1591549 \cdot 31,42 = 5,013$ м. Теперь можно определить искомую высоту $h_2 = (49,78 + 5,01) \operatorname{tg} \alpha_2 = 54,79 \cdot \operatorname{tg} 29^\circ 12' = 54,79 \cdot 0,55888 = 30,621$ м.

Высота водонапорной башни $h_c = h_2 - h_1 = 30,621 - 3,161 = 27,460$ м.

257. По данным табл. 159 и рис. 56 определить высоту водонапорной башни.

Таблица 159

Вариант	α_1		α_2		α_3		l , м	l_k , м
	0	1	0	1	0	1		
1	1	54	24	41	3	30	60	65,34
2	2	05	25	13	4	00	55	64,09
3	3	47	30	23	5	20	35	37,70
4	2	49	28	56	5	00	40	43,98
5	2	10	27	34	4	30	45	47,75
6	2	15	23	44	4	00	60	69,85
7	2	47	25	07	4	30	55	62,83
8	2	53	27	47	5	00	40	46,45
9	3	10	26	16	5	20	45	51,81
10	3	13	32	45	5	40	35	41,63

Объем цилиндрических или шаровых емкостей для хранения жидкых и сыпучих материалов, а также координаты центра таких сооружений определяются на практике с помощью теодолита. Высота таких сооружений определяется обычным способом, необходимые измерения в поле показаны на рис. 57, а и дополнительных пояснений не требуется.

Для определения их радиуса и затем площади, а также координат центра круглых сооружений (точки C на рис. 57, б):

по вертикальной нити теодолита определяются точки K_1 и K_2 касательной к окружности;

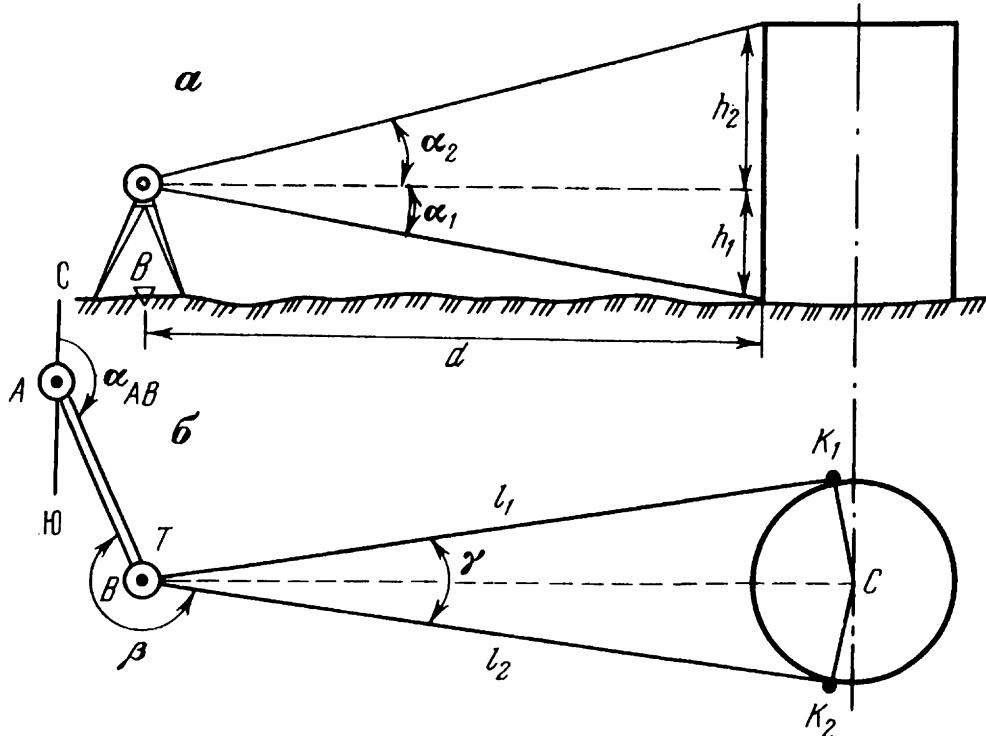


Рис. 57. Схема определения объема и координат центра сооружений

измеряются расстояния l_1 и l_2 . Для дальнейших расчетов принимается средняя величина $l_{\text{ср}} = 0,5(l_1 + l_2)$;
теодолитом измеряется угол между касательными γ ;

измеряется теодолитом угол β для привязки к базису $A - B$.

258. Измерением в поле получены следующие исходные данные для расчетов: $d = 50$ м; $\alpha_1 = 1^{\circ}42'$, $\alpha_2 = 16^{\circ}25'$, $l_1 = 72,78$ м, $l_2 = 72,82$ м; $\gamma = 30^{\circ}43,5' = 30,722^{\circ}$; $\beta = 241^{\circ}28'$; $X_B = +125,35$ м; $Y_B = -74,85$ м, $\alpha_{AB} = 150^{\circ}36'$.

Определяем $l_{\text{ср}} = 0,5(l_1 + l_2) = (72,78 + 72,82)0,5 = 72,80$ м. Из ΔCBK имеем $K_1C = r = l_{\text{ср}} \operatorname{tg} \gamma/2 = 72,80 \cdot \operatorname{tg} 15,361^{\circ} = 19,9999 = 20$ м.

Площадь основания емкости $S = \pi r^2 = \pi \cdot 20^2 = 1256,65$ м². Расстояние $BC = 50 + 20 = 70$ м.

Определяем дирекционный угол направления BC :

$$\begin{aligned}\alpha_{BC} &= \alpha_{AB} + 180^{\circ} - (\beta + \gamma/2) = 150^{\circ}36' + 180^{\circ} - (241^{\circ}28' + \\ &+ 15,361^{\circ}) = 330,600^{\circ} - 256,828^{\circ} = 73,772^{\circ} = 73^{\circ}46,5'. \text{ Румб } CB \quad r = \\ &= 73^{\circ}46,5'.\end{aligned}$$

Определяем приращение координат:

$$\Delta x = +d_{BC} \cos r = +70 \cos 73,772^{\circ} = +70 \cdot 0,27946 = +19,56 \text{ м};$$

$$\Delta y = +d_{BC} \sin r = +70 \sin 73,772^{\circ} = 70 \cdot 0,96016 = +67,21 \text{ м.}$$

Отсюда координаты центра сооружения:

$$X_c = X_B + \Delta x = 125,35 + 19,56 = 144,91 \text{ м};$$

$$Y_c = Y_B + \Delta y = -74,85 + 67,21 = -7,64 \text{ м}.$$

Определяем высоту емкости:

$$h_1 = d \operatorname{tg} \alpha_1 = 50 \operatorname{tg} 1^\circ 42' = 50 \cdot 0,02968 = 1,483 \text{ м};$$

$$h_2 = d \operatorname{tg} \alpha_2 = 50 \operatorname{tg} 16^\circ 25' = 50 \cdot 0,29463 = 14,732 \text{ м};$$

$$h_c = h_1 + h_2 = 1,483 + 14,732 = 16,215 \text{ м}.$$

Определяем объем сооружения:

$$V = Sh_c = 1256,64 \cdot 16,215 = 20\,376,42 \text{ м}^3.$$

259. По данным табл. 160 и рис. 57 определить объем емкости хранения нефти и координаты центра сооружения — точки *C*.

Для всех вариантов принять $d = 50,00 \text{ м}$.

Угол между касательными γ в табл. 160 дан в долях градуса для увеличения точности расчетов на микрокалькуляторах.

Если весь расчет ведется в градусах и минутах, тогда дробную часть числа надо умножить на 60.

Пример: $12,345^\circ$; $n' = 0,345 \cdot 60 = 20,7'$; если нужны секунды, $n'' = 0,7 \cdot 60 = 42''$.

III. Нельзя измерить расстояние до сооружения.

В этом случае разбивается базис *1 — 2* длиной *L*. Последовательно теодолит устанавливается в точке *1* и производятся все необходимые измерения, затем измерения теодолитом повторяются в точке *2* (рис. 58). Для определения длины d_1 и d_2 измеряются углы β_1 и β_2 .

Для определения высоты сооружения измеряются угол наклона α_1 (в точке *1*) и α_2 (в точке *2*).

Однако, как видно на рис. 58, нельзя навести прибор на низ сооружения — нет прямой видимости.

В этих случаях, которые в практике встречаются очень часто, наводят прибор на рейку (см. рис. 58) и устанавливают на ней отсчет, равный высоте прибора *J*. Тогда высота сооружения $H = J + h$.

260. Разбит базис *1 — 2* длиной *L* = 50,00 м.

Теодолитом измерены углы $\beta_1 = 57^\circ 35'$; $\beta_2 = 68^\circ 15'$.

В точках базиса *1* и *2* соответственно измерены $\alpha_1 = 14^\circ 40,5'$; $\alpha_2 = 15^\circ 54,5'$; $J_1 = 1515$; $J_2 = 1678$.

Определяем третий угол треугольника:

$$\beta_3 = 180 - (\beta_1 + \beta_2) = 180 - (57^\circ 35' + 68^\circ 15') = 180 - 125^\circ 50' =$$

$$= 54^\circ 10'.$$

Таблица 160

Вариант	Углы наклона				$l_{\text{ср}}, \text{м}$	γ в градусах	β		α_{AB}		Координаты точки B базиса, м	
	α_1		α_2				°	'	°	'	x_B	y_B
	°	'	°	'								
1	1	42	10	25	57,43	13,898	65	18	75	35	+ 10,75	- 25,34
2	1	51	11	36	59,68	17,152	77	36	110	47	+ 20,28	- 30,73
3	1	39	12	44	63,15	21,518	95	23	130	26	+ 30,15	- 40,26
4	1	35	13	06	65,51	24,126	108	32	170	09	+ 40,83	- 50,15
5	1	41	14	11	66,71	25,344	126	44	200	28	+ 50,68	- 60,37
6	1	38	12	55	64,33	22,850	135	27	224	51	- 60,19	+ 15,74
7	1	44	11	33	61,98	20,128	156	54	245	03	- 50,48	+ 24,28
8	1	46	12	22	60,83	18,670	175	41	255	38	- 40,24	+ 33,66
9	1	48	10	35	58,55	15,560	192	06	300	17	- 30,36	+ 22,77
10	1	50	9	54	56,32	12,162	233	13	325	45	- 20,18	+ 15,33

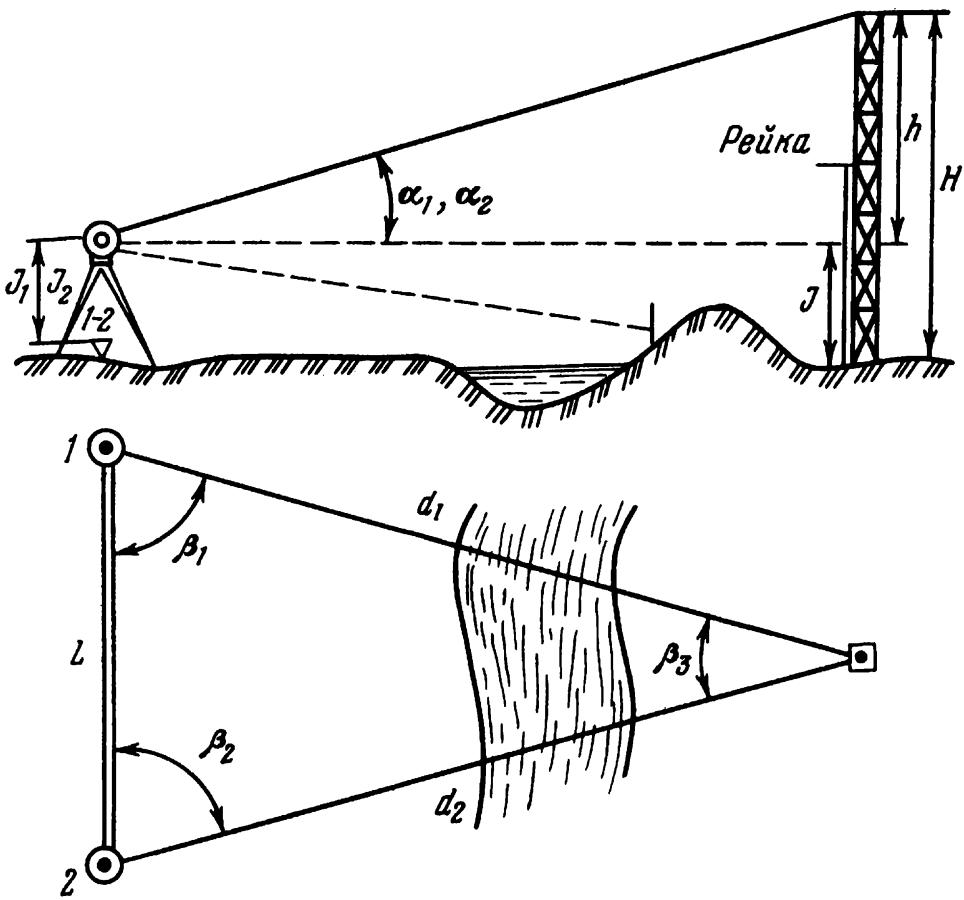


Рис. 58. Схема определения высоты сооружения при "неприступном расстоянии"

По теореме синусов имеем

$$L / \sin \beta_3 = d_1 / \sin \beta_2 = d_2 / \sin \beta_1.$$

Определяем расстояния от базисных точек до объекта:

$$d_1 = L \sin \beta_2 / \sin \beta_3 = \frac{50 \cdot \sin 68^\circ 15'}{\sin 54^\circ 10'} = 57,282 \text{ м};$$

$$d_2 = L \sin \beta_1 / \sin \beta_3 = \frac{50 \cdot \sin 57^\circ 35'}{\sin 54^\circ 10'} = 52,062 \text{ м}.$$

Теперь можно определить превышение h при съемке со станций – точки 1 и 2.

$$h_1 = d_1 \operatorname{tg} \alpha_1 = 57,282 \cdot \operatorname{tg} 14^\circ 40,5' = 15,000 \text{ м};$$

$$h_2 = d_2 \operatorname{tg} \alpha_2 = 52,062 \cdot \operatorname{tg} 15^\circ 54,5' = 14,838 \text{ м}.$$

Наконец, определяем исковую величину – высоту мачты:

$$H_1 = J_1 + h_1 = 1,515 + 15,000 = 16,515 \text{ м};$$

$$H_2 = J_2 + h_2 = 1,678 + 14,838 = 16,516 \text{ м.}$$

Следовательно, высота сооружения $H_c = 16,51 \text{ м.}$

261. По данным табл. 161 и рис. 58 определить высоту сооружения, если длина базиса $l = 2$ для всех вариантов $L = 50 \text{ м.}$

Таблица 161

Вариант	Полевые измерения на базисе										
	точка 1					точка 2					
	β_1		α_1		J_1	β_1		α_2		J_2	
	°	'	°	'	мм	°	'	°	'	мм	
1	55	36	19	16,5	1510	65	14	21	07,5	1440	
2	53	45	15	55	1490	64	07	17	39	1485	
3	49	37	14	12,5	1475	59	24	16	00	1450	
4	51	29	15	59,5	1465	60	53	17	45	1455	
5	47	41	12	12,5	1455	58	07	13	50,5	1535	
6	54	17	17	53	1485	64	09	19	38	1530	
7	55	34	18	21,5	1495	65	08	20	01	1525	
8	48	41	13	14	1515	58	26	14	48	1615	
9	53	53	16	53,5	1520	64	08	18	43,5	1495	
10	50	29	15	09	1530	59	47	16	56,5	1475	

§ 65. ПЕРЕДАЧА ПРОЕКТНЫХ ВЫСОТ НА СООРУЖЕНИЕ

Проектные высоты дна котлована или монтажного горизонта здания разбиваются и контролируются методом геометрического нивелирования, т.е. с помощью нивелира.

Методика выполнения работы – установка нивелиров, реек и т.д. – показана на рис. 59. При выполнении данной работы применяется рулетка, причем рекомендуется стальная с натяжением не менее 10 кг.

262. Определить высоту дна котлована, если $a_1 = 1545$, $p_1 = 5578$, $p_2 = 1034$, $b_2 = 1453$, Рп = 17,253 м.

По схеме на рис. 59 выводим формулу для определения высоты дна котлована:

$$H_k = Pp + a_1 - (p_1 - p_2) - b_2 \text{ (м).}$$

$$\text{Отсюда } H_k = 17,253 + 1,545 - (5,578 - 1,034) = 12,801 \text{ м.}$$

263. Определить высоту монтажного горизонта здания, если $a_1 = 1467$, $p_1 = 0875$, $p_2 = 9345$, $b_2 = 1517$, Рп = 25,355 м. По схеме рис.

59 выводим формулу для определения высоты монтажного горизонта здания:

$$H_m = P_{\text{п}} + a_1 + (p_2 - p_1) - b_2.$$

В нашем примере $H_m = 25,355 + 1,467 + (9,345 - 0,875) - 1,517 = 33,775$ м.

264. По данным табл. 162 и рис. 59 определить высоту дна котлована и монтажного горизонта здания.

Таблица 162

Вариант	Дно котлована				Рп, м	Монтажный горизонт здания				
	Отсчеты по рейкам и рулетке, мм					Отсчеты по рейкам и рулетке, мм				
	a_1	p_1	p_2	b_2		a_1	p_1	p_2	b_2	
1	1386	6127	0575	1547	15,274	1428	0683	8124	1527	
2	1404	6215	0624	1553	22,336	1403	0717	8277	1533	
3	1428	6329	0737	1531	31,413	1437	0785	8364	1548	
4	1443	6477	0842	1524	44,027	1584	0803	8435	1553	
5	1457	6582	0956	1517	53,173	1567	0941	8553	1566	
6	1468	6607	1063	1495	48,228	1548	0996	8687	1513	
7	1471	6734	1077	1453	36,374	1533	1084	8791	1521	
8	1505	6845	1024	1442	29,818	1487	1095	8803	1583	
9	1525	6958	1035	1407	19,677	1492	1048	8913	1542	
10	1533	7013	1046	1395	57,521	1424	1057	9074	1578	

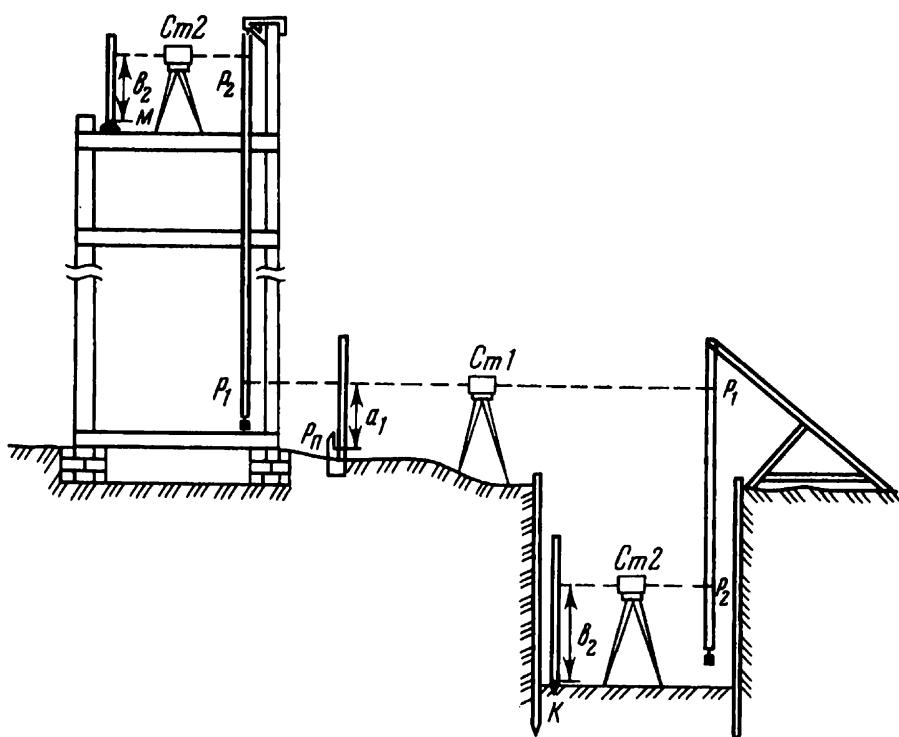


Рис. 59. Схема разбивки и контроль проектных высот монтажного горизонта и дна котлована

§ 66. ВЕРТИКАЛЬНАЯ ПЛАНИРОВКА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Вертикальная планировка местности может производиться в начальный период строительства (подготовка стройплощадки) или, что встречается значительно чаще, в заключительный — благоустройство территории, водоотвод и т.д.

Исходные данные для вертикальной планировки определяются в результате нивелирования площади по квадратам.

Однако при вертикальной планировке топографический план с горизонталиями не является конечной целью камуфляжных работ. При вертикальной планировке требуется рассчитать и вычертить картограмму земляных работ и определить их объемы.

В практике встречаются два случая планировки:

площадки (угол ее "нуль");

наклонной плоскости с заданным уклоном (i), причем основное требование при этом — минимум земляных работ.

Поэтому проектная высота плоскости может быть задана, и тогда все расчеты производятся на основании этого основного исходного данного.

Если же проектная высота плоскости планировки не задается, то в этом случае проектируют из условия баланса земляных работ (объем выемки равен объему насыпи).

Так как последний случай является наиболее общим, то, следовательно, в примерах будет рассмотрена методика вертикальной планировки при условии баланса земляных работ.

265. Произвести вертикальную планировку площадки при условии баланса земляных работ. Участок местности планировки представлен топографическим планом (см. рис. 39). Проектная высота площадки определяется как средняя величина по формуле

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

где ΣH_1 — сумма высот точек, входящих в один квадрат; ΣH_2 — сумма высот точек, входящих в два квадрата; ΣH_3 — сумма высот точек, входящих в три квадрата; ΣH_4 — сумма высот точек, входящих в четыре квадрата; n — число квадратов.

Если участок прямоугольный или квадратный, то, очевидно, точек с цифрой 3 не будет и, следовательно, формулу в этом случае можно преобразовать:

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

Для уменьшения объема вычислений следует за условный нуль принять целые метры минимальной отметки H_m , от которой и определять превышения до всех точек h_i . Для нашего примера принимаем $H_m = 71,00 \text{ м}$.

Тогда формула примет вид

$$H_{\text{п}} = H_m + (\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 4\Sigma h_4) / 4n.$$

Таблица 163

Условный нуль – $H_M = 71,00$ м
Превышение точек, м

h_1	h_2	h_4
0,80	3,35	2,64
3,09	3,60	1,92
4,36	3,85	1,64
2,21	4,10	1,37
	3,93	1,09
	3,50	1,27
	3,08	1,72
	2,18	2,64

$$\Sigma h_1 = 10,46$$

$$\begin{aligned}\Sigma h_2 &= 41,88 \\ 2 \sum h_2 &= 83,76\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma h_4 &= 41,83 \\ 4 \sum h_4 &= 167,32\end{aligned}$$

$$\Sigma h_i / 4n = 261,54 / 4 \cdot 25 = 2,62 \text{ м}$$

$$H_{\Pi} = 71,00 + 2,62 = 73,62 \text{ м}$$

Выполним расчет в табл. 163.

Определяем превышения точек над условным нулем: $71,80 - 71,00 = 0,80$ м; $74,09 - 71,00 = 3,09$ м; $75,36 - 71,00 = 4,36$ м; $73,21 - 71,00 = 2,21$ м; $73,21 - 71,00 = 2,21$ м и т.д.

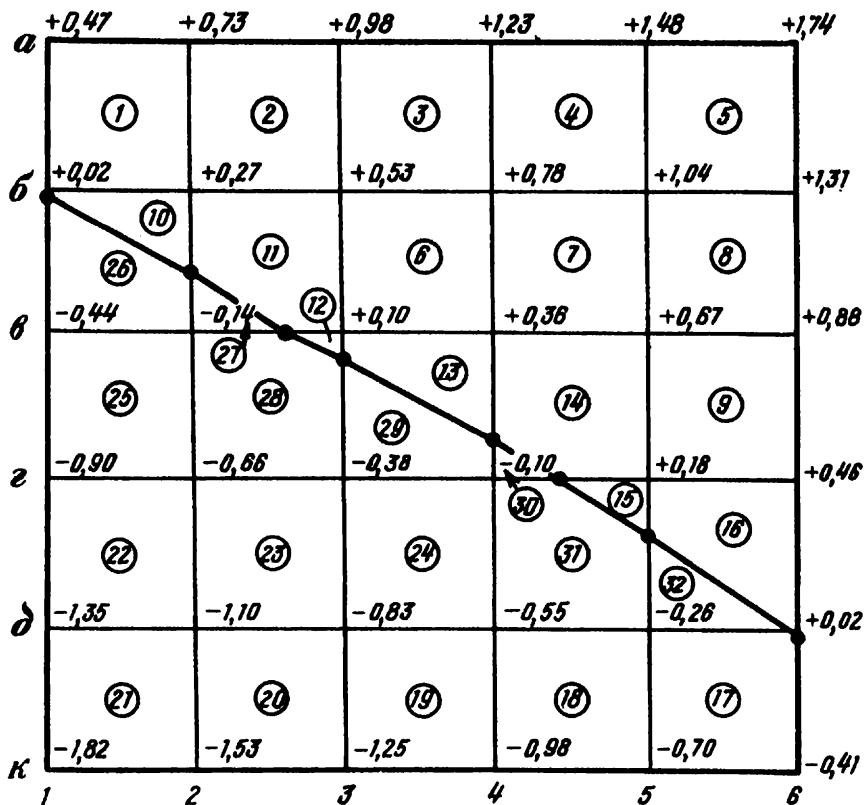


Рис. 60. Вертикальная планировка площадки

Таким образом, в нашем примере проектная высота плоскости $H_{\text{п}} = 73,62$ м.

Определяем рабочие высоты по формуле $p = H_{\text{т}} - H_{\text{п}}$ (м). Рабочие высоты со знаком "+" (вывемка), "-" (насыпь) записываются на картограмму земляных работ (рис. 60).

Для нашего примера рабочие высоты вершин базисного квадрата $p = 71,80 - 73,62 = -1,82$ м; $p = 74,09 - 73,62 = +0,47$ м; $p = 75,36 - 73,62 = +1,74$ м; $p = 73,21 - 73,62 = -0,41$ м и т.д.

На картограмме земляных работ строим линию нулевых работ методом интерполяции (см. рис. 40) или расчетом (см. рис. 32) в зависимости от требуемой точности.

В нашем примере определим расстояние x от плюсовой точки до нулевой на стороне квадрата расчетом:

$$x = p_1 l / (p_1 + p_2),$$

где p_1 — плюсовая рабочая высота; p_2 — минусовая рабочая высота; l — длина стороны квадрата.

В нашем примере $l = 20$ м, следовательно,

$$x = 20 \frac{p_1}{p_1 + p_2} (\text{м}).$$

Расчет выполним в табл. 164 (рис. 61). Очевидно, что линия нулевых работ рассчитана ту сторону квадрата, точки которой имеют разные знаки рабочих высот. На нашей картограмме (см. рис. 60): $b1 - e1$, $b2 - e2$, $e2 - e3$ и т.д.

Таблица 164

Сторона квадрата	$+ p_1$	$- p_2$	$p_1 + p_2$	$\frac{p_1}{p_1 + p_2}$	$x, \text{м}$
$b1 - e1$	0,02	0,44	0,46	0,04	0,87
$b2 - e2$	0,27	0,14	0,41	0,66	13,17
$e2 - e3$	0,10	0,14	0,24	0,42	8,33
$e3 - e4$	0,10	0,38	0,48	0,21	4,17
$e4 - e5$	0,36	0,10	0,46	0,78	15,65
$e5 - e6$	0,18	0,10	0,28	0,64	12,86
$e6 - c6$	0,18	0,26	0,44	0,41	8,18
$c6 - c5$	0,02	0,26	0,28	0,07	1,43
$c5 - c4$	0,02	0,41	0,43	0,05	0,93

В масштабе картограммы откладываем расстояние x от "плюсовых" точек и находим нулевые точки; соединив их, получаем линию нулевых работ.

Определяем объемы земляных работ планировки. Для этого пронумеруем все полные квадраты и все фигуры, на которые разбились переходные квадраты линией нулевых работ.

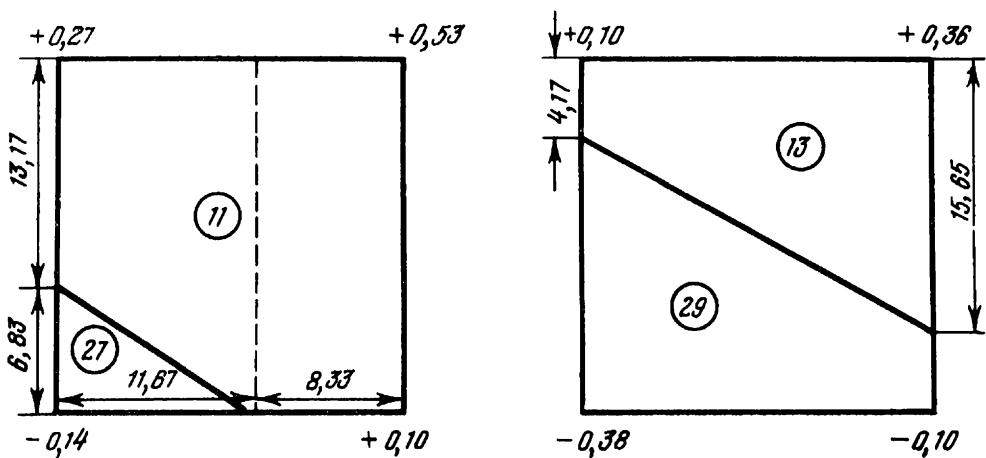


Рис. 61. Схема построения линии нулевых работ

Объем земляных работ определяется по формуле

$$V = S p_{cp} \text{ (м}^3\text{)},$$

где S – площадь основания призмы (площадь геометрической фигуры); p_{cp} – средняя высота призмы (средняя рабочая высота точек геометрической фигуры основания призмы).

Рассмотрим возможные случаи.

Полный квадрат

$$S = l^2 \text{ (м}^2\text{)};$$

$$p_{cp} = (p_1 + p_2 + p_3 + p_4)/4.$$

Для нашего примера квадрат 2: $S = 20 \times 20 = 400 \text{ м}^2$;

$$p_{cp} = \frac{0,73 + 0,98 + 0,53 + 0,27}{4} = \frac{2,51}{4} = 0,69 \text{ м.}$$

Тогда объем выемки $V_2 = 400 \cdot 0,69 = 278 \text{ м}^3$.

Квадрат линией нулевых работ разбивается на две трапеции. В нашем примере это фигуры 13 и 29. Этот квадрат показан в крупном масштабе на рис. 61. Расстояния от плюсовой до нулевой точки $x = 4,17 \text{ м}$ и $x = 15,65 \text{ м}$ взяты из табл. 164.

Определяем площади фигур (трапеций)

$$S_{13} = \frac{4,17 + 15,65}{2} \cdot 20 = 198,2 \text{ м}^2;$$

$$S_{29} = \frac{(20 - 4,17) + (20 - 15,65)}{2} \cdot 20 = \frac{15,83 + 4,35}{2} \cdot 20 = 201,8 \text{ м}^2.$$

Контроль: $S_{13} + S_{29} = 198,2 + 201,8 = 400 \text{ м}^2$.

Определяем среднюю рабочую высоту фигур:

$$p_{13} = \frac{0 + 0,10 + 0,36 + 0}{4} = \frac{0,46}{4} = 0,11 \text{ м};$$

$$p_{29} = \frac{0,38 + 0 + 0 + 0,10}{4} = \frac{0,48}{4} = 0,12.$$

Тогда объем выемки $V_{13} = 198,2 \cdot 0,11 = 21,80 \text{ м}^3$; объем насыпи $V_{29} = 201,8 \cdot 0,12 = 24,22 \text{ м}^3$.

От квадрата отсекается треугольник. В нашем примере -- фигуры 11 и 27 (см. рис. 61). Расстояние до нулевых точек взяты из табл. 164.

Определяем площади фигур:

$$S_{27} = 6,83 \cdot 11,67 / 2 = 39,85 \text{ м}^2 \text{ (площадь треугольника).}$$

Площадь фигуры 11 определяем как сумму площадей прямоугольника и трапеции:

$$S_{11} = 8,33 \cdot 20 + \frac{13,7 + 20}{2} \cdot 11,67 = 166,60 + 193,55 = 360,15 \text{ м}^2.$$

Контроль: $360,15 + 39,85 = 400 \text{ м}^2$.

Очевидно, площадь пятиугольника можно определить еще проще, как разность площади квадрата и треугольника:

$$S_{11} = 400 - S_{27} = 400 - 39,85 = 360,15 \text{ м}^2.$$

Определяем средние рабочие высоты для фигур:

$$p_{11} = \frac{0 + 0,27 + 0,53 + 0,10 + 0}{5} = 0,18 \text{ м};$$

$$p_{27} = \frac{0 + 0,14 + 0}{3} = 0,05 \text{ м.}$$

Тогда объем выемки (фигура 11) $V_{11} = 360,15 \cdot 0,18 = 64,83 \text{ м}^3$.

Объем насыпи (фигура 27) $V_{27} = 39,85 \cdot 0,05 = 1,99 \text{ м}^3$.

Определение объемов земляных работ производится по таблице, форма которой дана в табл. 165.

В итоге расчетов имеем небаланс земляных масс: $\Delta V = 3119 - 3034 = 85 \text{ м}^3$.

Небаланс земляных масс допускается не более 2 % от общего объема земляных работ: $\Delta V_{\text{доп}} = (3119 + 3034) \cdot 0,02 = 123 \text{ м}^3$, что больше $\Delta V = 85 \text{ м}^3$.

266. Осуществить вертикальную планировку наклонной плоскости с заданными уклоном $i_{II} = 15 \%$ и направлением (на рис. 62, А указана стрелка и угол γ), квадраты — 20 x 20 м.

Таблица 165

Выемка				Насыпь			
№ фигур	p_{cp} , м	S , м ²	V , м ³	№ фигур	p_{cp} , м	S , м ²	V , м ³
1	0,37	400	148	17	0,35	400	140
2	0,63	—”—	252	18	0,62	400	248
3	0,88	—”—	352	19	0,90	400	360
4	1,13	—”—	452	20	1,18	400	472
5	1,39	—”—	556	21	1,45	400	580
6	0,55	—”—	220	22	1,00	400	400
7	0,71	—”—	284	23	0,74	400	296
8	0,97	—”—	388	24	0,46	400	184
9	0,38	—”—	152	25	0,53	400	212
10	0,07	142,4	9,97	26	0,14	257,6	36,06
11	0,18	360,15	64,83	27	0,05	39,85	1,99
12	0,03	17,37	0,52	28	0,23	382,63	88,00
13	0,12	198,2	21,80	29	0,12	201,8	24,22
14	0,24	384,47	92,27	30	0,03	15,53	0,46
15	0,06	52,60	3,16	31	0,18	347,40	62,53
16	0,13	287,30	37,35	32	0,09	112,70	10,14
$V_B = 3034 \text{ м}^3$				$V_H = 3119 \text{ м}^3$			

Методика и последовательность расчетов в данном случае в основном аналогичны проектированию площадки, поэтому в дальнейшем будет даваться ссылка на соответствующие пункты предыдущего примера. Особенности проектирования наклонной плоскости будут рассмотрены подробно.

Определяем проектную высоту центра тяжести площади планировки $H_p = H_M + (\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 4\Sigma h_4)/4n$. Принимаем минимальную высоту (условный ноль) $H_M = 14,00$ м. Расчет выполняем в табл. 166. Превышение

Таблица 166

h_1	h_2	h_4
2,85	2,72	1,95
1,37	2,55	1,30
2,35	2,25	0,40
1,05	1,95	1,00
	1,80	1,62
	2,05	2,20
$\Sigma h_1 = 7,62$	$\Sigma h_2 = 21,79$	$\Sigma h_4 = 11,55$
	$2\Sigma h_2 = 43,58$	$4\Sigma h_4 = 46,20$

$$\Sigma h_i / 4n = 97,40 / 4 \cdot 15 = 1,63 \text{ м}$$

$$H_0 = 14,00 + 1,62 = 15,63 \text{ м}$$

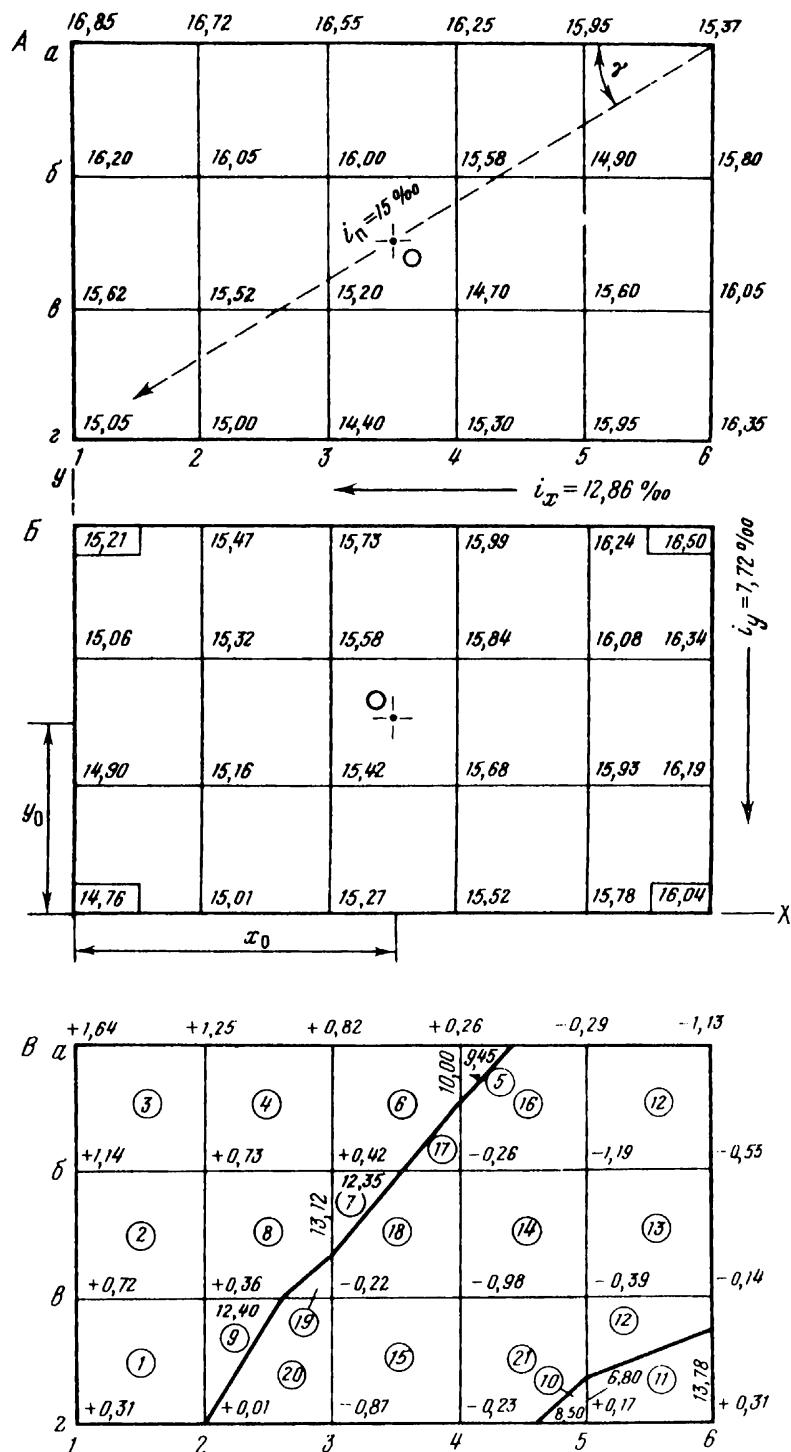


Рис. 62. Вертикальная планировка плоскости с проектным уклоном:

A – исходные данные; *B* – определение проектных высот; *C* – рабочие высоты и линия нулевых работ

ние точек вершин квадратов определяем сначала так же, как в предыдущем примере, – из условия площадки.

Определяем координаты центра тяжести площади планировки относительно осей *X* и *Y* (рис. 62, *B*).

В нашем примере – прямоугольник, и центр тяжести находится на пересечении диагоналей (см. рис. 62, *B* – точка *O*).

В случае более сложной фигуры координаты центра тяжести вычисляются по формулам

$$x_0 = \sum_{i=1}^n x_i / n; \quad y_0 = \sum_{i=1}^n y_i / n,$$

где x_i, y_i – координаты вершин квадратов; n – количество вершин. Определим координаты в нашем примере:

$$y_0 = \frac{6 \cdot 60 + 6 \cdot 40 + 6 \cdot 20 + 6 \cdot 0}{24} = \frac{120}{4} = 30 \text{ м};$$

$$x_0 = \frac{4 \cdot 100 + 4 \cdot 80 + 4 \cdot 60 + 4 \cdot 40 + 4 \cdot 20 + 4 \cdot 0}{24} = \frac{300}{6} = 50 \text{ м}.$$

Следовательно, точка $O (50, 30)$ и $H_0 = 15,62 \text{ м}$.

Определяем проектную высоту вершины квадрата (в принципе любого квадрата). В нашем примере определим ее для точек a , b и $g1$. Для этого необходимо определить расстояние от центра тяжести до этой вершины.

Определим угол γ : $\operatorname{arctg} \gamma = 30/50 = 0,6$; $\gamma = 30,964^\circ$.

Определяем расстояние от точки O до вершин квадратов:

$$l_0 = x_0 / \cos \gamma = 50 / \cos 30,964^\circ = 58,309 \text{ м}.$$

Для контроля:

$$l_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} = \sqrt{50^2 + 30^2} = 58,309 \text{ м}.$$

Для дальнейших расчетов принимаем $l_0 = 58,31 \text{ м}$. От точки O к вершине квадрата ab – подъем, а к точке $g1$ – спуск. Следовательно, проектные высоты точек:

$$ab H_i = H_0 + h_i = 15,63 + 0,015 \cdot 58,31 = 15,63 + 0,87 = 16,50 \text{ м};$$

$$g1 H_i = H_0 - h_i = 15,63 - 0,87 = 14,76 \text{ м}.$$

Определяем уклоны по осям координат i_x и i_y :

$$i_x = i_\pi \cos \gamma = 15 \cos 30,964^\circ = 12,86\%;$$

$$i_y = i_\pi \sin \gamma = 15 \sin 30,964^\circ = 7,72\%.$$

Для контроля определим проектную высоту вершины $g1$ и контурных вершин $a1$ и $g6$.

Вершина $a1$: $H_i = 16,50 - l_x i_x = 16,50 - 100 \cdot 0,01286 = 16,50 - 1,29 = 15,21 \text{ м}$.

Вершина $g6$: $H_i = 16,50 - l_y i_y = 16,50 - 60 \cdot 0,00772 = 16,50 - 0,46 = 16,04 \text{ м}$.

Контролируем проектную высоту точки I :

по оси $YH_i = 15,21 - i_y = 15,21 - 60 \cdot 0,00772 = 15,21 - 0,46 = 14,75$ м.

по оси $XH_i = 16,04 - 1,29 = 14,75$ м.

Определяем проектные высоты вершин всех квадратов и рабочие высоты. Расчет выполняем в табл. 167.

Таблица 167

Вершины квадратов	Квадраты					
	1	2	3	4	5	6
a	16,85	16,72	16,55	16,25	15,95	15,37
	15,21	15,47	15,73	15,99	16,24	16,50
	+1,64	+1,25	+0,82	+0,26	-0,29	-1,13
b	16,20	16,05	16,00	15,58	14,90	15,80
	15,06	15,32	15,58	15,84	16,09	16,35
	+1,14	+0,73	+0,42	-0,26	-1,19	-0,55
c	15,62	15,52	15,20	14,70	15,60	16,05
	14,90	15,16	15,42	15,68	15,93	16,19
	+0,72	+0,36	-0,22	-0,98	-0,33	-0,14
d	15,05	15,00	14,40	15,30	15,95	16,35
	14,76	15,01	15,27	15,53	15,78	16,04
	+0,31	+0,01	0,87	-0,23	+0,17	+0,31

Выписываем в таблицу в соответствующие клетки высоты вершин квадратов и уже известные проектные высоты. Определяем превышение на длину стороны квадрата по осям X и Y :

$$\Delta h_x = i_x \cdot 20 = 0,01286 \cdot 20 = 0,257 \text{ м};$$

$$\Delta h_y = i_y \cdot 20 = 0,00772 \cdot 20 = 0,154 \text{ м}.$$

Для определения проектных высот вершин квадратов необходимо от максимальной проектной отметки (в нашем примере т. $a6 = 16,50$ м) по оси X (горизонтальные строки таблицы) отнимать последовательно Δh_x , а по оси Y (вертикальные столбцы таблицы) — Δh_y .

Если за исходную взять минимальную высоту, то превышения на каждую сторону квадрата Δh_x и Δh_y следует прибавлять.

Далее по уже известному правилу вычисляем рабочие высоты и выписываем их у соответствующих вершин квадратов.

Строим линию нулевых работ (см. предыдущую задачу). Расчет выполняем в табл. 168.

Определяем объем земляных работ планировки наклонной плоскости (см. предыдущую задачу). Расчет производим в табл. 169.

Таблица 168

Сторона квадрата	$+ p_1$	$- p_2$	$p_1 + p_2$	$\frac{p_1}{p_1 + p_2}$	$x, м$
$в2 - в3$	0,36	0,22	0,58	0,62	12,40
$б2 - в3$	0,42	0,22	0,64	0,65	13,12
$б3 - б4$	0,42	0,26	0,68	0,62	12,35
$а4 - б4$	0,26	0,26	0,52	0,50	10,00
$а4 - а5$	0,26	0,29	0,55	0,47	9,45
$г5 - г4$	0,17	0,23	0,40	0,42	8,50
$г5 - в5$	0,17	0,33	0,50	0,34	6,80
$г6 + в6$	0,31	0,14	0,45	0,69	13,78

Таблица 169

Выемка				Насыпь			
№ фигуры	$p_{cp}, м$	$S, м^2$	$V, м^3$	№ фигуры	$p_{cp}, м$	$S, м^2$	$V, м^3$
1	0,35	400	140	12	0,79	400	316
2	0,74	400	295	13	0,55	—“—	220
3	1,19	400	476	14	0,69	—“—	276
4	0,80	400	320	15	0,57	—“—	230
5	0,09	45,2	4,1	16	0,35	354,8	124,2
6	0,30	361,7	108,5	17	0,09	38,3	3,5
7	0,14	81,0	11,3	18	0,29	319,0	92,5
8	0,30	373,9	112,2	19	0,07	26,1	1,8
9	0,12	124,0	14,9	20	0,27	276,0	74,5
10	0,06	28,9	1,7	21	0,31	371,1	115,0
11	0,12	205,8	24,7	22	0,12	194,2	23,3
$V_B = 1508,4$				$V_H = 1476,8$			

Небаланс земляных масс $\Delta V = 31,6 м^3$, что составляет всего 1 %, а допускается, как было указано выше, 2 %.

267. По данным (отсчеты по рейкам на вершинах квадратов) табл. 170, 171 осуществить вертикальную планировку площадки при условии баланса земляных масс.

Масштаб плана 1 : 1000, квадраты 20 x 20 м.

268. По данным табл. 172, 173 осуществить вертикальную планировку наклонной плоскости при условии баланса земляных масс.

Масштаб плана 1 : 1000, квадраты 20 x 20 м. Направление уклона по вершинам квадратов: вариант 1 — $a1 - \partial5$; вариант 2 — $a5 - \partial1$.

Таблица 170

Вариант	Вершина квадрата	Высота H , м	Задний отсчет на вершину a , мм	Вариант	Вершина квадрата	Высота H , м	Задний отсчет на вершину a , мм
1	a_1	15,745	0475	6	55	15,712	2518
2	a_5	21,233	2648	7	24	21,825	2705
3	a_5	36,027	2887	8	01	37,327	2445
4	a_1	42,315	2405	9	35	40,654	2435
5	a_2	54,403	1715	10	01	30,278	1935

Таблица 171

Вершины квадратов	1	2	3	4	5
a	0475	1715	1950	2324	2648
b	1643	1230	1733	1970	2518
c	1935	1845	1783	1887	2435
d	2445	2430	2234	2417	2713
e	2405	2563	2642	2765	2887

Таблица 172

Вариант	Уклон плоскости i_n , %	Направление уклона по варианту	Вариант	Уклон плоскости i_n , %	Направление уклона по варианту
1	5	1	6	5	2
2	6	2	7	6	3
3	7	1	8	7	2
4	8	2	9	8	1
5	9	3	10	9	2

Таблица 173

Вершины квадратов	Высоты вершин квадратов				
	1	2	3	4	5
a	33,70	33,15	32,10	32,70	33,80
b	33,50	32,60	31,60	32,70	33,60
c	33,40	32,10	30,80	32,30	33,40
d	32,80	31,90	30,70	32,20	33,10
e	32,60	31,70	30,25	31,60	32,80

§ 67. РАЗБИВКА НА МЕСТНОСТИ ГРАНИЦ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Разбивка земляного полотна перед началом работ заключается в том, что необходимо найти на местности точку пересечения откоса насыпи или выемки с поверхностью земли (т. C_1 , C_2 , рис. 63) и поставить здесь откосник.

В практике встречаются в основном два случая разбивки земляного полотна:

местность ровная или поперечный уклон местности менее $1 : 10$;
местность имеет однообразный уклон.

Уклоны в этих случаях задаются соотношением: $1:m$ – для откосов выемки или насыпи; $1 : n$ – для поперечного уклона местности. Здесь m и n – заложение откосов земляного полотна или поверхности земли.

Уклоны откосов земляного полотна установлены специальными нормами. Рассмотрим первый случай разбивки на ровной местности.

269. Разбить на местности насыпь и выемку, если рабочие высоты насыпи – $p_h = 4$ м, выемки – $p_b = 5$ м. Поверхность земли ровная. Уклон откосов $1 : 1,5$. Определяем расстояние L от оси пути до подошвы насыпи или до бровки выемки (т. C_1 , C_2).

Как следует из типовых поперечников насыпи и выемки, в этом случае $L_1 = L_2 = 0,5B + p \cdot m$ (м).

Однако если насыпь, то $B = b$ – ширина основной площадки земляного полотна, которая устанавливается в специальных нормах.

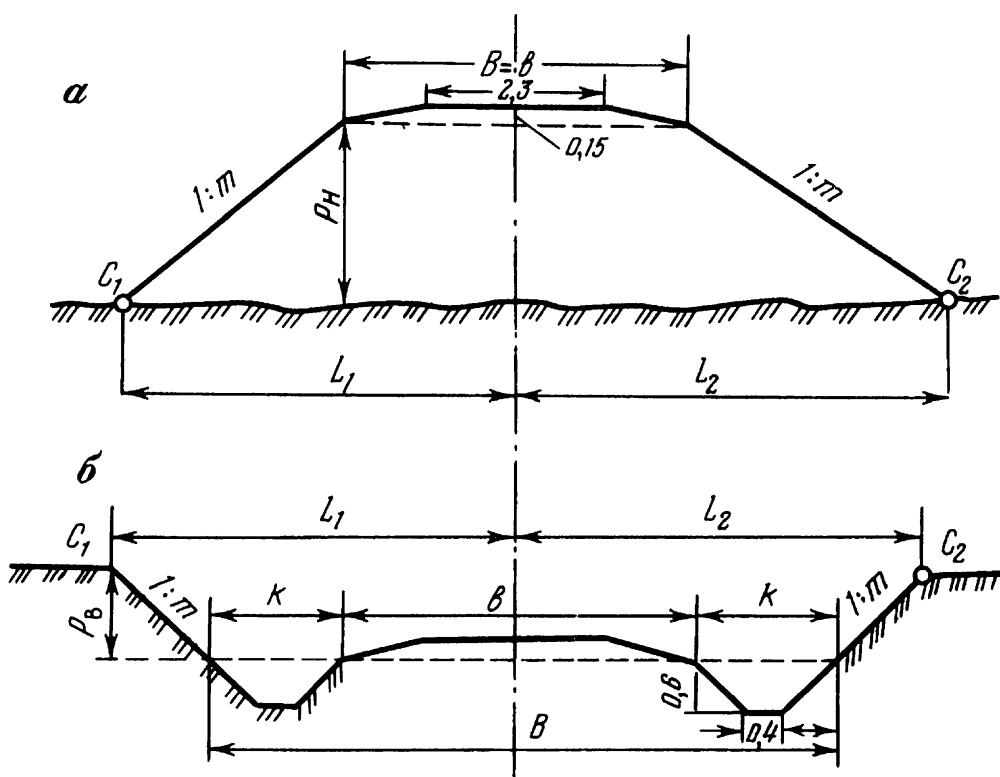


Рис. 63. Поперечный профиль земляного полотна на ровной местности:

a – насыпи; *б* – выемки

Если выемка, то $B = b + 2k$, где k – ширина кювета поверху. Для типовых кюветов $k = 1,9$ м.

Следовательно, для выемки: $B = b + 3,8$ (м). Принимаем $b = 7,0$ м. Отсюда искомая величина:

$$\text{насыпи } L_1 = L_2 = 0,5 \cdot 7,0 + 4 \cdot 1,5 = 3,5 + 6,0 = 9,5 \text{ м};$$

выемки $B = 7,0 + 3,8 = 10,8$ м, тогда

$$L_1 = L_2 = 0,5 \cdot 10,8 + 5 \cdot 1,5 = 5,4 + 7,5 = 12,9 \text{ м.}$$

Далее от оси трассы откладываем размеры L_1 и L_2 , тем самым находим точки C_1 и C_2 на местности.

270. Разбить на местности, имеющей поперечный уклон $1 : 6$, насыпь ($p_H = 5$ м) и выемку ($p_B = 4$ м). Уклоны откосов насыпи и выемки – $1 : 1,5$.

Как следует из рис. 64, в этом случае $L_1 \neq L_2$, и для насыпи искомая величина в подгорную сторону больше, чем в нагорную, а для выемки – наоборот. Поэтому сначала вычисляют отдельно два расстояния в нагорную и подгорную стороны.

При высоте насыпи и глубине выемки до 6 м большее расстояние L_6 , т.е. в подгорную сторону для насыпи и в нагорную сторону для выемки определяется по формуле

$$L_6 = [n / (n - m)](0,5 B + mp), \text{ м.}$$

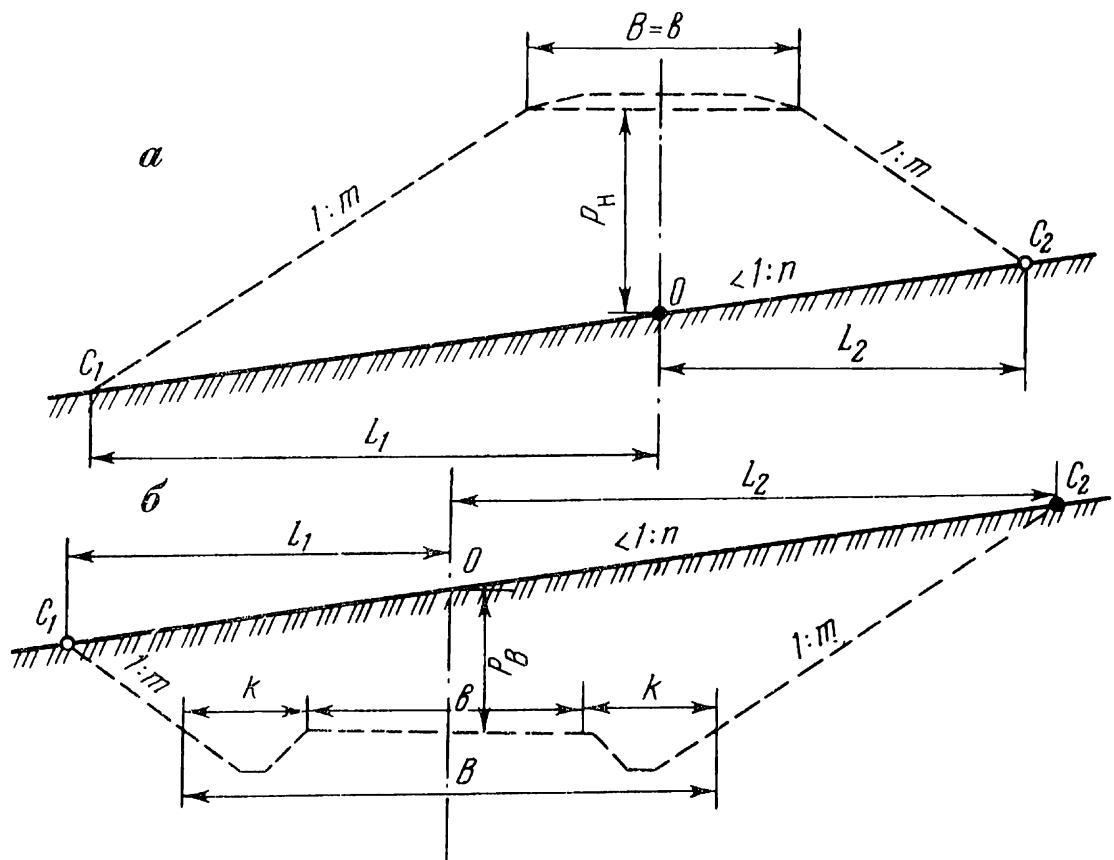


Рис. 64. Поперечный профиль земляного полотна при поперечном уклоне местности:
а – насыпи; б – выемки

Меньшее расстояние L_m при этом же условии определяется по формуле

$$L_m = [n/(n+m)](0,5B + mp_H), \text{ м.}$$

При этом B определяется для насыпи и выемки так же, как и в предыдущем примере, — в случае ровной местности.

Определим искомые размеры для нашего примера. Для разбивки насыпи

$$L_6 = L_1 = [n/(n-m)] (0,5B + mp_H) = [6/(6-1,5)] (0,5 \cdot 7 + 1,5 \cdot 5) = (6/4,5) (3,5 + 7,5) = 1,33 \cdot 11,0 = 14,67 \text{ м.}$$

$$L_m = L_2 = [n/(n+m)] (0,5B + mp_H) = [6/(6+1,5)] (0,5 \cdot 7 + 1,5 \cdot 5) = (6/7,5) (3,5 + 7,5) = 0,8 \cdot 11,0 = 8,80 \text{ м.}$$

Для разбивки выемки $B = 7 + 3,8 = 10,80 \text{ м.}$

$$L_6 = L_2 = [6/(6-1,5)] (0,5 \cdot 10,8 + 1,5 \cdot 4) = 1,33 (5,40 + 6,00) = 1,33 \cdot 11,40 = 15,16 \text{ м.}$$

$$L_m = L_1 = [6/(6+1,5)] (0,5 \cdot 10,8 + 1,5 \cdot 4) = 0,8 \cdot 11,40 = 9,12 \text{ м.}$$

Наиболее простым способом разбивки земляного полотна в случае косогорности является способ ватерпасовки.

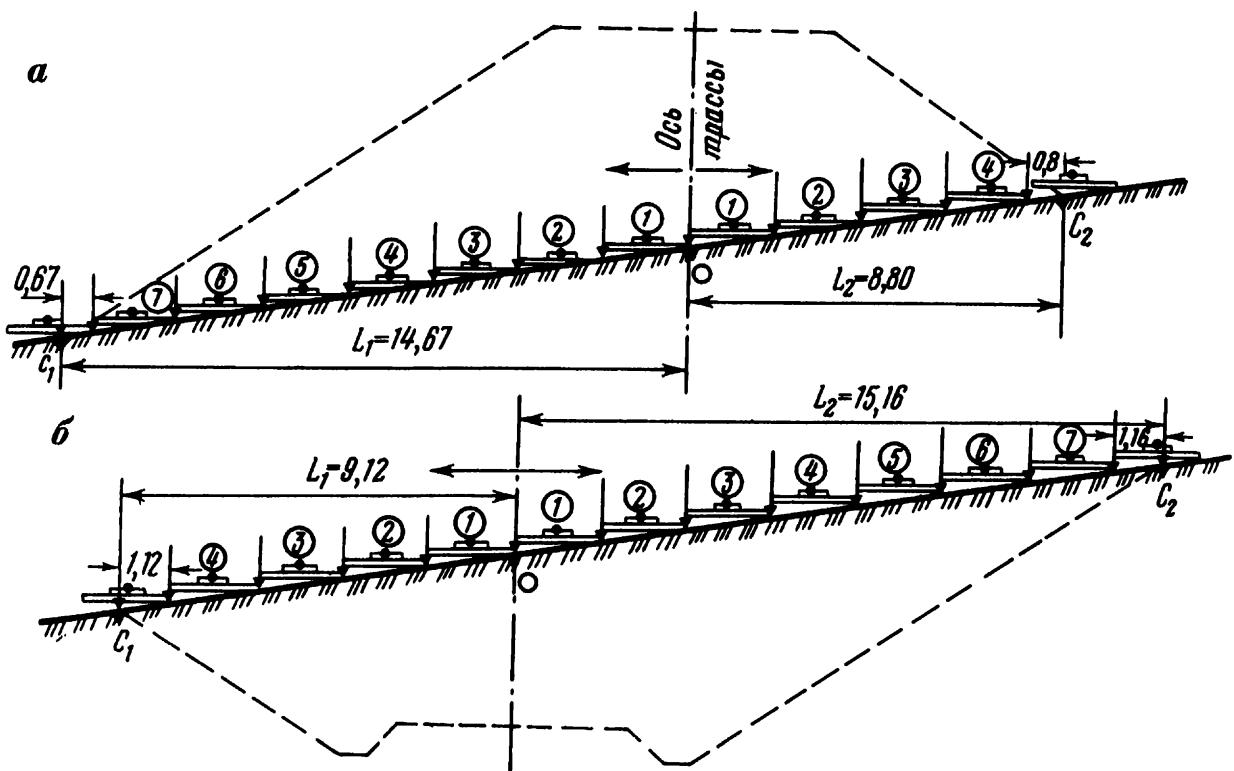


Рис. 65. Схема разбивки земляного полотна на косогоре ватерпасовкой:
а — насыпи; б — выемки

Для этого необходимо иметь рейку, уровень и отвес. Определим на местности точки C_1 и C_2 для нашего примера. Предположим, у нас рейка длиной $l_p = 2$ м. Определим сначала, сколько раз необходимо отложить длину рейки и какой будет остаток.

Для насыпи $L_1/l_p = 14,67/2 = 7$ и остаток $0,67$ м; $L_2/l_p = 8,80/2 = 4$ и остаток $0,80$ м;

Для выемки $L_2/l_p = 15,67/2 = 7$ и остаток $1,67$ м; $L_1/l_p = 9,12/2 = 4$ и остаток $1,12$ м.

Далее производим разбивку насыпи и выемки (схемы разбивки показаны на рис. 65, а и б).

271. По данным табл. 174 произвести разбивку насыпи и выемки (откосы $1 : 1,5$) : а) на ровной местности; б) на местности с поперечным уклоном $1 : n$. Ширина основной площадки земляного полотна $6,5$ м. В масштабе $1 : 100$ вычертить на миллиметровке схемы разбивки, приняв длину рейки $l_p = 3$ м.

Таблица 174

Вариант	Рабочие высоты, м		Уклон $1 : n$	Вариант	Рабочие высоты, м		Уклон $1 : n$
	Насыпь	Выемка			Насыпь	Выемка	
	p_n	p_v			p_n	p_v	
1	3,5	4,2	1 : 8	6	4,3	5,3	1 : 6
2	4,5	3,8	1 : 7	7	5,7	4,5	1 : 4
3	5,5	4,3	1 : 4	8	5,2	4,4	1 : 5
4	4,6	3,9	1 : 6	9	4,2	3,8	1 : 8
5	3,7	4,8	1 : 7	10	5,4	4,6	1 : 5

§ 68. РАЗБИВКА СТРЕЛОЧНЫХ СЪЕЗДОВ, УЛИЦ И ПОВОРОТНЫХ УСТРОЙСТВ

Соединение и пересечение путей в одном уровне на станциях, базах, промышленных предприятиях и т.д. производится с помощью стрелочных переводов.

Основные виды стрелочных переводов, их конструктивные части и размеры, необходимые для их разбивки, показаны на рис. 66. Основная характеристика стрелочного перевода — марка, которая является тангенсом угла крестовины. Марка крестовины стрелочного перевода задается дробью: $1/6$, $1/9$, $1/11$ и т.д. Следовательно, $\operatorname{tg} \alpha = 1 : N$, где N — показатель марки стрелочного перевода.

В табл. 175 приведены основные размеры стрелочных переводов в зависимости от их марки, необходимые для их разбивки. Для расчета на микрокалькуляторах выражим угол крестовины в долях градуса: $(1/11) = 5,19444^\circ$; $(1/9) = 6,34028^\circ$; $(1/6) = 9,46250^\circ$.

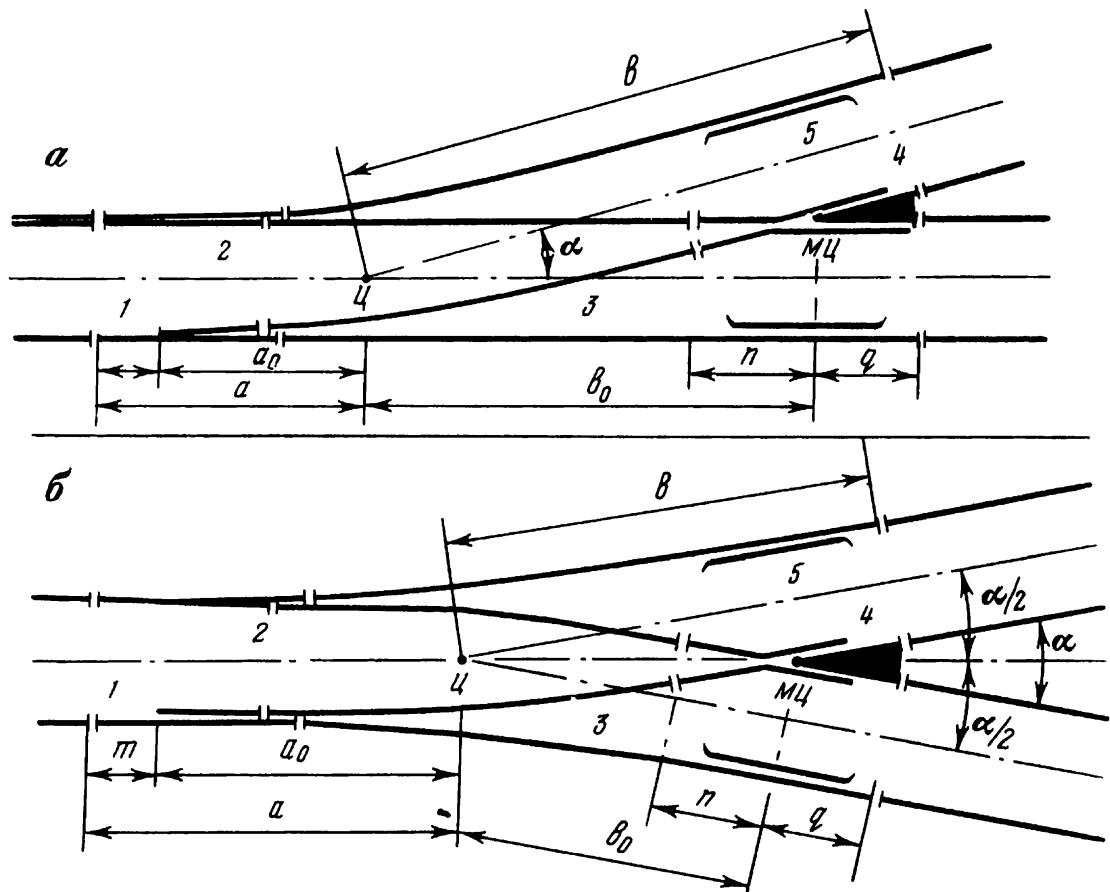


Рис. 66. Схемы стрелочных переводов:

а – обычного; *б* – симметричного; 1 – рамные рельсы; 2 – остряки; 3 – переводная кривая; 4 – крестовина; 5 – контррельсы

Таблица 175

Тип рельса	Марка перевода $1:N$	Угол крестовины α	Радиус переводной кривой, м	Расстояние от центра перевода до	
				стыка рамного рельса a , м	стыка хвостовой части крестовины b , м
<i>Обыкновенные стрелочные переводы</i>					
P50 и P43	1/11	$5^{\circ}11'40''$	297,26	14,47	19,05
	1/9	6 20 25	200,0	15,46	15,60
<i>Симметричные стрелочные переводы</i>					
P50 и P43	1/11	$5^{\circ}11'40''$	500	14,09	19,10
	1/9	6 20 25	400	15,76	15,64
	1/6	9 27 45	200	9,92	10,59

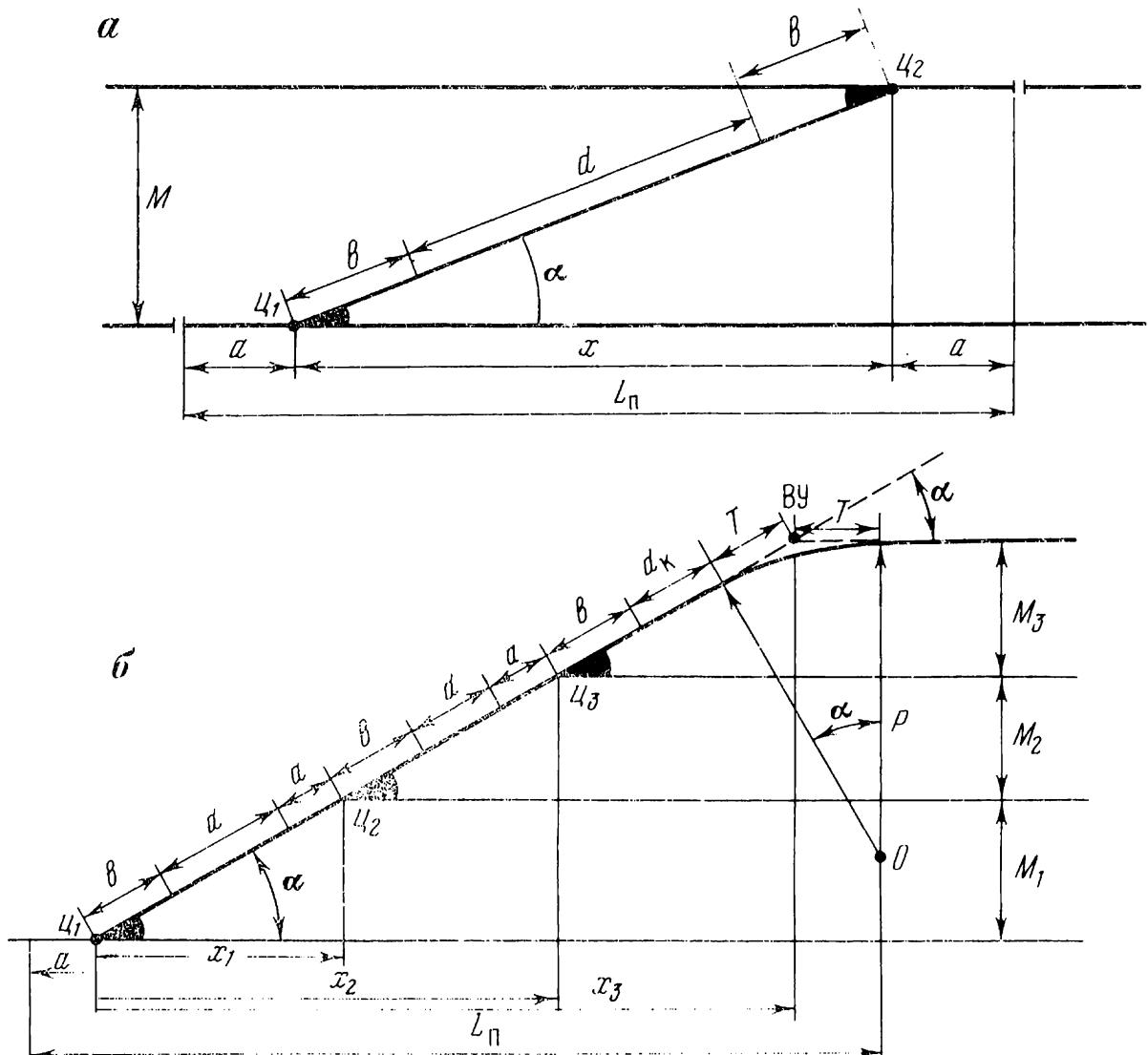


Рис. 67. Схемы стрелочного съезда (а) и стрелочной улицы (б) под углом крестовины

272. Разбить стрелочный съезд под углом крестовины α (рис. 67, а). Такие съезды устраивают при ширине между путями M (расстояние между осями соседних путей) до 7 м ($M < 7$ м). От стыка рамного рельса откладываем размер a и находим центр стрелочного перевода Π . Как следует из схемы разбивки (см. рис. 67, а), $M = x \operatorname{tg} \alpha$. Отсюда $x = M / \operatorname{tg} \alpha$.

Так как $\operatorname{tg} \alpha = 1/N$, то $x = NM$ (м). Принимаем для примера: марка перевода 1/9, $M = 5$ м. Тогда $x = 9 \cdot 5 = 45$ м. Проверяем достаточность прямой вставки между переводами d (м). Принимаем расстояние прямой вставки больше 10 м. $\Pi_1 \Pi_2 = M / \sin \alpha$, отсюда $d = (M / \sin \alpha) - 2b$ (м). В нашем примере $d = (5 / \sin 6,34028^\circ) - 2 \cdot 15,60 = 14,08$ м > 10 м. Определяем полную длину съезда: $L_{II} = x + 2a = 45 + 30,92 = 75,92$ м.

273. По данным табл. 176 рассчитать съезд под углом крестовины. Вычертить схему разбивки.

274. Стрелочная улица под углом крестовины α (рис. 67, б) проектируется в том случае, если первое между путем $M_1 < 7,0$ м. Принимаем для расчета: марка перевода 1/9; $M_1 = 5,30$; $M_2 = 5,75$; $M_3 = 6,10$ м.

Таблица 176

Вариант	$1 : N$	$M, \text{м}$	Вариант	$1 : N$	$M, \text{м}$
1	1/9	5,30	6	1/11	6,75
2	1/11	5,75	7	1/9	6,40
3	1/9	6,00	8	1/11	6,10
4	1/11	6,25	9	1/9	5,90
5	1/9	6,50	10	1/11	5,50

От стыка откладываем $a = 15,46$ и находим Π_1 .

Определяем расстояние по основному пути до Π_2 :

$$x_1 = N \cdot M = 9 \cdot 5,30 = 47,50.$$

До Π_3 $x_2 = x_1 + N \cdot M_2 = N(M_1 + M_2) = 9(5,30 + 5,75) = 99,45$ м.

Таким образом, формула в общем виде

$$x_i = N \sum_{1}^n M (\text{м}).$$

Определяем расстояние до точки ВУ: $x_3 = N(M_1 + M_2 + M_3)$. Для нашего примера: $x_3 = 9(5,30 + 5,75 + 6,10) = 9 \cdot 17,15 = 154,35$ м.

Полная длина стрелочной улицы

$$x_i = N \sum_{1}^n M + a + T,$$

где T – тангенс конечной кривой на последний путь. Угол поворота конечной кривой равен углу крестовины: $\alpha_k = \alpha_c$. Радиус конечной кривой должен быть не меньше радиуса переводной кривой стрелочного перевода.

По табл. 175 определяем радиус переводной кривой для марки 1/9 – 200 м.

По формуле $T_k = Ptg \alpha_k / 2$ определяем тангенс конечной кривой. Тангенс конечной кривой в нашем примере $R = 200$ м, $\alpha = 6,34028^\circ$, $T_k = 200 \operatorname{tg} 6,34028^\circ / 2 = 11,06$ м.

Полная длина стрелочной улицы в этом случае

$$L_{\text{пп}} = N \sum_{1}^n M + a + T_k.$$

Для нашего примера $L_{\text{пп}} = 154,35 + 15,46 + 11,06 = 180,87$ м.

Достаточность прямых вставок на внутренних междупутьях определяется по формуле

$$d = (M / \sin \alpha) - (b + a) \text{ (м)}.$$

Для крайнего междупутья

$$d_k = M_k / \sin \alpha - (b + T_k) \text{ (м)}.$$

В нашем примере:

$$d_1 = 5,30 / \sin 6,34028^\circ - (15,46 + 15,60) = 47,99 - 31,06 = 16,93 \text{ м};$$

$$d_2 = 5,75 / \sin 6,34028^\circ - 31,06 = 21,01 \text{ м};$$

$$d_k = 6,10 / \sin 6,34028^\circ - (15,60 + 11,06) = 55,24 - 26,66 = 28,58 \text{ м}.$$

275. По данным табл. 177 произвести расчет для разбивки стрелочной улицы под углом крестовины.

Таблица 177

Вариант	$1/N$	M_1 , м	M_2 , м	M_3 , м	Радиус кривой R , м
1	1/9	5,40	5,75	6,25	250
2	1/11	5,40	5,85	6,45	350
3	1/9	5,60	6,15	6,75	300
4	1/11	5,60	6,15	6,35	400
5	1/9	5,90	6,25	6,55	350
6	1/11	5,90	6,25	6,15	300
7	1/9	6,10	6,35	6,65	400
8	1/11	6,10	6,35	6,65	350
9	1/9	6,50	5,85	6,35	300
10	1/11	6,50	5,65	6,25	400

Вычертить схему стрелочной улицы.

При большом расстоянии между осями путей ($M > 7$ м) для уменьшения длины съезда устраивается сокращенный съезд, который кроме двух стрелочных переводов еще имеет две обратные кривые и прямую вставку между ними (рис. 68, а).

276. Исходные данные для расчета сокращенного съезда:

марка перевода $1/N$; радиусы кривых, которые принимаются одинаковыми, — $R_1 = R_2 = R_3$, м; длина прямой вставки между кривыми d , м; расстояние между осями путей M .

Для расчета принимаем: $1/N = 1/9$; $R = 200$ м; $d = 10$ м; $M = 7,35$ м. Из треугольника O_1KO_2 угол γ (см. рис. 68, а) определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \gamma = d/2R \text{ или } \gamma = \operatorname{arctg}(d/2R).$$

Угол β определяется по формуле

$$\cos \beta = [2(R \cos \alpha + b \sin \alpha) - M] \cos \gamma / 2R.$$

Отсюда, зная углы γ и β , определяем угол наклона стрелочной улицы к основному пути $\varphi = \beta - \gamma$ и угол поворота кривых $\alpha_K = \varphi - \alpha$.

Для нашего примера:

$$\operatorname{tg} \gamma = 10/2 \cdot 200 = 0,025. \text{ Отсюда } \gamma = 1,43209^\circ.$$

$$\cos \beta = [2(200 \cos 6,34028^\circ + 15,60 \sin 6,34028^\circ) - 7,35] \cos 1,43209^\circ / 2 \cdot 200 = 0,98381. \text{ Отсюда } \beta = 10,32308^\circ.$$

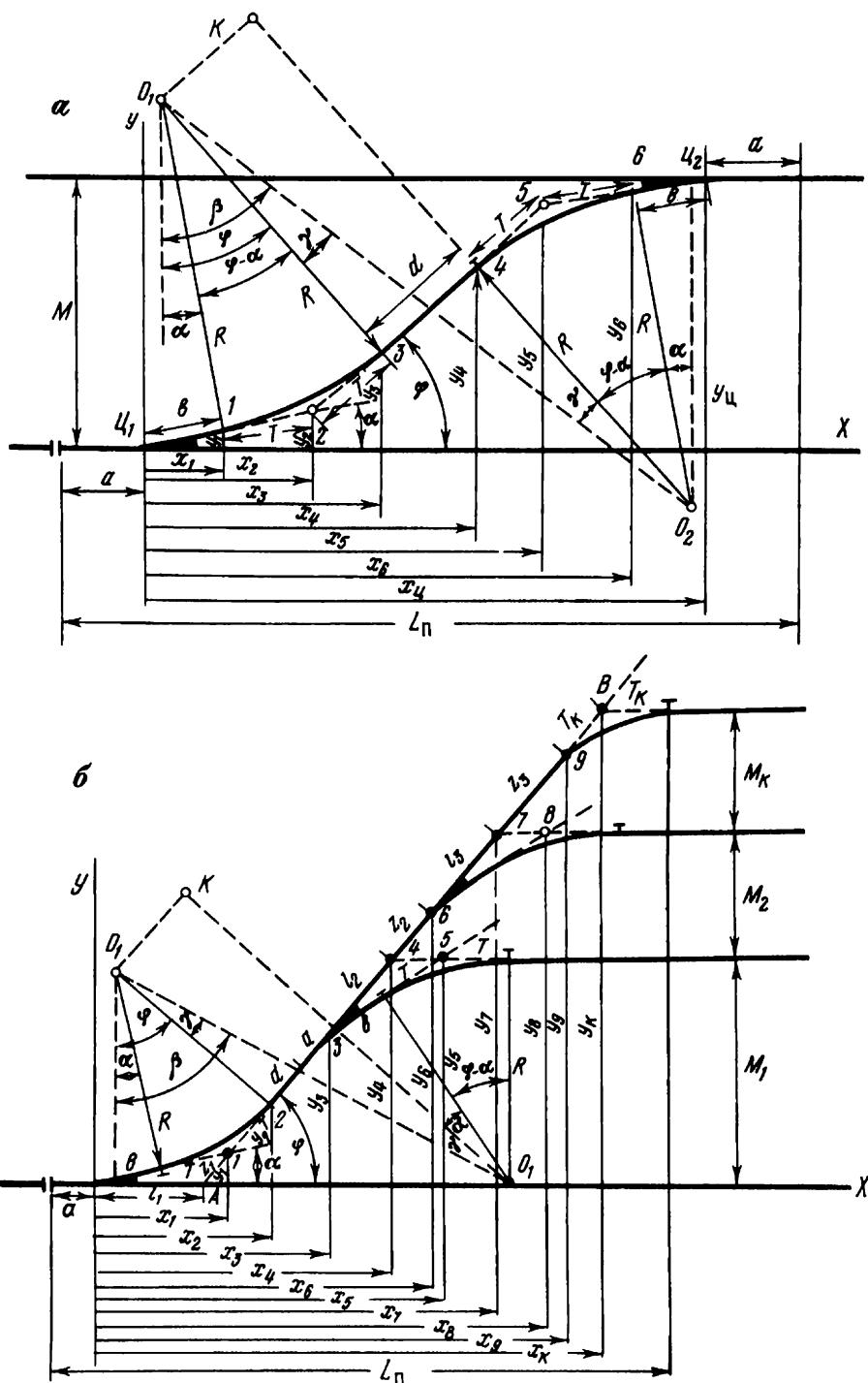


Рис. 68. Схемы сокращенного стрелочного съезда (а) и стрелочной улицы (б)

Угол наклона стрелочной улицы $\varphi = 10,32308^\circ - 1,43209^\circ = 8,89099^\circ$.

Угол поворота кривой $a_K = 8,89099^\circ - 6,34028^\circ = 2,55071^\circ$.

Определяем тангенс обратных кривых: $T = R \operatorname{tg} a/2 = 200 \times 1,27535^\circ = 4,452$ м.

Прежде чем вычислять координаты точек разбивки сокращенного съезда, выполним контроль вычисления углов. Для этого определим сумму проекций всех элементов съезда на ось Y , которая должна быть равна ширине междупутья M

$$M = \sum_1^n y_i = 2(b + T) \sin \alpha + (2T + d) \sin \varphi.$$

Выполним контрольное вычисление для нашего примера:

$$\begin{aligned} M &= 2(15,60 + 4,452) \sin 6,34028^\circ + (2 \cdot 4,452 + 10) \sin 8,89099^\circ = \\ &= 40,104 \sin 6,34028^\circ + 18,904 \sin 8,89099^\circ = 4,428 + 2,921 = \\ &= 7,349 \text{ м.} \end{aligned}$$

Определяем координаты точек разбивки съезда:

точка 1

$$x_1 = b \cos \alpha = 15,60 \cos 6,34028^\circ = 15,504 \text{ м};$$

$$y_1 = b \sin \alpha = 15,60 \sin 6,34028^\circ = 1,723 \text{ м};$$

точка 2

$$x_2 = x_1 + T \cos \alpha = 15,504 + 4,452 \cos 6,34028^\circ = 19,925 \text{ м};$$

$$y_2 = y_1 + T \sin \alpha = 1,723 + 4,452 \sin 6,34028^\circ = 2,215 \text{ м};$$

точка 3

$$x_3 = x_2 + T \cos \varphi = 19,925 + 4,452 \cos 8,89099^\circ = 24,321 \text{ м};$$

$$y_3 = y_2 + T \sin \varphi = 2,215 + 4,452 \sin 8,89099^\circ = 2,902 \text{ м};$$

точка 4

$$x_4 = x_3 + d \cos \varphi = 24,321 + 10 \cos 8,89099^\circ = 34,200 \text{ м};$$

$$y_4 = y_3 + d \sin \varphi = 2,902 + 10 \sin 8,89099^\circ = 4,447 \text{ м};$$

точка 5

$$x_5 = x_4 + T \cos \varphi = 34,200 + 4,452 \cos 8,89099^\circ = 38,596 \text{ м};$$

$$y_5 = y_4 + T \sin \varphi = 4,447 + 4,452 \sin 8,89099^\circ = 5,134 \text{ м};$$

точка 6

$$x_6 = x_5 + T \cos \alpha = 38,596 + 4,452 \cos 6,34028^\circ = 43,017 \text{ м};$$

$$y_6 = y_5 + T \sin \alpha = 5,134 + 4,452 \sin 6,34028^\circ = 5,626 \text{ м};$$

точка II₂

$$x_{II} = x_6 + b \cos \alpha = 43,017 + 15,60 \cos 6,34028^\circ = 58,517 \text{ м};$$

$$y_{II} = y_6 + b \sin \alpha = 5,626 + 15,60 \sin 6,34028^\circ = 7,349 \text{ м.}$$

Полная длина съезда

$$L_{II} = x_{II} + 2a = 58,517 + 2 \cdot 15,46 = 89,437 \text{ м.}$$

По данным табл. 178 определить расчетом все элементы сокращенного съезда и координаты для его разбивки. Для всех вариантов принять длину прямой вставки между обратными кривыми $d = 12,50$ м.

Вычертить схему разбивки сокращенного съезда.

Таблица 178

Вариант	$1/N$	$R, \text{м}$	$M, \text{м}$	Вариант	$1/N$	$R, \text{м}$	$M, \text{м}$
1	1/9	250	10,60	6	1/11	300	11,80
2	1/11	300	11,00	7	1/9	300	11,20
3	1/9	300	10,80	8	1/11	350	12,00
4	1/11	350	11,40	9	1/9	250	11,40
5	1/9	250	11,00	10	1/11	300	12,40

При большом количестве путей и больших междупутьях для сокращения длины стрелочной улицы устраивают сокращенную стрелочную улицу. Расчет ее в принципе аналогичен расчету сокращенного съезда (рис. 68, б). Возможность устройства сокращенной стрелочной улицы и, следовательно, величина угла наклона стрелочной улицы к основному пути зависит только от ширины первого междупутья, и оно должно быть больше 7 м, т.е. $M_1 > 7$ м.

278. Определить элементы сокращенной стрелочной улицы и координаты для ее разбивки.

Стрелочные переводы марки 1/9, радиусы кривых $R = 200$ м, междупутья $M_1 = 10,00$ м; $M_2 = 6,30$ м; $M_3 = 5,50$ м, прямая вставка $d = 10$ м. Для обычного стрелочного перевода марки 1/9 по табл. 175 $\alpha = 6,34028^\circ$; $d = 15,46$ м; $b = 15,60$ м. Принцип расчета в этом случае в основном аналогичен расчету сокращенного стрелочного съезда с небольшими дополнительными расчетами по формулам, которые приводятся ниже. Определяем угол γ по формуле (рис. 68, б)

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{d + a + b \cos \alpha - R \sin \alpha}{[R(1 + \cos \alpha) + b \sin \alpha]} ;$$

$$\cos \beta = \frac{[R(1 + \cos \alpha) + b \sin \alpha] - M}{[R(1 + \cos \alpha) + b \sin \alpha]} \cos \gamma.$$

Определяем углы для нашего примера:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{10 + 15,46 + 15,60 \cos 6,34028^\circ - 200 \sin 6,34028^\circ}{[200(1 + \cos 6,34028^\circ) + 15,60 \sin 6,34028^\circ]} =$$

$$= \frac{18,877}{[400, 500]} = 0,0471335. \text{ Отсюда } \gamma = 2,69855^\circ.$$

Сравнивая формулы для определения γ и β , замечаем, что в знаменателе выражения в квадратных скобках одинаковы и величина их [400, 500].

Тогда формула для определения β примет в нашем примере вид:

$$\cos \beta = \frac{400,500 - 10}{400,500} = \cos 2,69855^\circ = 0,97395. \text{ Отсюда}$$

$$\beta = 13,10692^\circ.$$

Угол наклона стрелочной улицы

$$\varphi = \beta - \gamma = 13,10692^\circ - 2,69855^\circ = 10,40837^\circ.$$

Угол поворота кривой

$$\alpha_k = \varphi - \alpha = 10,40837^\circ - 6,34028^\circ = 4,06809^\circ.$$

Определяем тангенс кривой: $T = R \operatorname{tg} \alpha/2 = 200 \cdot \operatorname{tg} 2,034045^\circ = 7,103 \text{ м.}$

Контроль вычисления углов:

$$\Sigma y = M_1 (b + T) \sin \alpha + (T + d + a) \sin \varphi + (b + T) \sin \alpha_k.$$

В нашем примере

$$\begin{aligned} \Sigma y = M_1 &= (15,60 + 7,103) \sin 6,34028^\circ + (7,103 + 10 + 15,46) \times \\ &\times \sin 10,40837^\circ + (15,60 + 7,103) \sin 4,06809^\circ = 2,507 + 5,883 + \\ &+ 1,610 = 10,000 \text{ м.} \end{aligned}$$

Определяем координаты для разбивки стрелочной улицы:
точка 1

$$x_1 = (b + T) \cos \alpha = (15,60 + 7,103) \cos 6,34028^\circ = 22,564 \text{ м};$$

$$y_1 = (b + T) \sin \alpha = (15,60 + 7,103) \sin 6,34028^\circ = 2,507 \text{ м};$$

точка 2

$$x_2 = x_1 + T \cos \varphi = 22,564 + 7,103 \cos 10,40837^\circ = 29,550 \text{ м};$$

$$y_2 = y_1 + T \sin \varphi = 2,507 + 7,103 \sin 10,40837^\circ = 3,790 \text{ м};$$

точка 3

$$\begin{aligned} x_3 &= x_2 + (d + a) \cos \varphi = 29,550 + (10 + 15,46) \cos 10,40837^\circ = \\ &= 54,591 \text{ м}; \end{aligned}$$

$$y_3 = y_2 + (d + a) \sin \varphi = 3,790 + (10 + 15,46) \sin 10,40837^\circ = \\ = 8,390 \text{ м.}$$

Далее необходимо определить длину отрезка l_1 . По условию задачи стрелочные переводы одинаковой марки, и поэтому $l_1 = l_2 = l_3$ м. Угол при вершине A равен $180^\circ - \varphi = 180^\circ - 10,40837^\circ = 169,59163^\circ$. По теореме синусов имеем

$$\frac{b + T}{\sin(180^\circ - \varphi)} = \frac{l_1}{\sin \alpha_K}; \quad l_1 = \frac{b + T}{\sin(180^\circ - \varphi)} \sin \alpha_K;$$

$$\frac{b + T}{\sin 169,59163^\circ} = \frac{l_1}{\sin \alpha_K}$$

Отсюда

$$l_1 = \frac{b + T}{\sin 169,59163^\circ} \sin 4,06809^\circ = \frac{15,60 + 7,103}{0,180663} \times$$

$$\times 0,070942 = 8,916 \text{ м.}$$

Следовательно, $l_1 = l_2 = l_3 = 8,916$.
Точка 4

$$x_4 = x_3 + l_2 \cos \varphi = 54,591 + 8,916 \cos 10,40837^\circ = 63,360 \text{ м};$$

$$y_4 = y_3 + l_2 \sin \varphi = 8,390 + 8,916 \sin 10,40837^\circ = 10,001 \text{ м.}$$

Точка 5

$$x_5 = x_3 + (b + T) \cos \alpha_K = 54,591 + (15,60 + 7,103) \times \\ \times \cos 4,06809^\circ = 77,236 \text{ м};$$

$$y_5 = y_3 + (b + T) \sin \alpha_K = 8,390 + (15,60 + 7,103) \times \\ \times \sin 4,06809^\circ = 10,000 \text{ м.}$$

Далее необходимо определить длину стрелочной улицы между точками 4 – 7:

$$l_{4-7} = \frac{M_2}{\sin \varphi} = \frac{6,30}{\sin 10,40837^\circ} = 34,871 \text{ м.}$$

$$\text{Тогда отрезок } z_2 = l_{4-7} - l_3 = 34,871 - 8,916 = 25,955 \text{ м.}$$

Точка 6

$$x_6 = x_4 + z_2 \cos \varphi = 63,360 + 25,955 \cos 10,40837^\circ = 88,888 \text{ м};$$

$$y_6 = y_4 + z_2 \sin \varphi = 10,000 + 25,955 \sin 10,40837^\circ = 14,689 \text{ м}.$$

Точка 7

$$x_7 = x_6 + l_3 \cos \varphi = 88,888 + 8,916 \cos 10,40837^\circ = 97,657 \text{ м};$$

$$y_7 = y_6 + l_3 \sin \varphi = 14,689 + 8,916 \sin 10,40837^\circ = 16,300 \text{ м}.$$

Точка 8

$$x_8 = x_6 + (b + T) \cos \alpha_K = 88,888 + (15,60 + 7,103) \cos 4,06809^\circ = 111,534 \text{ м};$$

$$y_8 = y_6 + (b + T) \sin \alpha_K = 14,689 + (15,60 + 7,103) \sin 4,06809^\circ = 16,2995 \text{ м}.$$

Здесь следует опять проконтролировать свои расчеты:

$$y_7 = y_8 = M_1 + M_2 = 10,000 + 6,300 = 16,300 \text{ м}.$$

Определяем длину стрелочной улицы в последующем между ними:

$$l_{7B} = M_K / \sin \varphi = 5,50 / \sin 10,40837^\circ = 30,443 \text{ м}.$$

Тангенс конечной кривой $T_K = R \operatorname{tg} \varphi / 2 = 200 \cdot \operatorname{tg} 5,204185^\circ = 18,216 \text{ м}$.

$$\text{Тогда } z_3 = l_{7B} - T_K = 30,443 - 18,216 = 12,227 \text{ м}.$$

Точка 9

$$x_9 = x_7 + z_3 \cos \varphi = 97,657 + 12,227 \cos 10,40837^\circ = 109,683 \text{ м};$$

$$y_9 = y_7 + z_3 \sin \varphi = 16,300 + 12,227 \sin 10,40837^\circ = 18,509 \text{ м}.$$

Координаты точки B :

$$x_K = x_9 + T_K \cos \varphi = 109,683 + 18,216 \cos 10,40837^\circ = 127,599 \text{ м};$$

$$y_K = y_9 + T_K \sin \varphi = 18,509 + 18,216 \sin 10,40837^\circ = 21,800 \text{ м}.$$

Контроль:

$$y_K = \sum_1^n M = M_1 + M_2 + M_3 = 10,000 + 6,30 + 5,50 = 21,800 \text{ м}.$$

Далее определяем длину стрелочной улицы по линии AB :

$$AB = \sum_1^n M / \sin \varphi = 21,800 / \sin 10,40837^\circ = 120,666 \text{ м}.$$

Для контроля своих вычислений просуммируем уже известные отрезки по стрелочной улице:

$$AI + T + d + a + l_2 + z_2 + l_3 + z_k + T_k = 13,877 + 7,103 + \\ + 10,00 + 15,46 + 8,916 + 25,955 + 8,916 + 12,227 + 18,216 = \\ = 120,670 \text{ м.}$$

Полная длина стрелочной улицы по оси X :

$$L_{\pi} = x_k + a + T_k = AB \cos \varphi + a + l_1 + T_k.$$

Для нашего примера:

$$L_{\pi} = 127,599 + 15,46 + 18,216 = 161,276 \text{ м};$$

$$L_{\pi} = 120,670 \cos 10,40837^\circ + 15,46 + 8,916 + 18,216 = 161,276 \text{ м.}$$

Если устраивать стрелочную улицу под углом крестовины, то длина ее будет

$$L_{\pi} = N \sum_1^n M + a + T_k = 9 \cdot 21,80 + 15,46 + 18,22 = 229,88 \text{ м},$$

что значительно больше длины сокращенной стрелочной улицы.

279. По данным табл. 179. определить элементы сокращенной стрелочной улицы и координаты для ее разбивки. Для всех вариантов принять длину прямой вставки на первом междупутье $d = 12,50$ м. Вычертить схему сокращенной стрелочной улицы. Для поворота локомотивов, путевых машин и т.д. служат поворотные устройства — поворотная петля или треугольник. Поворотная петля может быть двух видов: с выходом на два пути (рис. 69, а) или с выходом на один путь (рис. 69, б).

280. Определить элементы поворотной петли с выходом на два пути и координаты для ее разбивки.

Таблица 179

Вариант	$1/N$	M_1 , м	M_2 , м	M_3 , м	R , м
1	1/11	12,50	8,20	7,10	300
2	1/9	11,50	7,30	6,80	250
3	1/11	12,90	8,50	7,20	350
4	1/9	13,50	7,80	7,30	300
5	1/11	15,50	8,70	7,50	300
6	1/9	12,20	7,50	7,70	250
7	1/11	14,50	9,10	7,90	350
8	1/9	15,30	8,30	7,60	300
9	1/11	14,60	8,60	8,10	300
10	1/9	15,10	7,90	6,90	250

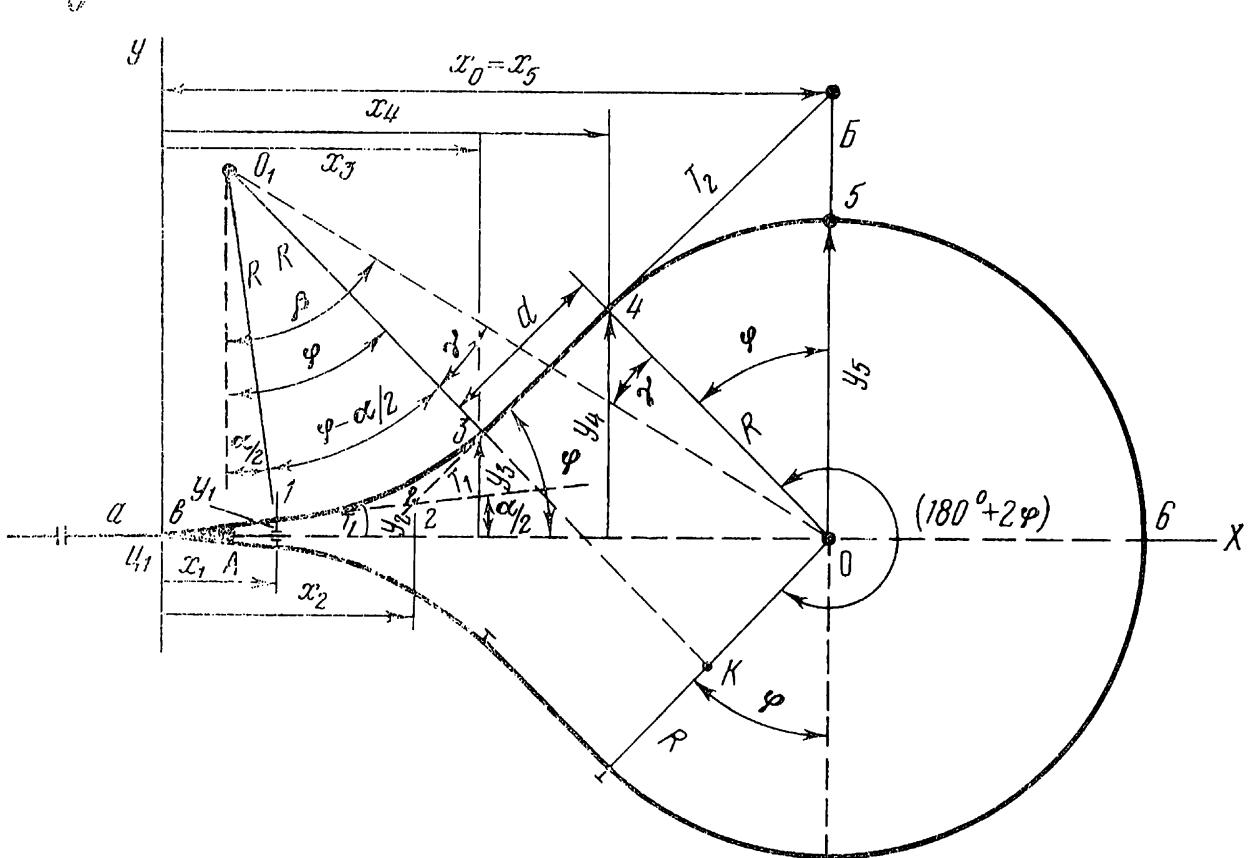
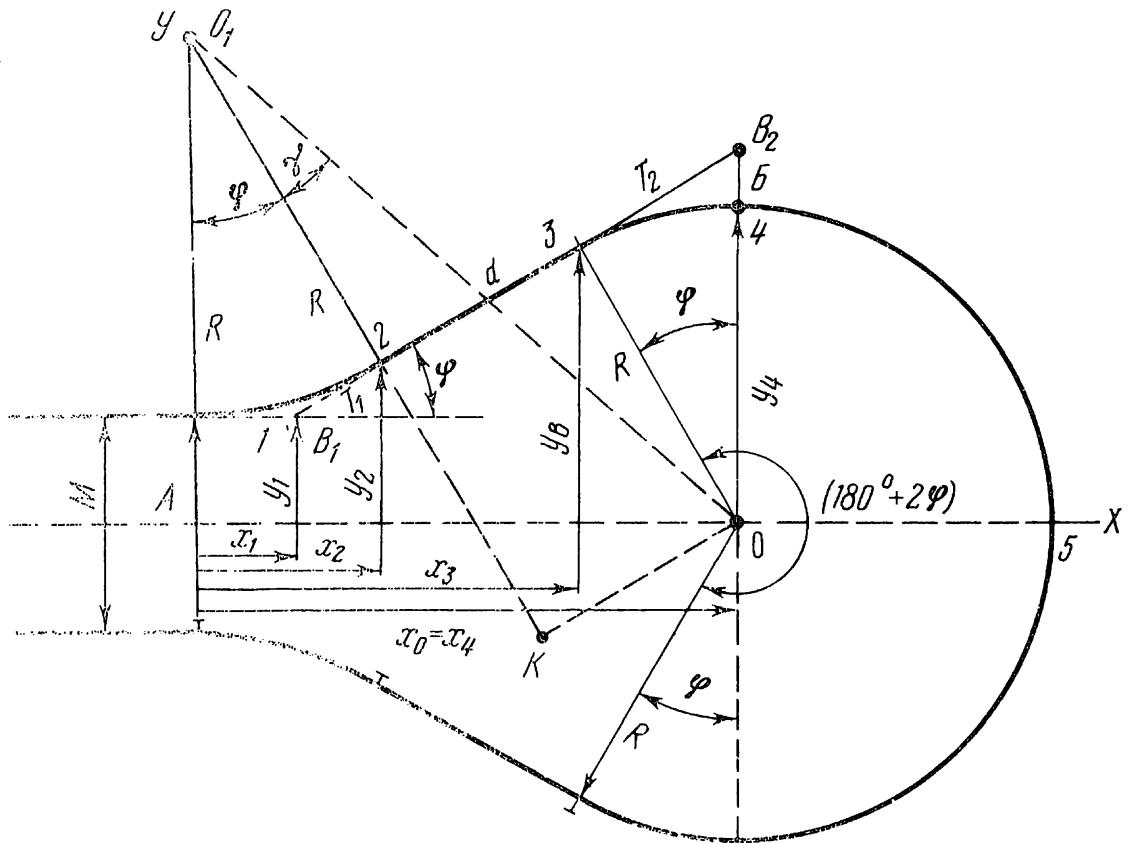


Рис. 69. Схемы поворотной петли

Исходные данные: $M = 6,00$ м; $R = 200$ м; $d = 10,00$ м.

Определяем угол γ по формуле $\operatorname{tg} \gamma = d/2R$. Для нашего примера $\operatorname{tg} \gamma = 10,00/2 \cdot 200 = 0,025$. Отсюда $\gamma = 1,432091^\circ$.

Из треугольника OKO_1 находим гипотенузу OO_1

$$OO_1 = \sqrt{4R^2 + d^2} = \sqrt{4 \cdot 200^2 + 10^2} = 400,125 \text{ м.}$$

Из треугольника OAO_1 находим $x_0^2 = OO_1^2 - (R + M/2)^2$.

Преобразовав выражение, находим формулу

$$x_0 = \sqrt{3R^2 + d^2 - RM - 0,25M^2}.$$

Для нашего примера

$$x_0 = \sqrt{3 \cdot 200^2 + 10^2 - 200 \cdot 6,0 - 0,25 \cdot 6^2} = 344,806 \text{ м.}$$

Угол β может быть определен по формуле

$$\sin \beta = x_0 / \sqrt{4R^2 + d^2} \text{ или } \cos \beta = (R + 0,5M) / \sqrt{4R^2 + d^2}.$$

В нашем примере

$$\sin \beta = 344,806 / 400,125 = 0,861745. \text{ Отсюда } \beta = 59,51307^\circ;$$

$$\cos \beta = (200 + 0,5 \cdot 6,0) / 400,125 = 0,507341. \beta = 59,51309^\circ.$$

Принимаем для дальнейших расчетов $\beta = 59,51308^\circ$. Угол поворота первой кривой $\varphi = \beta - \gamma = 59,51308^\circ - 1,43209^\circ = 58,08099^\circ$. Угол поворота петли: $180 + 2\varphi = 180^\circ + 2 \cdot 58,08099^\circ = 296,16198^\circ$.

Так как петля симметрична относительно оси X , то определяем координаты для разбивки верхней полупетли.

Точка 1

$$x_1 = T = R \operatorname{tg} \varphi / 2 = 200 \cdot 0,555233 = 111,047 \text{ м};$$

$$y_1 = 0,5M = 3,000 \text{ м.}$$

Точка 2

$$x_2 = x_1 + T \cos \varphi = 111,047 + 111,047 \cos 58,08099^\circ = 169,759 \text{ м};$$

$$y_2 = y_1 + T \sin \varphi = 3,000 + 111,047 \sin 58,08099^\circ = 97,256 \text{ м.}$$

Эти же величины для контроля определим по другим формулам:

$$x_2 = R \sin \varphi = 200 \sin 58,08099^\circ = 169,759 \text{ м};$$

$$y_2 = 0,5M + R(1 - \cos \varphi) = 3,00 + 200(1 - \cos 58,08099^\circ) = \\ = 3,00 + 94,256 = 97,256 \text{ м.}$$

Точка 3

$$x_3 = x_2 + d \cos \varphi = 169,759 + 10 \cos 58,08099^\circ = 175,047 \text{ м};$$

$$y_3 = y_2 + d \sin \varphi = 97,256 + 10 \sin 58,08099^\circ = 105,744 \text{ м.}$$

Точка 4

$$x_4 = x_3 + T_2 \cos \varphi,$$

где T_2 – тангенс кривой при угле поворота 2φ :

$$T_2 = R \operatorname{tg} \alpha/2 = 200 \operatorname{tg} \varphi = 200 \operatorname{tg} 58,08099^\circ = 321,076 \text{ м.}$$

Тогда $x_4 = 175,047 + 321,076 \cos 58,08099^\circ = 344,806 = X_0 = 344,806 \text{ м};$

$$y_4 = y_3 + T_2 \sin \varphi - \mathbf{B},$$

где \mathbf{B} – биссектриса кривой при угле поворота 2φ .

Определяем биссектрису по формуле

$$\mathbf{B} = R \left(\frac{1}{\cos \alpha/2} - 1 \right).$$

Для нашего примера $\mathbf{B} = 200(1/\cos 58,08099^\circ - 1) = 178,272 \text{ м.}$
Тогда $y_4 = 105,744 + 321,076 \sin 58,08099^\circ - 178,272 = 200,0 = R.$
Координаты точки 4 можно для контроля определить по другим формулам: $x_4 = x_3 + R \sin \varphi$ и $y_4 = R/\cos \varphi - \mathbf{B}$. Для нашего примера $x_4 = 175,047 + 200 \sin 58,08099^\circ = 344,806 \text{ м}; y_4 = (200/\cos 58,08099^\circ) - 178,272 = 200,0 \text{ м.}$

Точка 5

$$x_5 = x_0 + R = 344,806 + 200 = 544,806 \text{ м}; y_5 = 0.$$

Определяем полную длину поворотной петли по формуле

$$L_{\text{п}} = 2K_1 + 2d + K = (2 \cdot 2\pi R \varphi/180^\circ) + 2d + [2\pi R (180^\circ - 2\varphi)]/180^\circ.$$

Для нашего примера

$$L_{\text{п}} = 2 \cdot \frac{2\pi \cdot 200 \cdot 58,08099^\circ}{180^\circ} + 2 \cdot 10 + \frac{2\pi \cdot 200 \cdot 296,16198^\circ}{180^\circ} = 810,963 + 20 + 2067,6 = 2898,56 \text{ м.}$$

281. По данным табл. 180 определить элементы поворотной петли с выходом на два пути и координаты для ее разбивки. Вычертить схему поворотной петли.

282. Определить элементы поворотной петли с выходом на один путь (рис. 69, б). Стрелочный перевод симметричный, $1/6$, $R = 200 \text{ м}$, $d = 10 \text{ м}$.

Таблица 180

Вариант	$M, \text{ м}$	$d, \text{ м}$	$R, \text{ м}$	Вариант	$M, \text{ м}$	$d, \text{ м}$	$R, \text{ м}$
1	5,30	20	150	6	6,70	20	180
2	5,80	25	150	7	7,00	25	180
3	6,00	30	150	8	7,50	30	180
4	6,20	35	150	9	7,70	35	180
5	6,50	40	150	10	8,00	40	180

Для симметричного перевода марки 1/6 имеем $\alpha = 9^\circ 27'45'' = 9,46250^\circ$, $a = 9,92 \text{ м}$, $b = 10,59 \text{ м}$.

Определяем $\tan \gamma = d/2R = 10/2 \cdot 200 = 0,025$. Отсюда угол $\gamma = 1,432091^\circ$.

Из треугольника OKO_1 определяем гипотенузу:

$$OO_1 = \sqrt{4R^2 + d^2} = 2R/\cos \gamma.$$

Угол β определяется по формулам:

$$\cos \beta = \frac{R \cos \alpha/2 + b \sin \alpha/2}{\sqrt{4R^2 + d^2}}$$

или

$$\cos \beta = \frac{R \cos \alpha/2 + b \sin \alpha/2}{2R} \cos \gamma.$$

Для нашего примера $\alpha/2 = 9,4625/2 = 4,73125^\circ$.

Гипотенуза

$$OO_1 = \sqrt{4 \cdot 200^2 + 10^2} = 400,125 \text{ м.}$$

$$\cos \beta = 200 \cdot \cos 4,73125^\circ + 10,59 \sin 4,73125^\circ / 400,125 = 0,500293 \text{ и } \beta = 59,9806^\circ.$$

Тогда $\varphi = \beta - \gamma = 59,9806^\circ - 1,432091^\circ = 58,548509^\circ$.

Угол поворота первой кривой $a_k = \varphi - \alpha/2 = 58,548509^\circ - 4,73125^\circ = 53,817259^\circ$. Угол поворота кривой петли: $180^\circ + 2\varphi = 180^\circ + 2 \cdot 58,548509^\circ = 297,09701^\circ$.

Определяем расстояние $I_1 O = x_0$ по формуле

$$x_0 = AO + b \cos \alpha/2 - R \sin \alpha/2 = \sqrt{O_1 O^2 - AO_1^2} + b \cos \alpha/2 - R \sin \alpha/2.$$

Для нашего примера

$$x_0 = \sqrt{400,125^2 - 200,179^2} + 10,59 \cos 4,73125^\circ - 200 \times \\ \times \sin 4,73125^\circ = 340,510 \text{ м.}$$

Определяем координаты точек для разбивки петли.

Точка 1

$$x_1 = b \cos \alpha/2 = 10,59 \cos 4,73125^\circ = 10,554 \text{ м};$$

$$y_1 = b \sin \alpha/2 = 10,59 \sin 4,73125^\circ = 0,873 \text{ м.}$$

Точка 2

Определяем тангенс первой кривой $T_1 = R \operatorname{tg} \alpha_k/2 = 200 \operatorname{tg} x \\ \times 53,817259^\circ/2 = 200 \operatorname{tg} 26,908629^\circ = 101,504 \text{ м};$

$$x_2 = x_1 + T_1 \cos \alpha/2 = 10,554 + 101,504 \cos 4,73125^\circ = 111,712 \text{ м};$$

$$y_2 = y_1 + T_1 \sin \alpha/2 = 0,873 + 101,504 \sin 4,73125^\circ = 9,245 \text{ м.}$$

Точка 3

$$x_3 = x_2 + T_1 \cos \varphi = 111,712 + 101,504 \cos 58,548509^\circ = 164,675 \text{ м};$$

$$y_3 = y_2 + T_1 \sin \varphi = 9,245 + 101,504 \sin 58,548509^\circ = 95,836 \text{ м.}$$

Точка 4

$$x_4 = x_3 + d \cos \varphi = 164,675 + 10 \cos 58,548509^\circ = 169,893 \text{ м};$$

$$y_4 = y_3 + d \sin \varphi = 95,836 + 10 \sin 58,548509^\circ = 104,367 \text{ м.}$$

Точка 5

Определяем тангенс кривой при угле поворота 2φ :

$$T_2 = R \operatorname{tg} \varphi = 200 \operatorname{tg} 58,548509^\circ = 326,991 \text{ м};$$

$$x_5 = x_4 + T_2 \cos \varphi = 169,893 + 326,991 \cos 58,548509^\circ = \\ = 340,509 \text{ м.}$$

Для контроля вычислений определим эту величину по другой формуле:

$$x_5 = x_4 + R \sin \varphi = 169,893 + 200 \sin 58,548509^\circ = 340,509 \text{ м};$$

$$y_5 = y_4 + T_2 \sin \varphi - B.$$

Необходимо определить биссектрису кривой при угле поворота 2φ :

$$B = R(1/\cos \varphi - 1) = 200(1/\cos 58,548509^\circ - 1) = 183,305 \text{ м};$$

$$y_5 = 104,367 + 326,991 \sin 58,548509^\circ - 183,305 = 200,001 \text{ м.}$$

Точка 6

$$x_6 = x_5 + R = 340,509 + 200 = 540,509 \text{ м}; y_6 = 0.$$

Определяем полную длину поворотной петли с выходом на один путь:

$$\begin{aligned} L_{\pi} &= a + 2b + 2[(2\pi R \alpha_K)/180^\circ] + [2\pi R(180^\circ + 2\varphi)]/180^\circ = \\ &= 9,92 + 2 \cdot 10,59 + 2[(2\pi 200 \cdot 53,817259^\circ)/180^\circ] + \\ &+ [(2\pi 200 \cdot 297,09701^\circ)/180^\circ] = 2856,659 \text{ м}. \end{aligned}$$

283. По данным табл. 181 определить элементы поворотной петли с выходом на один путь и координаты для ее разбивки. Для всех вариантов стрелочный перевод симметричный.

Таблица 181

Вариант	$1/N$	$R, \text{м}$	$d, \text{м}$	Вариант	$1/N$	$R, \text{м}$	$d, \text{м}$
1	1/11	150	30	6	1/6	180	50
2	1/9	180	35	7	1/11	150	45
3	1/6	150	40	8	1/9	180	40
4	1/11	180	45	9	1/6	150	35
5	1/9	150	50	10	1/9	180	30

284. Определить элементы поворотного треугольника с прямым основным путем (рис. 70, а).

Поворотный треугольник имеет два обычновенных стрелочных перевода марки 1/9 и один симметричный марки 1/6. Радиусы кривых $R = 200 \text{ м}$. Как следует из схемы на рис. 70, а, угол поворота кривой $\alpha_K = (90 - 1,5\alpha)$. Эта формула справедлива, если три стрелочных перевода имеют одинаковую марку.

В нашем примере имеем: стрелочный перевод марки 1/9 – $\alpha_9 = 6,34028^\circ$ и симметричный перевод марки 1/6 – $\alpha_6 = 9,46250^\circ$, а $\alpha_6/2 = 4,73125^\circ$. Следовательно, угол поворота кривой в нашем случае

$$\alpha_K = 90 - \alpha_9 - \alpha_6/2 = 90^\circ - 6,34028^\circ - 4,73125^\circ = 78,92847^\circ.$$

Определяем тангенс кривых: $T = R \operatorname{tg} 78,92847/2 = 200 \operatorname{tg} x 39,464235^\circ = 164,6576 \text{ м}$.

Для разбивки точек O, Π_2, Π_3 на местности необходимо определить главные координаты x_0, y_0 .

Они определяются по формулам

$$x_0 = R \cos \alpha_6/2 + b_2 \sin \alpha_6/2 + b_1 \cos \alpha_9 - R \sin \alpha_9;$$

$$y_0 = R \cos \alpha_9 + b_1 \sin \alpha_9 + b_2 \cos \alpha_6/2 - R \sin \alpha_6/2.$$

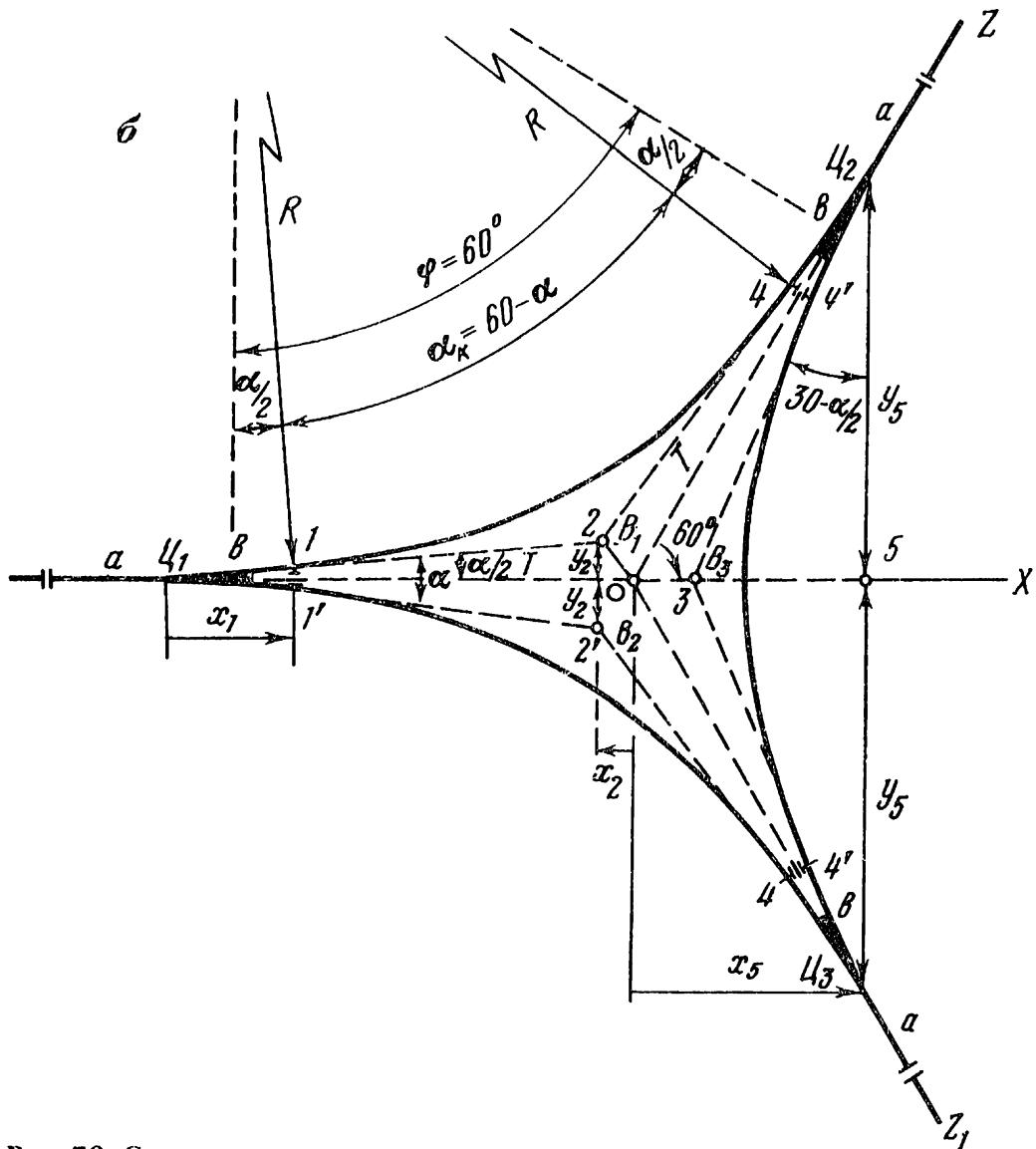
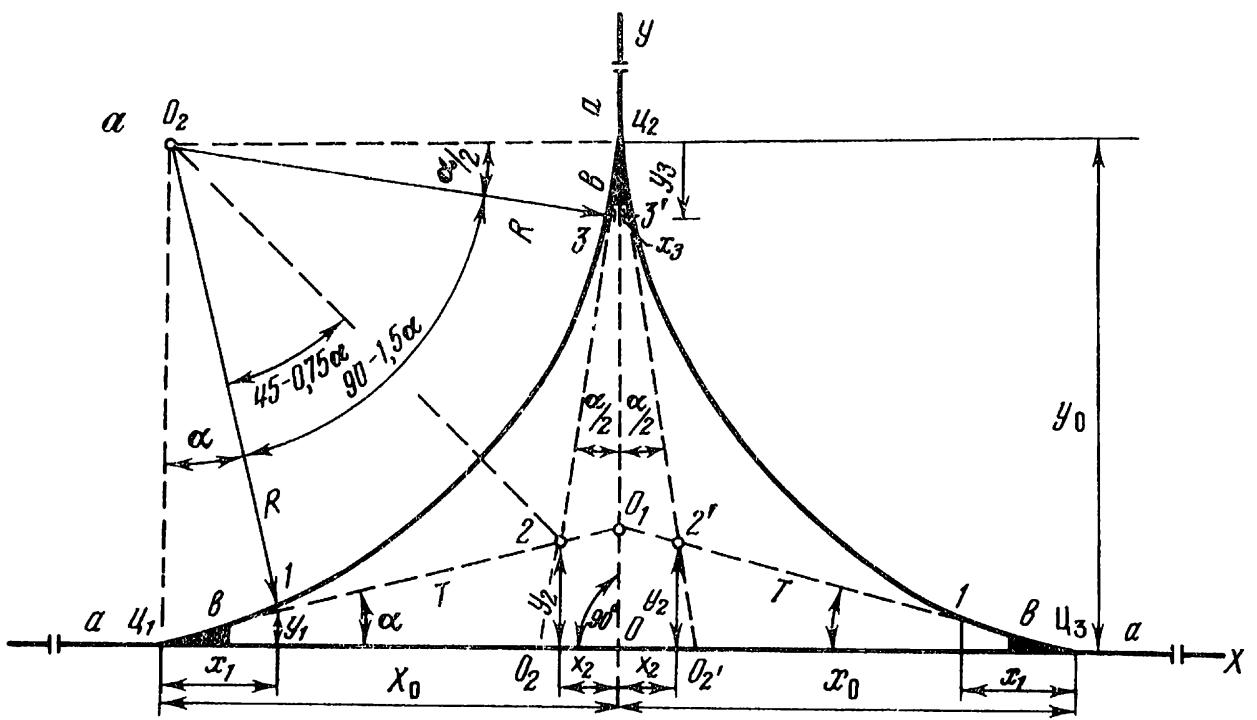


Рис. 70. Схемы поворотных треугольников:

a – с прямым основным путем; *б* – симметричного

В нашем примере:

$$\begin{aligned}x_0 &= 200 \cos 4,73125^\circ + 10,59 \sin 4,73125^\circ + 15,60 \cos 6,34028^\circ - \\&- 200 \sin 6,34028^\circ = 193,609 \text{ м;} \\y_0 &= 200 \cos 6,34028^\circ + 15,60 \sin 6,34028^\circ + 10,59 \cos 4,73125^\circ - \\&- 200 \sin 4,73125^\circ = 194,558 \text{ м.}\end{aligned}$$

От центра стрелочного перевода Π_1 по продолжению основного пути отмеряем расстояние x_0 и находим точку O , от которой еще раз отмеряем расстояние x_0 , и находим точку Π_3 .

В точке O устанавливаем теодолит и отмеряя угол 90° , тем самым определяем направление OY , и, отмерив по этому направлению расстояние y_0 , определяем на местности точку Π_2 . Далее определяем координаты для разбивки поворотного треугольника, причем следует иметь в виду, что треугольник симметричен относительно оси Y .

Точки 1 и $1'$

$$\begin{aligned}x_1 &= b_1 \cos \alpha_9 = 15,60 \cos 6,34028^\circ = 15,504 \text{ м;} \\y_1 &= b_1 \sin \alpha_9 = 15,60 \sin 6,34028^\circ = 1,723 \text{ м.}\end{aligned}$$

Расстояние x_1 отмеряем от точек Π_1 и Π_3 .

Точки 2 и $2'$

$$\begin{aligned}x_2 &= (b_2 + T) \sin \alpha_6 / 2 = (10,59 + 164,658) \sin 4,73125^\circ = 14,455 \text{ м;} \\y_2 &= (b_1 + T) \sin \alpha_9 = (15,60 + 164,658) \sin 6,34028^\circ = 19,906 \text{ м.}\end{aligned}$$

Расстояние x_2 отмеряем от оси OY влево и вправо.

Для контроля своих вычислений определим x_0 и y_0 :

$$\begin{aligned}x_0 &= (b_1 + T) \cos \alpha_9 + (b_2 + T) \sin \alpha_6 / 2; \\y_0 &= (b_1 + T) \sin \alpha_9 + (b_2 + T) \cos \alpha_6 / 2.\end{aligned}$$

Для нашего примера:

$$\begin{aligned}x_0 &= (15,60 + 164,657) \cos 6,34028^\circ + (10,59 + 164,657) \times \\&\times \sin 4,73125^\circ = 193,609 \text{ м;}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}y_0 &= (15,60 + 164,657) \sin 6,34028^\circ + (10,59 + 164,657) \times \\&\times \cos 4,73125^\circ = 194,556 \text{ м.}\end{aligned}$$

Точка O_1

$$y_{O_1} = x_0 \sin \alpha = 193,609 \sin 6,34028^\circ = 21,381 \text{ м; } x_{O_1} = 0.$$

Точки O_2 и O_2' ,

$$x_{O_2} = y_0 \sin \alpha_6 / 2 = 194,557 \sin 4,73125^\circ = 16,0 \text{ м; } y_{O_2} = 0.$$

Точки 3 и 3'

$$x_3 = b_2 \sin \alpha_6 / 2 = 10,59 \sin 4,73125^\circ = 0,873 \text{ м};$$

$$y_3 = b_2 \cos \alpha_6 / 2 = 10,59 \cos 4,73125^\circ = 10,554 \text{ м.}$$

Определяем полную длину поворотного треугольника

$$L_{\Pi} = 2x_0 + 2a_1 + 2[b_1 + (2\pi R \alpha_k / 180^\circ) + b_2] + a_2 = 2[x_0 + a_1 + b_1 + (2\pi R \alpha_k / 180^\circ) + b_2] + a_2.$$

Для нашего примера

$$L_{\Pi} = 2(193,609 + 15,46 + 15,60 + 2\pi \cdot 200 \cdot 78,92847^\circ / 180^\circ + 10,59) + 9,92 = 1582,487 \text{ м.}$$

285. По данным табл. 182 определить элементы поворотного треугольника с прямым основным путем и координаты для его разбивки. Вычертить схему поворотного треугольника.

Таблица 182

Вариант	Стрелочные перево-ды		Радиус кривых, м	Вариант	Стрелочные пере-воды		Радиус кривых, м
	О	С			О	С	
1	1/9	1/6	180	6	1/11	1/9	150
2	1/11	1/6	150	7	1/9	1/6	250
3	1/9	1/11	250	8	1/11	1/6	300
4	1/11	1/9	300	9	1/9	1/11	150
5	1/9	1/11	180	10	1/11	1/6	180

Примечание: О – обычновенный стрелочный перевод, С – симметричный.

286. Определить элементы симметричного поворотного треугольника и координаты для его разбивки (рис. 70, б).

Дано: три симметричных стрелочных перевода марки 1/6, радиусы кривых $R = 200$ м.

Для заданного перевода имеем $a = 9,92$; $b = 10,59$ м; $\alpha = 9,46250^\circ$ и $\alpha/2 = 4,73125^\circ$.

Как следует из схемы поворотного треугольника (см. рис. 70, б), $\varphi = 60^\circ$, и тогда $\alpha_k = 60^\circ - \alpha = 60 - 9,46250^\circ = 50,53750^\circ$. Определяем тангенс кривой: $T = R \operatorname{tg} \alpha_k / 2 = 200 \operatorname{tg} 50,5375^\circ / 2 = 200 \operatorname{tg} x 25,26875^\circ = 94,406$ м.

Расстояние Ц₁ О определяется по формуле

$$x_0 = (R \cos \alpha/2 - b \sin \alpha/2) \operatorname{tg} [0,5(\alpha_k + \alpha)] + b \cos \alpha/2 - R \sin \alpha/2,$$

Для нашего примера

$$x_0 = [(200 \cos 4,73125^\circ + 10,59 \sin 4,73125^\circ)] \operatorname{tg} [0,5 \cdot (50,53750^\circ + 9,46250^\circ) + 10,59 \cos 4,73125^\circ - 200 \sin 4,73125^\circ] = 109,638 \text{ м.}$$

На продолжении основного пути отмеряем расстояние x_0 и находим центр поворотного треугольника — точку O . В точке O устанавливаем теодолит и, отмерив углы 60° , находим направления OZ и OZ_1 . По этим направлениям отмеряем расстояние x и находим точки Π_2 и Π_3 . Определяем расстояние $OB_1 = OB_2 = OB_3$.

По теореме синусов имеем:

$$\frac{b + T}{\sin 60^\circ} = \frac{OB_1}{\sin \alpha/2};$$

$$OB_1 = \frac{(b + T) \sin \alpha/2}{\sin 60^\circ} = 1,15470(b + T) \sin \alpha/2.$$

Для нашего примера имеем

$$OB_1 = 1,15470(10,59 + 94,406) \sin 4,73125^\circ = 10,00 \text{ м.}$$

Отмеряем по оси X расстояние OB_1 и находим точку B_3 . Определяем координаты точек разбивки.

Точка 1

$$x_1 = b \cos \alpha/2 = 10,59 \cos 4,73125^\circ = 10,554 \text{ м};$$

$$y_1 = b \sin \alpha/2 = 10,59 \sin 4,73125^\circ = 0,873 \text{ м.}$$

Отмеряем эти координаты от точек Π_1, Π_2, Π_3 по осям X, Z, Z_1 и находим точки 1, 1', 4, 4'.

Точки 2 и 2'

$$x_2 = OB_1 \cos 60^\circ = 10,00 \cdot 0,5 = 5,00 \text{ м};$$

$$y_2 = OB_1 \sin 60^\circ = 10,00 \cdot 0,8660 = 8,660 \text{ м.}$$

Для контроля своих расчетов:

$$x_0 = (b + T) \cos \alpha/2 + x_2;$$

$$y_0 = (b + T) \sin \alpha/2.$$

В нашем примере:

$$x_0 = (10,59 + 94,406) \cos 4,73125^\circ + 5,00 = 109,638 \text{ м};$$

$$y_0 = (10,59 + 94,406) \sin 4,73125^\circ = 8,660 \text{ м.}$$

Определяем координаты точек Π_2 и Π_3 :

$$x_s = OB_3 + (b + T) \sin (30^\circ - \alpha/2);$$

$$y_s = (b + T) \cos (30^\circ - \alpha/2).$$

Для нашего примера:

$$x_s = 10,00 + (10,59 + 94,406) \sin 25,26875^\circ = 54,819 \text{ м};$$

$$y_s = (10,59 + 94,406) \cos 25,26875^\circ = 94,949 \text{ м}.$$

Контролируем расчет:

$$x_0 = \sqrt{x_s^2 + y_s^2};$$

$$x_0 = \sqrt{54,819^2 + 94,949^2} = 109,638 \text{ м}.$$

Определяем полную длину поворотного треугольника:

$$L_{II} = 3(a + b + 2\pi R \alpha_k / 180^\circ).$$

Для нашего примера

$$L_{II} = 3(9,92 + 10,59 + 2\pi \cdot 200 \cdot 50,53750^\circ / 180^\circ) = 1119,984 \text{ м}.$$

287. По данным табл. 183 определить элементы симметричного поворотного треугольника и координаты для его разбивки. Вычертить схему поворотного треугольника.

Таблица 183

Вариант	Стрелочные переводы	Радиусы кривых, м	Вариант	Стрелочные переводы	Радиусы кривых, м
1	1/11	150	6	1/6	150
2	1/9	180	7	1/11	250
3	1/6	250	8	1/9	150
4	1/11	180	9	1/6	180
5	1/9	250	10	1/9	300

Глава XXI. РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ВАРИАНТЫ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

§ 69. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 1 ПО ТГМАМ: "ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОДЕЗИИ", "ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА"

Задача 1. На местности измерена длина базисного хода в прямом и обратном направлениях (l_{II} и l_0). Угол наклона поверхности земли — α . Масштаб топографического плана — M .

Определить:

допустима ли невязка при измерении базисного хода, если допустимая относительная невязка 1/1000 (III категория);
 среднюю длину базисного хода;
 горизонтальное проложение линии;
 длину базисного хода в миллиметрах на топографическом плане заданного масштаба.

Исходные данные задачи приведены в табл. 184.

Таблица 184

Вариант	l_p , м	l_o , м	α	M
1	542,75	543,15	4°	1 : 5000
2	431,90	432,20	5	1 : 2000
3	358,85	359,05	6	1 : 1000
4	201,30	201,50	7	1 : 500
5	156,90	156,80	8	1 : 500
6	618,85	619,35	4°30'	1 : 5000
7	415,70	416,10	5 40	1 : 2000
8	326,25	326,45	6 40	1 : 1000
9	274,80	275,00	7 30	1 : 500
10	123,40	123,50	7 45	1 : 500
11	576,75	577,17	4°	1 : 5000
12	453,25	452,93	5	1 : 2000
13	375,63	375,97	6	1 : 1000
14	258,24	258,40	7	1 : 500
15	217,18	216,99	8	1 : 500
16	535,37	534,98	4°30'	1 : 5000
17	473,19	472,87	5 40	1 : 2000
18	382,54	382,25	6 40	1 : 1000
19	315,47	315,72	7 30	1 : 500
20	264,53	264,35	7 45	1 : 500
21	583,18	582,75	4 30	1 : 5000
22	467,59	467,92	5 40	1 : 2000
23	367,35	367,08	6 40	1 : 1000
24	295,28	295,45	7 30	1 : 1000
25	247,56	247,75	7 45	1 : 500
26	195,73	195,85	8	1 : 500
27	239,15	238,98	7	1 : 1000
28	325,73	326,05	6	1 : 1000
29	425,48	425,12	5	1 : 2000
30	497,35	496,97	4	1 : 5000

Задача 2. По базисному ходу (точки 1, 2, 3, 4) измерены теодолитом углы, вправо по ходу лежащие — β_2 , β_3 .

Определить дирекционные углы линий базисного хода α_{1-2} , α_{2-3} , α_{3-4} , если известен румб линии $1 - 2 - r_{1-2}$. Вычертить по дирекционным углам базисный ход в масштабе 1 : 1000, если длина линий хода $l_{1-2} = 70$ м, $l_{2-3} = 50$ м, $l_{3-4} = 80$ м. Исходные данные задачи даны в табл. 185.

Таблица 185

Вариант	β_2	β_3	Румб линии $I - 2$
1	268°15'	145°38'	ЮВ : 30°45'
2	200 33	127 15	ЮВ : 70 15
3	65 27	250 41	ЮЗ : 40 30
4	105 08	198 24	ЮЗ : 50 50
5	307 54	115 47	СЗ : 20 10
6	280 33	130 17	СЗ : 60 20
7	275 30	117 54	ЮВ : 50 30
8	85 38	305 17	ЮЗ : 20 50
9	326 25	107 34	СЗ : 40 10
10	291 44	126 53	ЮВ : 10 40
11	253 24	137 15	ЮВ : 38 15
12	196 48	118 49	ЮВ : 63 34
13	73 35	243 51	ЮЗ : 45 28
14	112 46	207 39	ЮЗ : 57 34
15	287 40	106 34	СЗ : 28 47
16	273 16	125 33	СЗ : 53 34
17	302 18	109 14	ЮВ : 45 38
18	98 25	312 27	ЮЗ : 35 16
19	308 34	98 47	СЗ : 38 24
20	287 21	113 45	ЮВ : 28 43
21	301 13	132 48	ЮВ : 15 48
22	334 42	123 17	СЗ : 18 37
23	76 55	297 48	ЮЗ : 31 26
24	258 23	126 34	ЮВ : 40 43
25	273 16	137 43	СЗ : 49 13
26	315 34	123 52	СЗ : 15 35
27	107 26	204 42	ЮЗ : 61 07
28	82 47	268 15	ЮЗ : 38 24
29	184 36	115 43	ЮВ : 81 53
30	258 47	134 34	ЮВ : 33 16

Задача 3. Длины сторон базисного хода, измеренные в поле:

$$l_{1-2}, l_{2-3}, l_{3-4}.$$

Определить приращение координат, если румбы сторон базисного хода $r_{1-2}, r_{2-3}, r_{3-4}$.

Определить координаты точек 2, 3, 4, если координаты точки 1 – x_1, y_1 .

Исходные данные задачи даны в табл. 186.

Таблица 186

Вариант	Сторона 1 – 2		Сторона 2 – 3	
	<i>l</i> , м	<i>r</i>	<i>l</i> , м	<i>r</i>
1	50,25	ЮВ 20°30'	112,63	ЮЗ 40°10'
2	55,30	ЮЗ 21 10	125,03	С3 30 35
3	58,71	С3 33 40	134,34	СВ 48 25
4	60,37	СВ 68 24	146,43	ЮВ 27 40
5	62,41	ЮВ 71 06	157,61	ЮЗ 18 55
6	67,73	ЮЗ 65 24	168,05	С3 22 35
7	71,13	С3 40 17	173,84	СВ 58 21
8	73,48	СВ 48 24	186,73	ЮВ 63 07
9	79,03	ЮВ 51 37	195,66	ЮЗ 71 21
10	81,75	ЮЗ 36 14	108,95	С3 52 43
11	95,34	ЮВ 18 34	117,75	ЮЗ 42 21
12	97,65	ЮЗ 23 43	128,34	С3 27 53
13	86,59	С3 37 34	137,56	СВ 45 35
14	83,43	СВ 65 42	149,65	ЮВ 33 54
15	76,84	ЮВ 69 24	161,59	ЮЗ 23 45
16	74,23	ЮЗ 61 38	171,38	С3 29 53
17	69,16	С3 37 50	175,83	СВ 53 12
18	65,58	СВ 43 42	187,37	ЮВ 58 34
19	61,76	ЮВ 47 15	198,73	ЮЗ 69 12
20	57,35	ЮЗ 32 41	113,56	С3 54 34
21	52,86	ЮВ 23 53	115,93	ЮЗ 39 12
22	63,75	ЮЗ 19 38	123,74	С3 32 57
23	64,24	С3 31 15	135,47	СВ 50 48
24	75,81	СВ 70 26	147,28	ЮВ 25 37
25	78,18	ЮВ 69 57	159,82	ЮЗ 15 48
26	82,39	ЮЗ 67 43	167,37	С3 24 52
27	84,91	С3 42 34	171,73	СВ 61 17
28	87,24	СВ 45 37	184,19	ЮВ 65 03
29	92,45	ЮВ 53 24	193,94	ЮЗ 73 38
30	96,73	ЮЗ 37 53	111,49	С3 49 27

§ 70. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА № 2 ПО ТЕМАМ:
 "ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ",
 "ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА",
 "ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
 И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ"

Задача 1. По трассе длиной 300 м разбиты пикеты (ПК0, ..., ПК3) и промежуточная точка 4 (ПК2 + 60). Нивелированием "из середины" получены отсчеты по рейкам (черная сторона) на станциях:

Ст. I – a_1, b_1 ; Ст. II – a_2, b_2 ; Ст. III – a_3, b_3, c_3 ,

где a – задние отсчеты, b – передние отсчеты, c – отсчет на промежуточную точку.

Сторона 3 - 4		Координаты т. 1	
<i>l, м</i>	<i>r</i>	<i>x₁, м</i>	<i>y₁, м</i>
155,24	СЗ 60°42'	+ 24,00	+ 95,00
167,33	СВ 50°15'	- 35,00	+ 86,00
174,66	ЮВ 65°30'	+ 46,00	- 77,00
185,13	ЮЗ 34°37'	- 57,00	- 63,00
193,25	СЗ 44°25'	+ 68,00	+ 51,00
187,36	СВ 2°48'	- 51,00	+ 48,00
173,47	ЮВ 20°45'	+ 42,00	- 64,00
165,58	ЮЗ 24°33'	- 33,00	- 73,00
154,66	СЗ 28°08'	+ 27,00	+ 82,00
147,35	СВ 19°55'	- 19,00	- 91,00
157,42	СЗ 58°34'	+ 26,00	+ 97,00
171,74	СВ 48°51'	- 37,00	+ 88,00
176,47	ЮВ 62°03'	+ 48,00	- 79,00
187,53	ЮЗ 29°55'	- 59,00	- 63,00
195,52	СЗ 43°52'	+ 69,00	+ 53,00
189,63	СВ 48°25'	- 53,00	+ 49,00
176,74	ЮВ 23°36'	+ 44,00	- 66,00
168,85	ЮЗ 26°20'	- 35,00	- 75,00
157,78	СЗ 25°48'	+ 29,00	+ 84,00
151,53	СВ 21°07'	- 21,00	- 93,00
153,35	СЗ 61°24'	+ 23,00	- 94,00
165,24	СВ 52°34'	- 33,00	- 84,00
172,42	ЮВ 67°18'	+ 44,00	+ 75,00
183,73	ЮЗ 36°15'	- 55,00	+ 61,00
191,37	СЗ 41°51'	+ 66,00	- 49,00
185,63	СВ 50°19'	- 50,00	- 46,00
171,74	ЮВ 18°43'	+ 40,00	+ 62,00
163,85	ЮЗ 23°47'	- 31,00	+ 71,00
152,58	СЗ 31°53'	+ 25,00	- 80,00
145,53	СВ 17°58'	- 17,00	+ 89,00

Определить:

превышения на станциях I, II, III;

высоты земли на пикетах и промежуточной точке 4, если высота поверхности земли ПКО — H_0 .

Вычертить профиль земли по трассе в масштабах: горизонтальный — 1 : 1000, вертикальный — 1 : 100.

Нанести на профиль проектную линию бровки земляного полотна, если проектная высота ее на пикете ПКО — H_{Π} , длина элемента профиля 300 м и уклон $i = +4\%$.

Определить проектные и рабочие высоты пикетов и промежуточной точки 4, пикетажные значения "нулевых мест".

Исходные данные задачи даны в табл. 187.

Задача 2. По исходным данным, приведенным в табл. 188, определить элементы круговой и переходной кривой; суммированные эле-

Таблица 187

Вариант	Отсчеты по рейкам, мм							Высоты ПК 0, м	
	Ст. I		Ст. II		Ст. III			земли	брюки
	a_1	b_1	a_2	b_2	a_3	b_3	c_3	H_0	$H_{\text{пп}}$
1	2600	0345	0914	2469	1250	0725	1605	15,370	16,12
2	2728	0473	0828	2383	1357	0834	1500	23,150	23,90
3	2772	0517	0743	2298	1443	0918	1410	34,640	35,39
4	2821	0671	0637	2192	1182	0657	1670	45,720	46,27
5	2888	0738	0552	2107	1060	0535	1790	56,860	57,61
6	2642	0387	0468	2023	1308	0783	1550	18,730	19,48
7	2678	0423	0516	2071	1402	0877	1455	27,510	28,26
8	2840	0585	0674	2229	1480	0954	1375	38,460	39,21
9	2757	0607	0708	2263	1111	0586	1745	41,270	42,02
10	2814	0764	0863	2418	1132	0607	1725	52,680	53,43
11	2745	0452	0975	2575	1334	0852	1717	16,50	17,50
12	2858	0567	0982	2438	1475	0943	1624	24,510	25,26
13	2885	0625	0834	2386	1534	1081	1535	35,460	36,21
14	2911	0783	0773	2229	1228	0775	1763	46,270	47,02
15	2935	0847	0625	2275	1115	0653	1894	57,680	58,43
16	2754	0475	0586	2132	1483	0838	1657	19,370	20,12
17	2785	0537	0661	2117	1526	0917	1575	28,150	28,90
18	2927	0675	0747	2393	1517	0976	1438	39,640	40,39
19	2865	0715	0883	2337	1234	0668	1883	42,720	43,47
20	2931	0853	0936	2581	1223	0773	1852	53,860	54,61
21	2572	0254	0827	2375	1143	0637	1593	14,630	15,38
22	2635	0337	0739	2257	1236	0718	1473	22,710	23,46
23	2664	0471	0624	2175	1363	0881	1391	33,570	34,32
24	2775	0517	0542	2017	1087	0545	1565	44,150	44,90
25	2792	0683	0437	2071	1015	0454	1692	55,340	56,09
26	2558	0278	0373	1987	1251	0673	1435	17,760	18,51
27	2585	0332	0484	1978	1343	0737	1357	26,430	27,19
28	2743	0458	0565	2163	1334	0884	1246	37,820	38,57
29	2667	0575	0656	2136	1097	0448	1664	40,280	41,03
30	2741	0648	0723	2356	1078	0563	1649	51,640	52,39

Таблица 188

Вариант	α	$R, \text{м}$	$l_{\pi}, \text{м}$	Пикетаж вершины угла
1	33°15'	500	160	15 + 35,15
2	28 22	600	140	21 + 71,51
3	23 35	800	100	33 + 64,47
4	19 25	1200	80	46 + 46,71
5	18 32	1500	60	52 + 38,64
6	26 05	800	140	64 + 15,47
7	30 25	600	160	76 + 51,74
8	40 35	500	120	87 + 83,46
9	20 17	1500	80	91 + 28,33
10	21 20	1200	100	19 + 82,15
11	35 43	500	140	17 + 53,20
12	27 17	600	1600	23 + 64,15
13	22 55	800	120	35 + 46,51
14	19 07	1200	80	48 + 35,73
15	18 26	1500	60	54 + 83,46
16	23 17	800	100	66 + 51,74
17	28 37	600	140	78 + 47,15
18	36 34	500	120	89 + 38,64
19	18 55	1500	80	93 + 82,37
20	19 55	1200	100	13 + 73,28
21	37 13	500	160	95 + 28,73
22	27 56	600	140	86 + 83,46
23	24 31	800	140	75 + 74,51
24	20 46	1200	100	62 + 47,15
25	19 37	1500	80	50 + 64,38
26	25 13	800	120	44 + 71,46
27	29 25	600	160	31 + 74,43
28	38 43	500	140	25 + 18,36
29	19 49	1500	60	27 + 63,81
30	21 05	1200	80	15 + 51,28

менты кривой; пикетажное значение начала (НК), середины (СК), конца (КК) кривой с контролем, если известно пикетажное значение вершины угла поворота кривой (ВУ ПК . . .).

Вычертить схему разбивки главных точек кривой.

Приложение 1

Таблица поправок за наклон линий местности

$$\Delta D = 2D \sin \frac{\alpha}{2}$$

Угол наклона	ΔD , см, при расстоянии D , м								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
2°	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,7	4,3	4,9	5,5
2°30'	1,0	1,9	2,9	3,8	4,8	5,7	6,7	7,6	8,6
3	1,4	2,7	4,1	5,5	6,9	8,2	9,6	11,0	12,3
3 30	1,9	3,7	5,6	7,5	9,3	11,2	13,1	14,9	16,8
4	2,4	4,9	7,3	9,7	12,2	14,6	17,1	19,5	21,9
4 30	3,0	6,2	9,2	12,3	15,4	18,5	21,6	24,7	27,7
5	3,8	7,6	11,4	15,2	19,0	22,9	26,6	30,4	34,2
5 20	4,3	8,7	13,0	17,3	21,6	26,0	30,3	34,6	39,0
5 40	4,9	9,8	14,7	19,5	24,4	29,3	34,2	39,1	44,0
6	5,5	11,0	16,4	21,9	27,4	32,9	38,3	43,8	49,3
6 20	6,1	12,2	18,3	24,4	30,5	36,6	42,7	48,8	54,9
6 40	6,8	13,5	20,3	27,0	33,8	40,6	47,3	59,1	60,9
7	7,5	14,9	22,4	29,8	37,3	44,7	52,2	59,6	67,1
7 15	8,0	16,0	24,0	32,0	40,0	48,0	56,0	64,0	72,0
7 30	8,6	17,1	25,7	34,2	42,8	51,3	59,9	68,4	77,0
7 45	9,1	18,3	27,4	36,5	45,7	54,8	63,9	73,1	82,2
8	9,7	19,5	29,2	38,9	48,7	58,4	68,1	77,9	87,6
8 15	10,3	20,7	31,0	41,4	51,7	62,1	72,4	82,8	93,1
8 30	11,0	22,0	33,0	43,9	54,9	65,9	76,9	87,9	98,9
8 45	11,6	23,3	34,9	46,6	58,2	69,8	81,5	93,1	104,7
9	12,3	24,6	36,9	49,2	61,6	73,9	86,2	98,5	110,8
9 15	13,0	26,0	39,0	52,0	65,0	78,0	91,0	104,0	117,0
9 30	13,7	27,4	41,1	54,9	68,6	82,3	96,0	109,7	123,4
9 45	14,4	28,9	43,3	57,8	72,7	86,7	101,1	115,6	130,0
10	15,2	30,4	45,6	60,8	76,0	91,2	106,3	121,5	136,7

Приложение 2

Таблица для вычисления прямоугольных координат с контролем

$$\begin{array}{rccccc}
 X & & Y & & X & & Y \\
 55^\circ + & & + & & - & & + 124^\circ \\
 235 - & & - & & + & & - 304
 \end{array}$$

'	cos	sin - cos	1 - sin	tg	'
30	0,566 41	0,257 72	0,175 87	1,455 0	30
31	0,566 17	0,258 12	0,175 71	1,455 9	29
32	5 93	8 53	5 54	6 8	28
33	5 69	8 93	5 38	7 7	27
34	5 45	9 33	5 22	8 6	26
35	0,565 21	0,259 74	0,175 05	1,459 6	25
36	0,564 97	0,260 14	0,174 89	1,460 5	24
37	4 73	0 55	4 72	1 4	23
38	4 49	0 95	4 56	2 3	22
39	4 25	1 36	4 39	3 2	21
40	0,564 01	0,261 76	0,174 23	1,464 1	20
41	0,563 77	0,262 16	0,174 07	1,465 0	19
42	3 53	2 57	3 90	5 9	18
43	3 29	2 97	3 74	6 9	17
44	3 05	3 38	3 57	7 8	16
45	0,562 80	0,263 79	0,173 41	1,468 7	15
46	0,562 56	0,264 19	0,173 25	1,469 6	14
47	2 32	4 60	3 08	70 5	13
48	2 08	5 00	2 92	1 5	12
49	1 84	5 40	2 76	2 4	11
50	0,561 60	0,265 81	0,172 59	1,473 3	10
51	0,561 36	0,266 21	0,172 43	1,474 2	9
52	1 12	6 61	2 27	5 1	8
53	0 88	7 02	2 10	6 1	7
54	0 64	7 42	1 94	7 0	6
55	0,560 40	0,267 82	0,171 78	1,477 9	5
56	0,560 16	0,268 23	0,161 61	1,478 8	4
57	59 92	8 63	1 45	9 8	3
58	9 68	9 03	1 29	80 7	2
59	9 43	9 44	1 13	1 6	1
60	0,559 19	0,269 85	0,170 96	1,482 6	0

Приложение 3

Табл. 1. Элементы круговых и переходных кривых $R = 1500$

α	T	ΔT	K	ΔK	D	ΔD	B	ΔB
$28^{\circ}30'$	380,95		746,13		15,77		47,62	
33	381,65		747,44		15,86		47,79	
36	382,35	23	748,75	44	15,95	3	47,96	6
39	383,04		750,06		16,03		48,13	
42	383,74		751,36		16,11		48,31	
45	384,44		752,67		16,20		48,48	
48	385,13		753,98		16,29		48,65	
51	385,83	23	755,29	44	16,37	3	48,83	6
54	386,53		756,60		16,46		49,00	
57	387,23		757,91		16,55		49,18	
$29^{\circ}00'$	387,93		759,22		16,64		49,35	
03	388,62		760,53		16,72		49,53	
06	389,32	23	761,84	44	16,81	3	49,70	6
09	390,02		763,15		16,90		49,88	
12	390,72		764,45		16,99		50,05	
15	391,42		765,76		17,08		50,23	
18	392,12		767,07		17,17		50,41	
21	392,82	23	768,38	44	17,26	3	50,58	6
24	393,52		769,69		17,35		50,76	
27	394,22		771,00		17,44		50,94	
30	394,92		772,31		17,53		51,12	
33	395,62		773,62		17,62		51,29	
36	396,32	23	774,93	44	17,71	3	51,47	6
39	397,02		776,24		17,80		51,65	

l_n	T_p	m	p	Σp	l_n	T_p	m	p	Σp
200	0,28–30	99,99	1,11	1,15	100	0,07	50,00	0,28	0,29
180	0,24–24	89,99	0,90	0,93	80	0,05	40,00	0,18	0,18
160	0,18–19	79,99	0,71	0,73	60	0,03	30,00	0,10	0,10
140	0,14–15	69,99	0,54	0,56	40	0,01	20,00	0,04	0,05
120	0,10–11	60,00	0,40	0,41	20	0,00	10,00	0,01	0,01

Приложение 4

Табл. 5. Координаты чистых (несдвинутых) круговых кривых

K	R = 700		R = 600		R = 500		K
	K - x	y	K - x	y	K - x	y	
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1
10	0,00	0,07	0,00	0,08	0,00	0,10	10
20	0,00	0,29	0,00	0,33	0,00	0,40	20
30	0,01	0,64	0,01	0,75	0,02	0,90	30
31	0,01	0,69	0,01	0,80	0,02	0,96	31
40	0,02	1,14	0,03	1,33	0,04	1,60	40
50	0,04	1,78	0,06	2,08	0,08	2,50	50
60	0,07	2,57	0,08	3,00	0,14	3,60	60
70	0,12	3,50	0,16	4,08	0,23	4,89	70
80	0,17	4,57	0,24	5,33	0,34	6,39	80
90	0,25	5,78	0,34	6,74	0,49	8,08	90
100	0,34	7,13	0,46	8,31	0,67	9,97	100
110	0,45	8,63	0,62	10,06	0,89	12,05	110
120	0,59	10,26	0,80	11,96	1,15	14,33	120
130	0,75	12,04	1,01	14,03	1,46	16,81	130
131	0,76	12,22	1,04	14,24	1,49	17,06	131
140	0,93	13,95	1,27	16,26	1,82	19,47	140
150	1,15	16,01	1,56	18,65	2,24	22,33	150
160	1,40	18,21	1,89	21,21	2,72	25,38	160
170	1,67	20,54	2,27	23,92	3,26	28,62	170

Приложение 5

Тахеометрические таблицы для определения превышений и горизонтального проложения

$0^{\circ}4$	$1^{\circ}4$	$2^{\circ}4$	$3^{\circ}4$	$4^{\circ}4$	'	$5^{\circ}4$	$6^{\circ}4$	$7^{\circ}4$	$8^{\circ}4$	$9^{\circ}4$	o'	d
0,00	2,43	4,85	7,26	9,67	0	12,07	14,45	16,81	19,16	21,48	0	139,0
12	55	97	39	79	3	19	57	93	27	59	30	139,0
24	67	5,09	51	91	6	31	69	17,05	39	71	1	139,0
36	79	21	63	10,03	9	43	81	17	51	82	30	138,9
49	91	33	75	15	12	55	92	28	62	94	2	138,8
0,61	3,03	5,45	7,87	10,27	15	12,67	15,04	17,40	19,74	22,05	30	138,7
73	15	57	99	39	18	79	16	52	85	17	3	138,6
85	27	69	8,11	51	21	90	28	64	97	28	30	138,5
97	39	82	23	63	24	13,02	40	75	20,09	40	4	138,3
1,09	52	94	35	75	27	14	52	87	20	51	30	138,1
1,21	3,64	6,06	8,47	10,87	30	13,26	15,63	17,99	20,32	22,63	5	137,9
33	76	18	59	99	33	38	75	18,10	44	74	30	137,7
46	88	30	71	11,11	36	50	87	22	55	86	6	137,5
58	4,00	42	83	23	39	62	99	34	67	97	30	137,2
70	12	54	95	35	42	74	16,11	46	78	23,09	7	136,9
1,82	4,24	6,66	9,07	11,47	45	13,86	16,22	18,57	20,90	23,20	30	136,6
94	36	78	19	59	48	98	34	69	21,01	31	8	136,3
2,06	49	90	31	71	51	14,09	46	81	13	43	30	136,0
18	61	7,02	43	83	54	21	58	92	25	54	9	135,6
30	73	14	55	95	57	33	70	19,04	36	66	30	135,2

ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ

Глава 1

§ 1. Задача 4

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	50,23	62,0	24,54	10 38	922	564	88,7	1178	67,4	567,6

Задача 6

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N_1	1,6	25,01	90,194	63,6	21,48	8,2	93,9	42,06	89,435	24,112

Задача 8

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N + N_1$	51,8	87,0	114,73	1102	943	572	182,6	1220	156,8	591,7

§ 2. Задача 20

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	24,44	23,52	24,20	191,68	100,54	44,62	151,47	69,38	73,35	180,74

Задача 28

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c	11,73	9,70	14,97	12,69	16,02	17,90	10,32	6,50	9,32	10,81

Глава II

§3

Задача 32

Вариант	α''	Вариант	α''
1	$2^{\circ}39'03''$	6	$1^{\circ}17'51''$
2	2 13 26	7	2 23 58
3	2 05 24	8	2 36 46
4	1 45 41	9	3 20 09
5	1 29 02	10	3 12 20

§ 4

Задача 37

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H_B	125,75	102,88	127,50	126,25	152,17	94,03	87,63	71,25	79,09	114,82

Глава III

§ 5

Задача 46

Вариант	M	Вариант	M
1	1 : 100	6	1 : 10 000
2	1 : 200	7	1 : 25 000
3	1 : 500	8	1 : 50 000
4	1 : 1000	9	1 : 2000
5	1 : 5000	10	1 : 2500

Задача 48

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Точность масштаба	10	5	2,5	1,0	0,5	0,1	0,05	0,025	0,02	0,01

Глава IV

§ 8

Задача 56

$$x_B = 60^{\circ} 65' 800 \text{ м}; \quad y_B = 4^{\circ} 31' 1650 \text{ м}.$$

Задача 58

$$\varphi_C = 54^{\circ} 40' 30''; \quad \lambda_C = 18^{\circ} 00' 40''.$$

§ 11

Задача 65

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$i, \%$	9,5	1,4	25	15,1	10,2	15,9	20,8	3,1	3,2	2,7

§ 15

Задача 91

Вариант	α_{2-3}	Вариант	α_{2-3}
1	$150^{\circ} 29'$	6	$195^{\circ} 55'$
2	$154^{\circ} 39'$	7	$232^{\circ} 12'$
3	$189^{\circ} 26'$	8	$246^{\circ} 05'$
4	$191^{\circ} 06'$	9	$304^{\circ} 45'$
5	$200^{\circ} 47'$	10	$308^{\circ} 48'$

Задача 93

Вариант	β_2	Вариант	β_2
1	86°21'	6	104°40'
2	158 43	7	141 12
3	66 17	8	72 46
4	112 25	9	124 37
5	66 35	10	70 33

Глава VIII

§ 22

Задача 129

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Допустимые невязки	$\pm 4'$	$\pm 1,7'$	$\pm 2'$	$\pm 4,5'$	$\pm 3,5'$	$\pm 2'$	$\pm 2'$	$\pm 1,7'$	$\pm 3,5'$	$\pm 4,5'$
$f_{\beta_{\text{доп}}}$										
Фактические невязки f_{β}	+ 3'	- 2'	- 2'	+ 3'	- 3'	+ 1'	+ 2'	- 1'	+ 3'	+ 4'

§ 25

Задача 149

Вариант	f_P	n	Вариант	f_P	n
1	0,11	$\frac{1}{3279}$	6	0,178	$\frac{1}{1958}$
2	0,158	$\frac{1}{2206}$	7	0,216	$\frac{1}{1614}$
3	0,156	$\frac{1}{2234}$	8	0,178	$\frac{1}{1958}$
4	0,156	$\frac{1}{2234}$	9	0,184	$\frac{1}{1894}$
5	0,144	$\frac{1}{2420}$	10	0,189	$\frac{1}{1844}$

Задача 151

Вариант	Румб r	Горизонтальное проложение $d, \text{м}$	Вариант	Румб r	Горизонтальное проложение $d, \text{м}$
1	СВ : $49,78^\circ$	134,31	6	ЮВ : $15,01^\circ$	110,63
2	ЮВ : $31,77^\circ$	157,94	7	103 : $66,4^\circ$	287,47
3	ЮЗ : $19,81^\circ$	218,28	8	СЗ : $27,53^\circ$	147,66
4	СЗ : $5,28^\circ$	316,62	9	СВ : $70,54^\circ$	168,78
5	СВ : $36,23^\circ$	144,57	10	ЮВ : $47,35^\circ$	223,38

Глава IX

§ 30

Задача 166

Вариант	Длина рычага $R_x, \text{мм}$	Вариант	Длина рычага $R_x, \text{мм}$
1	108,78	6	150,60
2	145,30	7	176,90
3	161,82	8	171,00
4	128,03	9	106,8
5	125,25	10	146,64

Глава XI

§ 35. Задача 168

Вариант	$h_1, \text{мм}$	$H_1, \text{м}$	$h_2, \text{мм}$	$H_2, \text{м}$
1	+ 560	25,560	+ 405	25,405
2	- 395	34,605	- 450	34,550
3	+ 885	45,885	+ 615	45,615
4	- 905	54,095	- 445	54,555
5	+ 785	65,785	+ 370	65,370
6	+ 725	61,025	- 335	59,965
7	- 455	49,745	+ 235	50,435
8	+ 335	40,435	- 425	39,675
9	- 525	29,975	+ 605	31,105
10	+ 305	20,905	- 485	20,115

Продолжение

Вариант	h_3 , мм	H_3 , м	h_4 , мм	H_4 , м
1	- 245	24,755	- 305	24,695
2	+ 360	35,360	+ 615	35,615
3	- 325	44,675	- 545	44,455
4	+ 125	55,125	+ 805	55,805
5	- 575	64,425	- 855	64,145
6	- 525	59,775	+ 485	60,785
7	+ 515	50,715	- 1095	49,105
8	- 755	39,345	+ 565	40,665
9	+ 265	30,756	- 805	29,695
10	- 965	19,635	+ 475	21,075

§ 36. Задача 170

Вариант	H_2 , м	H_3 , м	H_4 , м	Вариант	H_2 , м	H_3 , м	H_4 , м
1	26,220	26,576	24,510	6	51,884	52,329	50,094
2	31,454	31,757	29,704	7	56,962	57,482	55,277
3	36,558	36,832	35,000	8	61,328	61,813	59,619
4	41,646	41,937	39,928	9	66,530	67,074	64,799
5	46,722	47,086	45,231	10	71,430	71,850	69,755

Задача 172

Вариант	H_1	H_2	H_3	Вариант	H_1	H_2	H_3
1	14,356	15,709	13,586	6	39,921	41,279	39,085
2	19,417	20,777	18,735	7	44,965	46,283	44,033
3	24,481	25,820	23,718	8	49,301	50,579	48,332
4	29,537	30,784	28,690	9	54,236	55,527	53,317
5	34,659	35,953	33,751	10	59,410	60,469	58,275

Глава XIII

§ 44. Задача 196

Вариант	1	2	3	4	5
l , м	6,75	8,75	6,00	8,25	10,5

Продолжение

Вариант	6	7	8	9	10
l , м	8,00	9,75	12,25	10,00	10,50

Задача 200

Вариант	1	2	3	4	5
H_2 , м	14,23	18,36	26,76	37,06	47,29
H_3 , м	18,78	24,61	32,76	42,46	51,19
i , %	11,1	9,1	7,7	7,0	6,0

Продолжение

Вариант	6	7	8	9	10
H_2 , м	38,63	27,72	18,18	14,96	51,18
H_3 , м	40,88	31,97	20,43	19,46	61,18
i , %	6,0	7,1	8,0	8,9	10,9

Задача 202

Вариант	1	2	3	4	5
H , м	19,55 20,55	25,00 25,76	39,05 40,30	50,10 51,10	61,55 62,55

Продолжение

Вариант	6	7	8	9	10
H , м	65,40 65,90	83,60 85,35	35,45 36,20	44,45 44,95	57,30 57,80

Глава XVII

§ 53. Задача 222

Вариант	Превышение h , м	Горизонтальное проложение d , м	Вариант	Превышение h , м	Горизонтальное проложение d , м
1	+ 2,54	72,7	6	+ 10,18	90,4
2	+ 5,15	74,9	7	+ 16,32	127,4
3	- 4,36	80,5	8	- 13,62	88,9
4	- 8,53	84,6	9	- 12,82	89,7
5	- 2,01	114,9	10	+ 4,33	103,6

Глава XIX

§ 61. Задача 240

Вариант	T_B , м		B_B , м		H' , м	
1	50	25	0,12	0,03	27,05	22,30
2	25	12,5	0,06	0,02	29,31	26,39
3	50	30	0,12	0,04	28,45	28,01
4	25	15	0,06	0,02	29,51	28,39
5	50	45	0,12	0,10	29,45	28,07
6	22,5	25	0,05	0,06	22,22	24,11
7	50	20	0,12	0,02	23,39	27,45
8	25	20	0,06	0,04	23,03	25,93
9	50	35	0,12	0,06	23,49	26,31
10	15	17,5	0,06	0,03	23,03	24,14

Глава XX

§ 62. Задача 242

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
c_{Π} , мм	1912	2042	1908	2069	1944	2166	2133	2242	2038	2331

Задача 244

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$c_{\text{п}}$, мм	2232	2210	2297	2282	2244	2233	2125	2218	2266	2288

Для всех вариантов $h_{\text{п}} = 0,6000$ м.

Задача 246

Для всех вариантов проектные отсчеты на рейках $c_{\text{л}} = 2600$, $c_{\text{п}} = 1000$, $c_{\text{к}} = 0400$.

§ 63. Задача 248

Вариант	$c_{\text{п}}$, мм	p_1 , м	p_2 , м	p_3 , м	p_4 , м
1	1650	- 0,63	+ 0,69	- 0,66	- 0,15
2	1560	- 0,55	+ 0,64	- 0,72	- 0,16
3	1430	- 0,48	+ 0,58	- 0,71	- 0,13
4	1630	- 0,53	+ 0,62	- 0,91	+ 0,08
5	1590	- 0,58	+ 0,58	- 0,72	- 0,14
6	1920	- 0,52	+ 0,58	- 0,90	- 0,12
7	1541	- 0,52	+ 0,71	- 0,69	- 0,14
8	1670	- 0,54	+ 0,67	- 0,90	- 0,12
9	1470	- 0,52	+ 0,49	- 0,79	- 0,17
10	2010	- 0,51	+ 0,60	- 1,08	- 0,06

Задача 250

Для всех вариантов отсчет на рейке $c_3 = 1500$.

§ 64. Задача 254

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h_{\text{с}}$, м	15,07	18,57	18,06	19,21	25,12	16,28	21,14	19,33	21,07	23,75

Задача 255

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пролет	16,50	16,00	16,11	16,13	16,14	16,22	16,08	16,13	16,03	16,08
Опора	18,48	18,21	17,99	17,84	17,81	18,29	18,24	18,02	18,11	17,75

Задача 257

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
r , м	10,40	10,20	6,00	7,00	7,60	11,11	10,00	7,39	8,24	6,62
h_c , м	30,32	26,48	21,65	23,94	25,69	28,85	27,72	22,88	23,70	24,70

Задача 259

Вариант	r , м	S , м^2	a_{BC}^o	x_c , м	y_c , м	h_c , м	V , м^3
1	7,00	153,94	183,334	- 46,15	- 28,65	10,67	1642,54
2	9,00	254,47	204,607	- 33,36	- 55,30	11,88	3023,10
3	12,00	452,39	204,291	- 26,36	- 50,75	12,74	5763,45
4	14,00	615,75	229,554	- 0,69	- 98,85	13,02	8017,06
5	15,00	706,86	241,061	+ 19,23	- 117,25	14,10	9966,73
6	13,00	530,93	257,975	- 73,31	- 45,88	12,89	6843,69
7	11,00	380,13	258,086	- 63,07	- 35,40	11,73	4458,92
8	10,00	314,16	250,612	- 60,16	- 22,94	12,50	3927,00
9	8,00	201,06	280,403	- 19,89	- 34,28	10,91	2193,56
10	6,00	113,10	266,453	- 23,64	- 40,56	10,33	1168,32

Задача 261

Вариант	β_3^o	d_1 , м	d_2 , м	h_c , м	Вариант	β_3^o	d_1 , м	d_2 , м	h_c , м
1	59,167	52,874	48,046	20,00	6	61,567	51,170	46,165	18,00
2	62,134	50,884	45,612	16,00	7	59,301	52,756	47,960	19,00
3	70,984	45,520	40,283	13,00	8	72,884	44,575	39,292	12,00
4	67,634	47,234	42,302	15,00	9	61,984	50,962	45,751	17,00
5	74,201	44,123	38,421	11,00	10	69,734	46,057	41,117	14,00

§ 65. Задача 264

Вариант	H_K , м	H_M , м	Вариант	H_K , м	H_M , м
1	9,561	22,616	6	42,657	55,954
2	16,596	29,766	7	30,735	44,093
3	25,718	38,881	8	24,060	37,430
4	38,311	51,690	9	13,872	27,492
5	47,487	60,786	10	51,692	65,384

§ 67. Задача 271

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$L_1 = L_2$	На ровной местности									
Насыпь	8,50	10,00	11,50	10,15	9,20	9,70	11,80	11,05	9,55	11,35
Выемка	11,45	10,85	11,60	11,00	12,35	13,10	11,90	11,75	10,85	12,05
На косогоре										
L_B	10,45	12,73	18,40	13,59	11,71	12,93	18,88	15,78	11,75	16,21
Насыпь										
L_M	7,18	8,23	8,36	8,12	7,57	7,76	8,58	8,50	8,07	8,73
L_B	14,08	13,81	18,56	14,66	15,72	17,46	19,04	16,78	13,34	17,21
Выемка										
L_M	9,67	8,93	8,43	8,80	10,16	10,48	8,65	9,03	9,17	9,27

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булеков И.Ф. Таблицы для вычислений прямоугольных координат с контролем. М., Недра, 1974.
2. Власов Д.И., Логинов В.И. Таблицы для разбивки кривых на железных дорогах. М., Транспорт, 1968.
3. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000; 1 : 2000; 1 : 1000; 1 : 500. М., Недра, 1982.
4. Макеев Ф.И. Тахеометрические таблицы М., Недра, 1981.
5. Родионов В.И. Геодезия. М., Недра, 1987.
6. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000; 1 : 2000; 1 : 1000 и 1 : 500. М., Недра, 1973.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абрис 76
Азимут 26

Б

Базис 198
Биссектриса 98

Р

Ведомость вычисления координат 82
– вычисления площади 70
Верньер 45
Вертикальный круг 50
Вынесение проектной высоты 185, 201
Вынос пикета с тангенса на кривую 104
Высота (отметка) точки 12, 91, 92
Высота прибора 159
Высота сечения рельефа 174

Г

Геометрическое нивелирование 91
Главные точки кривой 103
Горизонтали 174
Горизонт прибора 93
Горизонтальное проложение 40
Горизонтальный угол 45

Д

Дальномеры 155
Цирекционный угол 31
Домер 98
Долгота 19

Ж

Журнал измерения углов 46
– геометрического нивелирования 107
– измерения линий 39
– нивелирования попечника 122
– тахеометрической съемки 162

З

Задачи геодезические
– прямая 56
– обратная 63

И

Измерение углов наклона 50
– горизонтальных проложений 40
– горизонтальных углов 45

К

Компаратор 34
Компариование 34
Контроль измерений 35
Координаты 18
Координатная сетка 87
Коэффициент дальномера 155
– линейного расширения 40
Красная сторона рейки 96
Круговая кривая 98
Круг право (П) 45
Круг лево (Л) 45

Л

Ленты землемерные 35

М

Масштаб 14
Место нуля 50
Микрокалькуляторы 7

Н

Невязка высотная 163
– угловая 52, 77
– приращений координат 85
Нивелирные рейки 95
Нивелирование геометрическое 91
– поверхности 136
Нулевое место на профиле трассы 126

О

Основание масштаба 16
Относительная невязка 39
Ошибка измерений длины линий 39
– горизонтальных углов 48

П

Переходная кривая 101
Пикет 103

П
Периметр 61
Пикетажная книжка (журнал) 118
Планиметр 90
Полевой журнал 46
Полный прием измерения угла 46
Поперечный профиль 122, 127
Поправки за компарирование 34
– за наклон линий 41
– за температуру 40
Постоянная дальномера 155
Постраничный контроль 106
Превышение 12
Приближение числа 4
– вычисления 5
Примычный угол 83
Приращения координат 56
Проектная линия 124, 135
Продольный профиль трассы 117, 183

Р

Рабочая лента 34
Радиус круговой кривой 98
Разность нулей реек 96
Реечная точка 92
Рейки нивелирования 95
Реперы 91
Румб 30

С

Связующие точки 95
Средний отсчет 46

Т

Таблицы приращений координат 58
– тахеометрические 157

– для разбивки кривых на железных дорогах 99, 175
Тангенс кривой 98
Точки 91
– главные кривых 98
– реечные 96
– связующие 93
Точность верньера 45
– масштаба 16
Трасса 103

У

Угол наклона 50
Угол поворота трассы 98
Уклон линии 22, 122, 123, 183
Условные знаки 87

Ф

Формы рельефа 21

Х

Ход теодолитный 73
– тахеометрический 163

Ц

Цена деления нивелирной рейки 96

Э

Элементы железнодорожных кривых 98

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
-----------------------	---

Раздел первый

Общие сведения из геодезии

Глава I. Основные правила геодезических вычислений

§ 1. Действия с приближенными числами	4
§ 2. Выполнение вычислительных работ с применением микрокалькуляторов	7

Глава II. Единицы мер. Превышения, высоты точек

§ 3. Единицы мер, применяемые в геодезии	11
§ 4. Превышения. Абсолютные и условные высоты точек	12

Глава III. Масштабы

§ 5. Численный масштаб	14
§ 6. Линейный масштаб	16
§ 7. Поперечный масштаб	17

Глава IV. Задачи, решаемые на топографических планах и картах

§ 8. Определение координат точек, заданных на топографической карте	18
§ 9. Изображение рельефа местности	21
§ 10. Определение высот точек на плане с горизонталиями	21
§ 11. Уклон линии, его определение и построение	22
§ 12. Построение масштабов заложений и уклонов	24

Глава V. Ориентирование линий на местности

§ 13. Азимуты истинные и магнитные, дирекционные углы	26
§ 14. Истинные и магнитные румбы. Зависимость между азимутами и румбами	30
§ 15. Зависимость между дирекционными углами, румбами двух направлений и углами между ними	31

Раздел второй

Теодолитная съемка

Глава VI. Измерение линий на местности

§ 16. Компарирование мерных штриховых лент	34
§ 17. Измерение длин линий на местности землемерной лентой. Точность измерения	35
§ 18. Вычисление горизонтальных проложений	40
§ 19. Определение непростиупных расстояний	43

Глава VII. Измерение горизонтальных и вертикальных углов теодолитом

§ 20. Измерение горизонтальных углов	45
--	----

§ 21. Определение места нуля вертикального круга. Измерение вертикальных углов	50
Глава VIII. Вычислительная и графическая обработка полевых материалов теодолитной съемки	
§ 22. Угловая невязка и ее распределение	52
§ 23. Вычисление дирекционных углов и румбов в теодолитных ходах	54
§ 24. Прямая геодезическая задача. Вычисление приращений координат	56
§ 25. Вычисление невязок в приращениях координат замкнутых и разомкнутых теодолитных ходов	60
§ 26. Обратная геодезическая задача	63
Глава IX. Построение планов и вычисление площадей	
§ 27. Определение размеров листа бумаги для построения плана по координатам	65
§ 28. Вычисление площадей полигона геометрическим (графическим) способом	67
§ 29. Вычисление площадей полигона аналитическим способом (по координатам его вершин)	68
§ 30. Определение площадей полигона планиметром	70
Глава X. Расчетно-графическая работа по теодолитной съемке	
§ 31. Задание № 1. Составление плана по координатам	73
§ 32. Пример выполнения задания	77
§ 33. Составление плана полигона по координатам	87
§ 34. Определение площади полигона и его отдельных участков	88

Раздел третий

Геометрическое нивелирование

Глава XI. Общие сведения о нивелировании

§ 35. Определение превышений и высот точек способом "вперед"	91
§ 36. Определение превышений и высот точек способом "из середины"	92

Глава XII. Разбивка и нивелирование трассы железной дороги

§ 37. Элементы круговых кривых	98
§ 38. Определение суммированных элементов кривых	101
§ 39. Определение главных точек кривой в пикетажном исчислении	103
§ 40. Вынос точек пикетов с тангенса на кривую способом координат	104

Глава XIII. Обработка материалов нивелирования трассы

§ 41. Вычисление высот точек и постраничный контроль	106
§ 42. Увязывание превышений и вычисление высот связующих точек	113
§ 43. Определение высот промежуточных точек по трассе	115
§ 44. Построение продольного профиля по трассе	117
§ 45. Нивелирование и построение поперечных профилей	127

Глава XIV. Расчетно-графическая работа по нивелированию трассы

§ 46. Задание № 2. Составление продольного и поперечного профилей	129
§ 47. Последовательность выполнения задания № 2	133

Глава XV. Нивелирование поверхности	
§ 48. Обработка полевого материала	136
§ 49. Составление плана с горизонталями	149
Глава XVI. Расчетно-графическая работа по нивелированию поверхности	
§ 50. Задание № 3. Составление плана с горизонталями нивелирования поверхности	151
§ 51. Последовательность выполнения задания № 3	153
 Раздел четвертый	
Тахеометрическая съемка	
Глава XVII. Вычисление превышений и горизонтальных проложений	
§ 52. Определение расстояний и горизонтальных проложений по дальномеру	155
§ 53. Вычисление превышений по углу наклона и разности отсчетов	157
§ 54. Обработка полевых материалов тахеометрической съемки	160
Глава XVIII. Расчетно-графическая работа по тахеометрической съемке	
§ 55. Задание № 4. Составление плана с горизонталями по материалам тахеометрической съемки, выполненной на основе проложенных на местности опорных планово-высотных ходов (см. задание № 1)	166
§ 56. Обработка журнала тахеометрической съемки	166
§ 57. Составление плана с горизонталями по материалам тахеометрической съемки	174
 Раздел пятый	
Геодезические работы при строительстве и эксплуатации железнодорожного пути	
Глава XIX. Детальная разбивка кривых	
§ 58. Детальная разбивка кривых координатами от тангенса	175
§ 59. Детальная разбивка кривых способом засечек	178
§ 60. Детальная разбивка кривой при нескольких углах поворота	179
§ 61. Детальная разбивка сопряжений уклонов продольного профиля	183
Глава XX. Геодезические работы при строительстве железных дорог	
§ 62. Вынос в натуру проектных высот точек	185
§ 63. Построение на местности проектной линии заданного уклона	188
§ 64. Определение высоты сооружений	193
§ 65. Передача проектных высот на сооружение	201
§ 66. Вертикальная планировка строительной площадки	203
§ 67. Разбивка на местности границ земляного полотна	214
§ 68. Разбивка стрелочных съездов, улиц и поворотных устройств	217

Глава XXI. Рекомендуемые варианты контрольных работ	
§ 69. Контрольная работа № 1 по темам "Общие сведения по геодезии", "Теодолитная съемка"	239
§ 70. Контрольная работа № 2 по темам: "Геометрическое нивелирование", "Тахометрическая съемка", "Геодезические работы при строительстве и эксплуатации железнодорожного пути"	242
Приложения	246
Ответы к задачам	251
Список литературы	262
Предметный указатель	263

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Родионов Валерий Иванович,
Волков Виталий Николаевич**

ЗАДАЧНИК ПО ГЕОДЕЗИИ

Заведующий редакцией *Л.Г. Иванова*
Редактор издательства *Н.Т. Куприна*
Художественный редактор *Г.Н. Юрчевская*
Технический редактор *Н.С. Анашкина*
Корректор *И.П. Розанова*
Оператор *И.В. Севалкина*

ИБ № 7634.

Подписано в печать 15.04.88. Т-05910. Формат 60 x 90 $1/16$. Бумага книжно-журнальная для офсетной печати. Набор выполнен на наборно-пишущей машине. Гарнитура "Пресс-роман". Печать офсетная. Усл.печл. 17,0. Усл.кр.-отт. 17,25. Уч.-изд.л. 16,24. Тираж 13 500 экз. Заказ 133? /1682-8. Цена 55 коп.

Ордена "Знак Почета" издательство "Недра",
125047, Москва, пл. Белорусского вокзала, 3.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
109008, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.