

528/076.5)
P25.

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КАБИНЕТ
ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ

ВИННИЦКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Г. С. РАТУШНЯК

**ПРАКТИКУМ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Киев УМК ВО 1989

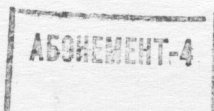
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР
УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КАБИНЕТ ПО ВЫСШЕМУ ОБРАЗОВАНИЮ
ВИННИЦКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Г.С.Ратушняк

ПРАКТИКУМ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Утверждено
советом УМК ВО при Минвузе УССР
в качестве учебного пособия
для студентов специальности
"Промышленное и гражданское строительство"

Киев УМК ВО 1989



Практикум по инженерной геодезии в строительстве: Учеб.пособие / Г.С.Ратушняк. - К.: УМК ВО, 1989. - 208 с.

В учебном пособии рассмотрены оценка точности измерений и назначения допусков, решение задач на топографических картах и планах, проанализированы современные геодезические приборы, даны практические рекомендации по работе с ними. Приведены примеры вычисления координат точек и составления плана строительного участка и профиля трассы линейного сооружения, проектирования вертикальной планировки и составления разбивочных чертежей. Рассмотрены инженерно-геодезические задачи, наиболее часто встречающиеся в условиях строительного производства.

Рассчитано на студентов строительных специальностей.

Ил. 91. Табл. 72. Библиогр.: 26 назв.

Рецензенты: Ю.В.Полищук, д-р техн. наук (КИСИ)
И.А.Тихонова, канд.техн. наук (КИСИ)
Е.Г.Перельмутер, канд.экон. наук (ВГПИ)

© Учебно-методический кабинет по высшему образованию при Минвузе УССР, 1989

С целью развития общественного производства и решения социальных задач Программа КПСС и другие документы партии и правительства определили пути ускорения научно-технического прогресса в капитальном строительстве, а также направления перестройки высшего образования по дальнейшему совершенствованию теоретической и практической подготовки специалистов.

Учебное пособие составлено в соответствии с программой курса "Инженерная геодезия" для строительных специальностей. Его основное назначение - закрепление теоретических знаний и активизация творческой самостоятельной работы учащихся при выполнении лабораторных и расчетно-графических работ и учебной геодезической практики с целью приобретения практических инженерно-геодезических навыков.

1. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ И НАЗНАЧЕНИЕ ДОПУСКОВ

Проблема управления качеством строительно-монтажных работ тесно связана с задачей повышения качества и надежности геодезических измерений. Результат измерений на строительной площадке неизбежно содержит погрешности - грубые, систематические и случайные. Первые две группы исключаются контрольными измерениями, тщательной проверкой измерительных инструментов и применением совершенных методик измерений. Случайные погрешности подчинены определенным математическим закономерностям. Это позволяет оценить точность измерений и назначить допуски.

Точность результатов совокупности измерений оценивают на основе положений теории погрешностей измерений. Основные задачи теории погрешностей измерений - определение по результатам измерений их среднего значения, оценка точности результатов измерений и оценка точности функций измеренных величин. Их решение позволяет получить достоверное

исходное значение, оценить его точность и рассчитать предварительную точность предстоящих геодезических измерений, по результатам которых выбирают соответствующий по классу точности геодезический прибор и методику измерений.

1.1. Единицы, средства и классификация измерений

Геодезические измерения – это процесс нахождения заданной физической величины с помощью технических средств. Процесс измерения включает объект, метод и техническое средство измерений, их исполнителя или регистрирующее устройство и внешнюю среду. В инженерно-геодезическом производстве физическими величинами являются длина и угол. Под длиной понимают горизонтальное или наклонное расстояние прямой, а также высоту или превышение одной точки над другой. Основная единица длины метр (м). Длину линии на местности измеряют в метрах и километрах, а на чертежах – в сантиметрах и миллиметрах. Угол – это поворот между начальным и конечным положениями подвижного луча, выходящего из точки, называемой вершиной. За единицу плоского угла принят радиан (ρ), т.е. угол между двумя радиусами, опирающийся на дугу, длина которой равна радиусу. В геодезической практике углы измеряют в градусной мере. Один градус соответствует 1:360 доле окружности. Соотношение между радианной и градусной системой следующее:

$$1 \text{ радиан-градус} \quad \rho^{\circ} = 180^{\circ}/\pi R = 57,3^{\circ};$$

$$1 \text{ радиан-минута} \quad \rho' = 180^{\circ} \times 60 / \pi R = 3438';$$

$$1 \text{ радиан-секунда} \quad \rho'' = 180^{\circ} \times 60 \times 60 / \pi R = 206265'',$$

где R – радиус окружности.

Средствами измерений являются технические средства с нормированными метрологическими свойствами: мера, измерительные прибор, преобразователь, установка и система. Мера (линейка, лента, рулетка и др.) предназначена для воспроизведения физической величины заданного размера; измерительный прибор (термометр, барометр, планиметр, буссоль и др.) – для выработки сигнала измерительной информации в форме, которую может непосредственно воспринимать наблюдатель; измерительный преобразователь (светодальномер и др.) – для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, на не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем; измерительная установка (стереокомпаратор и др.) состоит из совокупности функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенными

для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и использования в автоматических системах управления.

В зависимости от способа получения искомых значений и применяемых средств измерения подразделяются на прямые и косвенные. В первом случае результат получают непосредственным сравнением измеряемой величины с единицей измерения. В случаях, когда прямые измерения невозможны или нецелесообразны, применяют косвенные измерения, основанные на определении исходного значения по известной зависимости между этой величиной и другими величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

Измерения могут быть равно- и неравноточными. Для получения равно- точных результатов измерений необходимо, чтобы одна и та же величина измерялась несколько раз инструментами одинаковой точности, специалистами одинаковой квалификации и при идентичных условиях внешней среды. Если хотя бы одно из требований не выполняется, то результаты измерений будут неравноточными.

1.2. Основные теоретические положения математической обработки результатов геодезических измерений

Результат любых геодезических измерений неизбежно содержит погрешность. Отклонение результата измерений от истинного измеряемого значения является абсолютной случайной погрешностью

$$\Delta_n = \ell_n - x, \quad (1.1)$$

где ℓ_n - измеряемое значение; x - истинное.

Значение относительной погрешности

$$\Delta'_n = (\ell_n - x) / x. \quad (1.2)$$

Среднее арифметическое из абсолютных погрешностей

$$\theta = (|\Delta_1| + |\Delta_2| + |\Delta_3| + \dots + |\Delta_n|) / n, \quad (1.3)$$

где $|\Delta_1|$, $|\Delta_2|$, $|\Delta_n|$ - абсолютные погрешности.

Свойства случайных погрешностей:

а) свойство симметрии относительно нуля: положительные и отрицательные погрешности, которые равны по абсолютному значению, равновероятны, т.е. их возникновение равновозможно;

б) свойство компенсации: при неограниченном возрастании числа равноточных измерений среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю

$$\lim_{n \rightarrow \infty} ((\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n) / n) = \lim_{n \rightarrow \infty} (\Delta / n) = 0, \quad (1.4)$$

где $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_n$ - случайные погрешности; n - число случайных погрешностей; $[\Delta]$ - суммы случайных погрешностей;

в) свойство рассеивания: для ряда случайных погрешностей, полученных в результате равнооточных измерений, сумма квадратов, деленная на их число, при неограниченном увеличении последнего стремится к некоторому пределу σ^2 , зависящему от условий измерений

$$\lim_{n \rightarrow \infty} ([\Delta^2]/n) = \sigma^2, \quad (I.5)$$

где σ - стандарт, т.е. теоретическая средняя квадратическая погрешность;

г) свойство ограниченности: при данных условиях измерений случайная погрешность по абсолютному значению не может превышать известного предела $\Delta_{пред}$, называемого предельной погрешностью,

$$|\Delta| \leq \Delta_{пред}; \quad (I.6)$$

д) свойство пропорциональности: для любых условий измерений отношение предельной погрешности к стандарту сохраняется

$$\Delta_{пред} / \sigma = const; \quad (I.7)$$

е) свойство плотности: чем больше по абсолютному значению случайная погрешность измерений, тем оно реже встречается и, наоборот, чем меньше по модулю случайная погрешность, тем она чаще возникает.

Арифметическая середина (среднее арифметическое)

$$x = (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \dots + \ell_n) / n = [\ell] / n, \quad (I.8)$$

где n - количество равнооточных измерений; $[\ell]$ - сумма отдельных измерений.

При неограниченном возрастании числа измерений одной и той же величины предел среднего арифметического стремится к истинному значению

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\ell]}{n} = x. \quad (I.9)$$

Погрешности отдельных измерений при наличии арифметической середины

$$V_n = \ell_n - x. \quad (I.10)$$

Точность отдельного измерения в ряду измерений одного и того же значения, когда известно истинное, оценивают средней квадратической погрешностью одного измерения

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}. \quad (I.11)$$

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения при наличии арифметической середины рассчитывают по формуле Бесселя

$$m = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{[V^2]}{n-1}} \quad (I.12)$$

Средняя квадратическая погрешность линейной функции

$$Z = x \pm y \pm t \pm u \pm \dots \pm V$$

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2 + m_t^2 + m_u^2 + \dots + m_v^2 \quad (I.13)$$

Средняя квадратическая погрешность функции многих независимых переменных общего вида $Z = f(x, y, t, \dots, V)$

$$m_z^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial V}\right)^2 m_v^2, \quad (I.14)$$

где $(\partial f / \partial x)$, $(\partial f / \partial y)$ — частные производные по каждой переменной; m_x , m_y — средние квадратические погрешности каждой переменной $(x, y, t, \dots, V)$.

Средняя квадратическая погрешность арифметической середины

$$M = m / \sqrt{n} \quad (I.15)$$

Общее арифметическое среднее (весовое среднее) из результатов неравноточных измерений

$$x_0 = \frac{P_1 \ell_1 + P_2 \ell_2 + P_3 \ell_3 + \dots + P_n \ell_n}{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}, \quad (I.16)$$

где P_1, P_2, P_n — веса результатов неравноточных измерений ℓ_1, ℓ_2, ℓ_3 .

Средняя квадратическая погрешность единицы веса при наличии истинных погрешностей измерений

$$M = \sqrt{[\Delta^2 p] / n}, \quad (I.17)$$

где $[\Delta^2 p]$ — сумма произведений квадратов истинных погрешностей на веса результатов измерений.

Средняя квадратическая погрешность единицы веса, когда даны вероятнейшие погрешности измерений,

$$M = \sqrt{[V^2 p] / (n-1)}, \quad (I.18)$$

где $[V^2 p]$ — сумма произведений квадратов вероятных погрешностей на веса результатов измерений.

Средняя квадратическая погрешность весового среднего

$$M_o = M / \sqrt{[P]}, \quad (I.19)$$

где M - средняя квадратическая погрешность единицы веса; $[P]$ - сумма весов результатов неравноточных измерений.

Предельная погрешность среднего арифметического ℓ_o

$$\Delta_n = M t, \quad (I.20)$$

где M - средняя квадратическая погрешность арифметической середины; t - число, зависящее от принятой доверительной вероятности P и количества дополнительных измерений ($K_s = K - 1$), использованных при определении арифметической середины, (табл. I.I).

Таблица I.I

Количество измерений N	Доверительная вероятность P			
	0,95	0,9545	0,99	0,9973
2	4,30	4,52	9,92	18,5
3	3,18	3,31	5,84	9,20
4	2,78	2,87	4,61	6,63
5	2,57	2,65	4,04	5,50
6	2,45	2,52	3,71	4,91
8	2,31	2,36	3,36	4,28
10	2,23	2,28	3,17	3,96
20	2,08	2,13	2,85	3,42
		2,00		

Интервал J , внутри которого окажется измеренное истинное значение ℓ с заданной доверительной вероятностью P , устанавливают по зависимости

$$(\ell_o - \Delta_n) \leq \ell \leq (\ell_o + \Delta_n). \quad (I.21)$$

I.3. Решение задач по оценке точности измерений и назначению допусков

Задача I. Длина стороны теодолитного хода измерена стальной лентой в прямом ($L_n = 96,55$ м) и обратном ($L_p = 96,59$ м) направлениях. Допускаемая относительная погрешность измерения не должна превышать $\Delta'_{доп} < 1:2000$. Определить абсолютную и относительную погрешности и окончательную длину стороны теодолитного хода.

Решение. Определяют абсолютную погрешность измерений

$$\Delta = L_n - L_o = 96,55 - 96,51 = 0,04 \text{ м.}$$

Среднее арифметическое из результатов двух измерений

$$L_{cp} = 0,5 (L_n + L_o) = 0,5(96,55 + 96,51) = 96,53 \text{ м.}$$

Относительная погрешность измерения длины стороны теодолитного хода в прямом и обратном направлениях

$$\Delta' = \Delta / L_{cp} = 0,04 / 96,53 = 1/2413 < 1/2000.$$

Поскольку $\Delta' < \Delta'_{доп}$, за окончательную длину стороны теодолитного хода принимают среднее арифметическое из результатов двух измерений $L_{cp} = 96,53 \text{ м.}$

Задача 2. При разбивке осей сооружения способом полярных координат угол, истинное значение которого равно $X = 90^{\circ}00'$, измерен теодолитом шесть раз. Результаты измерений: $\beta_1 = 89^{\circ}58'$; $\beta_2 = 90^{\circ}02'$; $\beta_3 = 89^{\circ}58'$; $\beta_4 = 90^{\circ}01'$; $\beta_5 = 90^{\circ}02'$; $\beta_6 = 89^{\circ}59'$.

Определить среднюю и среднюю квадратическую погрешности одного измерения.

Решение. Расчеты выполняют в табличной форме (табл. I.2). Истинная погрешность отдельного измерения угла теодолитом

$$\Delta_1 = \beta_1 - X = 89^{\circ}58' - 90^{\circ}00' = -02';$$

$$\Delta_2 = \beta_2 - X = 90^{\circ}02' - 90^{\circ}00' = +02'.$$

Таблица I.2

Определение средней и средней квадратической погрешностей одного измерения

Номер измерений	Результат измерений β_i	Истинная погрешность Δ_i , мин	Δ_i^2	Оценка точности
1	$89^{\circ}58'$	-02	4	$\Delta_{cp} = 10:6 = 1',67$
2	$90^{\circ}02'$	+02	4	
3	$89^{\circ}58'$	-02	4	$m = \sqrt{18/6} = 1',74$
4	$90^{\circ}01'$	+01	1	
5	$90^{\circ}02'$	+02	4	
6	$89^{\circ}59'$	-01	1	
$n = 6$	$X = 90^{\circ}00'$	$[\Delta] = 0$	$[\Delta^2] = 18$	

Средняя погрешность одного измерения

$$\Delta_{\text{ср}} = (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \Delta_4 + \Delta_5 + \Delta_6) : 6 = 10/6 = 1,67,$$

где Δ_1 , Δ_2 и т.д. — абсолютные истинные погрешности отдельных измерений.

Средняя квадратическая погрешность одного измерения

$$m = \sqrt{[\Delta^2]/n} = \sqrt{28:6} = 2,16.$$

Задача 3. Длина стороны полигонометрии измерена светодальномером шесть раз, м: $\ell_1 = 339,749$; $\ell_2 = 339,732$; $\ell_3 = 339,763$; $\ell_4 = 339,746$; $\ell_5 = 339,740$; $\ell_6 = 339,744$. Вычислить вероятную длину стороны, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность арифметической середины и относительную погрешность, вероятное значение, предельную погрешность и построить интервал, в котором находится точная длина стороны с доверительной вероятностью $p = 0,99$.

Решение. Вычисления ведут в табличной форме (табл. I.3). Вероятная длина стороны полигонометрии

$$L = [\ell]/n = (\ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_4 + \ell_5 + \ell_6)/6 = 2038,524/6 = 339,746 \text{ м},$$

где $[\ell]$ — сумма результатов измерений длины стороны (графа 2, табл. I.3); n — количество измерений ($n = 6$).

Погрешность отдельных измерений

$$V_i = \ell - L = 339,749 - 339,746 = + 0,003 \text{ м}.$$

Средняя квадратическая погрешность одного измерения

$$m = \sqrt{[V^2]/(n-1)} = \sqrt{689/5} = \pm 11,7 \text{ мм},$$

где $[V^2]$ — сумма квадратов погрешностей отдельных измерений (табл. I.3)

Средняя квадратическая погрешность арифметической середины

$$M = \pm m/\sqrt{n} = \pm 11,7/\sqrt{6} = \pm 4,8 \text{ мм}.$$

Относительная погрешность вероятной длины стороны полигонометрии

$$\frac{1}{N} = \frac{M}{L} = 1/70780.$$

Таблица I.3

Определение вероятной длины стороны,
вероятных погрешностей отдельных измерений
и средней квадратической погрешности одного измерения

номер изме- рений	Измеренная длина сто- роны, м	Остаток ε_n , мм	Вероятная погрешность V_n , мм	V_n^2	Оценка точности
1	339,749	49	+4	14	$L = 339,745$ м
2	339,732	32	-13	169	
3	339,763	63	+18	324	
4	339,746	43	-2	4	$m = \pm 11,7$ мм
5	339,740	40	-5	25	$M = \pm 4,8$ мм
6	339,744	44	-1	1	$1/N = 1/70780$
$L = 339,700$ [ε] = 273 [V] = +1 [V ²] = 689					

Для избежания громоздких вычислений выделяют часть длины, общую для всех результатов $L_o = 339,700$ м. По остаткам ($\varepsilon_n = L_n - L_o$) вычисляют среднее арифметическое (вероятное) значение длины стороны полигонометрии

$$L = L_o + (\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n)/n = 339,60 + (0,049 + 0,032 + 0,063 + 0,046 + 0,090 + 0,044)/6 = 339,746 \text{ м.}$$

Предельная погрешность среднего арифметического значения длины стороны полигонометрии с доверительной вероятностью ρ

$$\Delta_o = Mt = 4,8 \times 4,04 = 19,39 \text{ мм,}$$

где M — средняя квадратическая погрешность арифметической середины;
 t — число, зависящее от принятой доверительной вероятности $\rho = 0,99$
количества дополнительных измерений $N = (n - 1) = 5$, согласно
бл. I.1, равно 4,04.

Следовательно, истинная длина стороны полигонометрии находится в интервале ($L_o - \Delta_o$) $\leq l \leq (L_o + \Delta_o)$, т.е.
 $339,746 - 0,019 \leq l \leq (339,746 + 0,019)$ или $339,727 \leq l \leq 339,765$ м.

Задача 4. Угол измерен одним и тем же теодолитом пять раз:
 $\beta_1 = 39^\circ 09', 6$; $\beta_2 = 39^\circ 09', 8$; $\beta_3 = 39^\circ 09', 7$; $\beta_4 = 29^\circ 09', 8$;
 $\beta_5 = 39^\circ 09', 6$. При этом использовано разное количество приемов: $n_1 = 3$;
 $n_2 = 3$; $n_3 = 5$; $n_4 = 4$; $n_5 = 4$. Вычислить среднее значение, его
среднюю арифметическую погрешность, среднюю квадратическую погрешность
единицы веса и средние квадратические погрешности отдельных измерений.

Решение. Вычисления ведут в табличной форме (табл. I.4). Определяют веса измерений P_i , принимая их пропорционально числу приемов, придав измерению угла одним приемом вес $p = 1$.

Вычисляют общую арифметическую середину

$$L_0 = \frac{\beta_1 P_1 + \beta_2 P_2 + \beta_3 P_3 + \beta_4 P_4 + \beta_5 P_5}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5},$$

где $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_5$ - измеренный угол с весом соответственно $P_1, P_2, \dots, P_5$.

Таблица I.4

Определение весового среднего значения, его средней арифметической погрешности, средней квадратической погрешности единицы веса и средней квадратической погрешности отдельных измерений

Но- мер из- ме- ре- ний	Измеренный угол β_i	Число прие- мов n_i	Вес, P_i	ε_i	$P_i \varepsilon_i$	V_i	$P_i V_i$	$P_i V_i^2$	Оценка точности
1	39°09',6	3	3	0',6	1,8	-0,1	-0,3	0,03	$L_0 = 32°09',7$
2	39°09',8	3	3	0',8	2,4	+0,1	+0,3	0,03	$M = \pm 0,19'$
3	39°09',7	5	5	0',7	3,5	0,0	0,0	0,00	$M = \pm 0',04$
4	39°09',8	4	4	0',8	3,2	+0,1	+0,4	0,04	$m_1 = \pm 0',16$
5	39°09',6	4	4	0',6	2,4	-0,1	-0,4	0,04	$m_2 = \pm 0',06$
									$m_3 = \pm 0',04$
									$m_4 = \pm 0',05$
									$m_5 = \pm 0',05$
	$\beta_0 = 39°09',0$	$\Sigma = 19$	$\Sigma = 19$	$\Sigma = 13,3$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 0,14$			$m_5 = \pm 0',05$

Во избежание громоздких расчетов из всех результатов измерения угла вычитают общую часть. Тогда $\beta_i = \beta_0 + \varepsilon_i$ и т.д., или

$$L_0 = \frac{(\beta_0 + \varepsilon_1)P_1 + (\beta_0 + \varepsilon_2)P_2 + (\beta_0 + \varepsilon_3)P_3 + (\beta_0 + \varepsilon_4)P_4 + (\beta_0 + \varepsilon_5)P_5}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5} = \beta_0 + \frac{[\varepsilon_i P_i]}{[P_i]},$$

$$L_0 = 39°09' + (0,6' \times 3 + 0,8' \times 3 + 0,7' \times 5 + 0,8' \times 4 + 0,6' \times 4) / 19 = 39°09',7.$$

Определяют погрешность $V_i = \beta_i - L_0$.

Вычисляют среднюю квадратическую погрешность единицы веса

$$\mu = \pm \sqrt{[P, V_i^2]/(n-1)} = \pm \sqrt{0,14/4} = \pm 0,19'.$$

Контролем правильности вычислений является равенство

$$[P_i V_i] = 0.$$

Определяют среднюю квадратическую погрешность общей арифметической середины

$$M_0 = \mu / \sqrt{[P]} = 0,19' / \sqrt{19} = \pm 0',04.$$

Вычисляют средние квадратические погрешности отдельных измерений

$$m_1 = \mu / p_1 = 0,48' / 3 = 0,16'; \quad m_4 = \mu / p_4 = 0,48' / 4 = 0',12.$$

Задача 5. При разбивке сооружения плановое положение его точки на местности определяют способом прямоугольных координат. Расстояние от пункта опорной геодезической сети до перпендикуляра $S_1 = 58,00$ м, а длина перпендикуляра $S_2 = 15,3$ м. Перпендикуляр восстанавливает теодолитом со средней квадратической погрешностью $m_B = 30''$, расстояния откладывают лентой со средней квадратической относительной погрешностью $m_s / S = 1:2000$, а точку фиксируют забиванием в грунт деревянного колышка со средней квадратической погрешностью $m_F = 2$ мм.

Требуется предвычислить предельную погрешность планового положения точки.

Решение. Предельная погрешность планового положения точки $\Delta_{пред} = 2m_c$, где m_c — средняя квадратическая погрешность положения определяемой точки.

Плановое положение точки определяется как функция других непосредственно измеряемых величин, таких как расстояние от пункта геодезических сетей, длина перпендикуляра и прямой угол.

Среднюю квадратическую погрешность разбивки точки способом прямоугольных координат определяют как линейную функцию других непосредственно измеряемых величин

$$m_c = \sqrt{m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2 + m_B^2 S_2^2 / \rho^2 + m_{\alpha}^2 + m_F^2 + m_B^2 + 2m_F^2},$$

где m_{S_1} и m_{S_2} — средние квадратические погрешности отложенных расстояний S_1 и S_2 .

$$m_{S_1} = (m_s / S) S_1 = 58,0 / 2000 = \pm 29 \text{ мм};$$

$$m_{S_2} = (m_s / S) S_2 = 15,3 / 2000 = \pm 7,6 \text{ мм};$$

Погрешность построения прямого угла

$$m_{\beta}^2 S_{\beta}^2 / \rho^2 = (30 \times 15800 / 206265)^2 = \pm 5,3 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность положения определяемой точки из-за погрешности центрирования теодолита

$$m_u = e \sqrt{(S_o - S_i^2) / S_o^2} / \sqrt{2},$$

где e - погрешность центрирования теодолита, равная для нитяного отвеса при тщательной установке 4,0 мм; S_o - расстояние между пунктами планового геодезического обоснования, равное 200 м;

$$m_u = \frac{4,0}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{(200 - 58)^2}{200}} = \pm 2,4 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность положения определяемой точки из-за погрешности редукции визирной цели

$$m_p = \frac{e_i}{\sqrt{2}} \sqrt{\left(\frac{S_i}{S_o}\right)^2},$$

где e_i - погрешность редукции визирной цели для металлического прута диаметром 20 мм, равная 3 мм;

$$m_p = \frac{3}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{(58,0)^2}{200}} = \pm 1,2 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность построения створа из-за погрешностей визирования

$$m_{\beta} = \frac{20'' \sqrt{2}}{\rho''} \frac{S'}{V^x},$$

где V^x - увеличение зрительной трубы теодолита, равное 20.

$$m_{\beta} = \frac{20 \sqrt{2} \times 15800}{206265 \times 20} \pm 0,1 \text{ мм,}$$

$$m_c = \sqrt{29,0^2 + 7,6^2 + 5,3^2 + 2,4^2 + 1,2^2 + 0,1^2} = \pm 30,6 \text{ мм.}$$

Тогда предельная погрешность планового положения точки

$$\Delta_{пред} = 2 m_c = 2 \times 30,6 = 61 \text{ мм.}$$

Следовательно, при разбивке осей сооружения способом прямоугольных координат с помощью ленты ($\Delta' = 1:2000$) и теодолита ($m_{\beta} = 30''$) предельная погрешность не может превышать $\Delta_{пред} = 61 \text{ мм.}$

Задача 6. При разбивке сооружения плановое положение его точки местности определяют способом полярных координат. Точка сооружения находится на расстоянии $S' = 58,00$ м от пункта геодезической разбивочной сети. Требуется определить, с какой точностью необходимо выполнить линейные и угловые измерения, чтобы погрешность планового положения точки сооружения составляла $M \leq 2$ см.

Решение. Положение точки C , выраженное через полярное расстояние S' и угол β , равно $x = S' \cos \beta$, $y = S' \sin \beta$.

Средняя квадратическая погрешность смещения точки C относительно проектного положения

$$M = m_x^2 + m_y^2,$$

m_x и m_y — соответственно средние квадратические погрешности смещения точки C по осям абсцисс и ординат, определяемые как функции полярного расстояния S' и угла β

$$m_x^2 = m_s^2 \cos^2 \beta + m_\beta^2 S'^2 \sin^2 \beta / \rho^2;$$

$$m_y^2 = m_s^2 \sin^2 \beta + m_\beta^2 S'^2 \cos^2 \beta / \rho^2,$$

m_s — средняя квадратическая погрешность построения на местности полярного расстояния S' ; m_β — средняя квадратическая погрешность построения угла.

$$M = m_x^2 + m_y^2 = m_s^2 + m_\beta^2 S'^2 / \rho^2.$$

Применяя принцип равного влияния на точность разбивки сооружения линейных и угловых измерений

$$m_s^2 = S'^2 m_\beta^2 / \rho^2 = M^2 / 2,$$

определим значения погрешностей линейных и угловых измерений

$$m_s = M \sqrt{2} = 2 / \sqrt{2} = \pm 1,4 \text{ см};$$

$$m_\beta = \rho M / 2S' = 206265 \times 0,02 / 2 \times 58,00 = 35'',6.$$

Следовательно, требуемая точность разбивки сооружения может быть обеспечена применением стальной рулетки и теодолита 30'' точности.

Задача 7. Высота сооружения определена тригонометрическим нивелированием. Расстояние от теодолита до сооружения $S' = 91,47$ м, углы $\gamma_1 = 19^\circ 47'$, $\gamma_2 = -1^\circ 39'$. Средние квадратические погрешности измерений составляют $m_s = \pm 0,02$ м, $m_\gamma = 30''$. Вычислить среднюю квадратическую погрешность определения высоты сооружения.

Решение. Высота сооружения определяется по формуле тригонометрического нивелирования, м

$$H = S (\operatorname{tg} \delta_1 + \operatorname{tg} \delta_2),$$

где $\operatorname{tg} \delta_1$ и $\operatorname{tg} \delta_2$ — тангенсы углов наклона.

$$H = 91,47 (\operatorname{tg} 19^\circ 47' + \operatorname{tg} 1^\circ 39') = 33,88 \text{ м.}$$

Средняя квадратическая погрешность определения высоты как функции измеренных величин

$$m_H = \sqrt{(\partial H / \partial S)^2 m_S^2 + (\partial H / \partial \delta_1)^2 m_{\delta_1}^2 + (\partial H / \partial \delta_2)^2 m_{\delta_2}^2},$$

где

$$\partial H / \partial S = \operatorname{tg} \delta_1 + \operatorname{tg} \delta_2; \quad \partial H / \partial \delta_1 = S / \cos^2 \delta_1, \quad \partial H / \partial \delta_2 = S / \cos^2 \delta_2.$$

Отсюда

$$m_H = \sqrt{(\operatorname{tg} \delta_1 + \operatorname{tg} \delta_2)^2 m_S^2 + S^2 (1 / \cos^4 \delta_1 + 1 / \cos^4 \delta_2) m_{\delta}^2 / \rho^2};$$

$$m_H = \sqrt{(0,3679^2 \times 0,02^2 + \frac{91,47^2}{206265^2} \times \frac{1}{(\cos 19^\circ 47')^4} + \frac{1}{(\cos 1^\circ 39')^4} 30^2} =$$

$$= \sqrt{0,1354 \times 0,0004 + \frac{8366,76}{206265^2} \left(\frac{1}{0,7840} + \frac{1}{0,9983} \right) 30^2} =$$

$$= \sqrt{0,000054 + 0,0004} = \pm 0,021 \text{ м.}$$

Следовательно, средняя квадратическая погрешность определения высоты сооружения тригонометрическим нивелированием $m_H = \pm 0,02 \text{ м.}$

1.4. Решение задач по оценке точности измерений и назначению допусков на ЭКВМ

Инженерно-геодезические расчеты по оценке точности измерений и назначению допусков значительно можно ускорить, а также увеличить их точность, применив ЭВМ. Ниже приведен пример работы с ЭКВМ "Электроника МК-54".

Пример. Даны результаты измерений длины линии полигонометрии

$$l_1 = 339,740 \text{ м; } l_2 = 339,732 \text{ м; } l_3 = 339,763 \text{ м;}$$

$$l_4 = 339,746 \text{ м; } l_5 = 339,740 \text{ м; } l_6 = 339,794 \text{ м.}$$

Вычислить вероятные длину и линию, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность арифметической середины и относительную погрешность вероятной длины стороны. Все расчеты выполняются согласно алгоритму и программе (табл. 1.5, 1.6).

Таблица I.5

Программа решения задачи на ЭКВМ "Электроника МК-54"

Адрес	Команда	Код	Адрес	Команда	Код
00	I → П	41	22	3 → П	43
01	П → 2	62	23	П → 4	64
02	+	10	24	I	01
03	2 → П	42	25	-	11
04	П → I	61	26	F, 1/X	23
05	F, x ²	22	27	П → 3	63
06	П → 3	63	28	x	12
07	+	10	29	FV	21
08	3 → П	43	30	3 → П	43
09	0	5	31	с/п	50
10	"39"	39	32	Cx	0Г
11	П → 2	62	33	2 → П	42
12	П → 4	64	34	3 → П	43
13	+	13	35	I	01
14	2 → П	42	36	2 → П	44
15	с/п	50	37	с/п	50
16	F, x ²	22	38	K, БП, 7	87
17	П → 4	64	39	K, П → 4	Г4
18	F, x	12	40	П → 4	64
19	/-/	0	41	с/п	50
20	П → 3	63	42	K, БП, 7	87
21	+	10			

Таблица I.6

Инструкция к решению задачи на ЭКВМ "Электроника МК-54"
по программе табл. I.5

№ п/п	Содержание	Набрать число	Выполнить команды	Результат
1	2	3	4	5
1	Ввести программу		B/O, F, ПРТ	
2	Перейти в автоматический режим работ		, АВТ	
3	Ввести число измерений длины линии	n = 6	0 → П	

1	2	3	4	5
4	Ввести число I	I	4 → П	I
5	Ввести результат измерения длины линии l_i	339,749	В/0, с/п	339,749,2
6	Ввести очередной результат измерения l_i	339,732	с/п	339,732,2
7	Ввести очередной результат измерений l_i		с/п	$l_i = i + 1$
8	Если исходные данные исчерпаны			$L = [e]/n$
9	Нажать клавиш		с/п	$m = \sqrt{[v^2]/(n-1)}$
10	Очистить сумматоры, ввести число I в П4 Для ввода нового массива данных Ввести число измерений n Ввести результаты измерений $l_1, \dots, l_i$ и далее по п. 8-10		с/п	I

I.5. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Виды и средства измерений.
2. Единицы мер в геодезии.
3. Что такое погрешность измерений?
4. Свойства случайных погрешностей.
5. Как оценивается точность равнооточных измерений?
6. Определение погрешности функции измеренных величин.
7. Чему равна погрешность арифметической середины?
8. Какие формулы применяются для оценки неравнооточных измерений?
9. По результатам измерений определите абсолютную и относительную погрешности и окончательное значение стороны теодолитного хода.
10. Определите среднюю и среднюю квадратическую погрешности измерения угла теодолитом шесть раз.
- II. Вычислите вероятное значение длины стороны полигонометрии, измеренную светодальномером шесть раз, среднюю квадратическую погрешность одного измерения, среднюю квадратическую погрешность арифметической середины, относительную погрешность вероятного значения и предельную погрешность. Постройте интервал, в котором находится точное значение стороны с доверительной вероятностью $p = 0,99$.

12. Вычислите весовое среднее значение, его среднюю арифметическую погрешность, среднюю квадратическую погрешность единицы веса и средние квадратические погрешности отдельных измерений угла одним и тем же теодолитом пять раз с различным количеством приемов.

13. Вычислите предельную погрешность планового положения точки, местоположение которой определяется способом прямоугольных координат.

14. Определите, с какой точностью необходимо выполнять линейные и угловые измерения при определении местоположения точки способом полярных координат, чтобы погрешность планового положения ее составляла $M \leq 2$ см.

15. Вычислите среднюю квадратическую погрешность определения высоты сооружения по измеренным с известной точностью горизонтальному расстоянию и вертикальному углу.

2. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ И ПЛАНАХ

2.1. Общие сведения о топографических картах и планах

Географические карты позволяют изучить комплекс природноэкономических характеристик района строительства для выбора наиболее оптимального проектного решения.

Топографическая карта, будучи уменьшенным обобщенным изображением земной поверхности, построенным по определенным математическим зависимостям, служит основой для разработки генеральных планов строительства, камерального трассирования линейных сооружений и др. Топографические карты в СССР составляют в равноугольной поперечной проекции Гаусса, вычисляемой по элементам эллипсоида Красовского и в Балтийской системе высот.

Положение любой точки физической земной поверхности определяется проекцией точки на поверхности эллипсоида (геодезические или прямоугольные координаты). Участки местности на карте изображают в уменьшенном виде. Масштабом топографической карты или плана называется отношение длин линий на карте или плане к горизонтальным проекциям этих линий на местности.

На топографических картах изображается территория земной поверхности, ограниченная на западе и востоке меридианами, на севере и юге параллелями с известными долготами и широтами. На северной и южной опорных рамках трапеции нанесены минутные деления по долготе, а на западной и восточной сторонах — по широте в виде чередующихся черных и белых шашек. Каждая минута долготы и широты точками разделена на шесть частей, расстояния между которыми соответствуют $10''$. Соединив прямыми

соответствующие точки на противоположных широтах трапеции, можно получить геодезическую сетку координат в виде линий параллелей и меридианов. В узлах рамки приведены их географические координаты.

Прямоугольная система координат на топографической карте представлена линиями километровой сетки, горизонтальные линии которой, параллельные проекции экватора на горизонтальную плоскость, являются осями ординат, а вертикальные линии, параллельные осевому меридиану – осями абсцисс. Выходы линий координатной сетки подписаны между внутренней и минутной рамками, что позволяет определить плоские прямоугольные координаты точек.

Высотное положение точек земной поверхности изображается горизонталями, проведенными через определенную высоту сечения в зависимости от масштаба карты и характера рельефа местности и дополнительными абсолютными отметками. Высота сечения рельефа приведена под южной внешней рамкой.

Номенклатура листа карты указана над северной внешней рамкой. Численный, словесный и линейный масштабы, а также масштаб заложений помещены под южной внешней рамкой. Под юго-западным углом рамки находится пояснительная надпись о склонении магнитной стрелки и среднем сближении меридианов. Во внутренней рамке карты изображены рельеф и ситуация с помощью контурных и внемасштабных условных знаков.

2.2. Исследование точности определения длины линии между точками различными способами

Длину линии между двумя точками на карте с различной точностью можно определить пользуясь численным, линейным и поперечным масштабам и с помощью курвиметра.

Требуется определить длину линии между точками 212,8 (6812) и 171,3 (6713) на карте У-34-37-13-в-4 масштаба 1:10000.

Численный масштаб карты 1:10000. Следовательно, 1 см на карте соответствует 10000 см, или 100 м на местности.

Горизонтальная проекция длины линии на местности

$$d = \ell m, \quad (2.1)$$

где ℓ – длина отрезка на карте, см; m – знаменатель численного масштаба карты.

Длина отрезка на карте У-34-37-Б-в-4 между точками 212,8 (6812) и 171,3 (6713) равна 10,4 см.

Тогда длина линии на местности, определяемая по формуле (2.1),

$$d = 10,4 \times 10000 = 104000 \text{ см} = 1040 \text{ м} = 1,04 \text{ км}.$$

Предельная погрешность составляет $\pm 0,5$ мм в масштабе карты, что в масштабе 1:10000 равно ± 5 м.

Для ускорения перехода от измеренных длин линий на карте к соответствующим длинам на местности и обратно применяют линейный и поперечный масштабы. Первый помещен на каждой топографической карте.

Требуется определить горизонтальную проекцию длины линии между точками 156,9 (65II) и 140,5 (66I2).

Для определения горизонтальной проекции длины линий между точками 156,9 (65II) и 140,5 (66I2) раствором циркуля-измерителя охватывают расстояние на карте между двумя заданными точками. Затем, используя линейный масштаб (рис. 2.1), определяют искомое расстояние, которое равно 655 м.

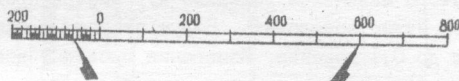


Рис. 2.1. Определение горизонтальной проекции длины линии с помощью линейного масштаба карты М 1:10000

Предельная погрешность определения расстояния с помощью линейного масштаба равна $\pm 0,5$ мм в масштабе карты. Для карты 1:10000 это составляет ± 5 м. Значит измеренное расстояние окончательно равно $d' = 655 \pm 5$ м.

Для повышения точности работы на карте применяют поперечный масштаб (рис. 2.2).

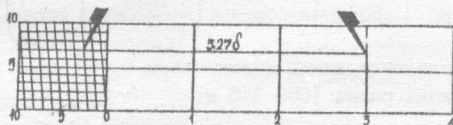


Рис. 2.2. Определение горизонтальной проекции длины линии с помощью поперечного масштаба

Поперечный масштаб позволяет определять расстояния на карте или плане с точностью 0,1 мм.

Раствор циркуля-измерителя, равный отрезку между точками 156,9 (65II) и 140,5 (66I2), устанавливают на поперечном масштабе (рис. 2.2) таким образом, чтобы его первая игла была расположена на одной из вертикалей, а левая – на одной из наклонных линий (трансверсалий) крайнего левого основания масштаба. При этом обе иглы циркуля-измерителя располагаются на одной горизонтальной линии масштаба.

Горизонтальная проекция длины линии, определяемая с помощью поперечного масштаба,

$$d = \ell \sigma, \quad (2.2)$$

где ℓ - длина линии, выраженная в долях основания поперечного масштаба; σ - цена основания поперечного масштаба.

В данном примере горизонтальная проекция длины линии

$$d = 3,27 \times 200 = 654 \text{ м.}$$

Погрешность определения расстояния с помощью поперечного масштаба $\pm 0,1$ мм в масштабе карты, что для М 1:10000 составляет ± 1 м. Измеренное расстояние равно $d = 654 \pm 1$ м.

Длину извилистых линий (дорог, рек и др.) определяют с помощью курвиметра. Для этого маленькое колесико курвиметра прокатывают по линии, длину которой нужно определить. Берут отсчеты в начале и конце линии с точностью до 0,1 деления. Измерения проводят дважды и вычисляют среднее значение в делениях курвиметра, умножив которое на цену деления в масштабе карты получают длину линии (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Определение длины извилистой линии с помощью курвиметра

Линия	Отсчет		Разность отсчетов	Среднее значение разности отсчетов	Цена деления, м в 1 см	Длина линии, м
	начальный	конечный				
р.Беличка	11,3	21,9	10,6	10,5	100	1050
	23,8	34,2	10,4			

Точность определения длины курвиметром 0,005 м масштаба плана. Тогда длина р.Беличка равна 1050 ± 5 м.

2.3. Определение геодезических координат точки

В геодезической системе координат координатными плоскостями являются плоскости экватора земного эллипсоида и меридиана, принятого за начальный.

Геодезическая широта - угол, образованный нормалью и поверхностью земного эллипсоида в данной точке и плоскостью экватора.

Геодезическая долгота - двугранный угол, образованный между плоскостями геодезического меридиана данной точки и начального геодезического меридиана.

Геодезические координаты точки I53,8 (65I2), а именно ее широту B и долготу L , определяют, используя минутную рамку карты, на которой кроме минутных делений нанесены точками 10-секундные деления (рис. 2.3). Через точку I53,8 (65I2) проводят параллель B_1 , которая параллельна нижней стороне рамки карты, и истинный меридиан L_1 , параллельный вертикальной стороне рамки карты (рис. 2.3).

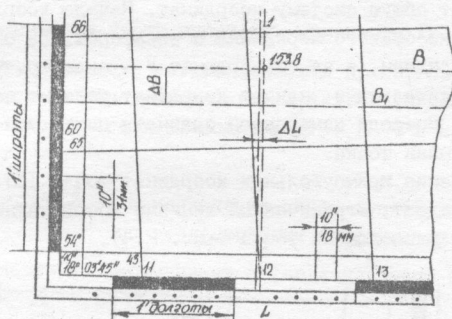


Рис. 2.3. Определение геодезических координат точки

От заданной точки I53,8 (65I2) к югу и западу проводят кратные 10 с параллель B_1 и меридиан L_1 . Из точки I53,8 (65I2) опускают перпендикуляры и измеряют длину ΔB и ΔL .

Широта точки I53,8 (65I2)

$$B = B_1 + \Delta B \cdot 10''/\alpha, \quad (2.3)$$

где B_1 - широта южной параллели, проведенной через 10-секундный интервал, минуты и десятки секунд; ΔB - длина перпендикуляра - приращение широты от проведенной к югу от точки параллели, мм; α - 10-секундное деление широты, мм.

Долгота точки I53,8 (65I2)

$$L = L_1 + \Delta L \cdot 10''/\beta, \quad (2.4)$$

где L_1 - долгота западного меридиана, проведенного через 10-секундный интервал, градусы, минуты и десятки секунд; ΔL - длина перпендикуляра - приращение долготы от проведенного к западу от точки меридиана, мм; β - 10-секундное деление долготы, мм.

Длины перпендикуляров ΔB и ΔL , 10-секундных делений широты и долготы измеряют с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки с точностью ± 1 мм.

Искомые геодезические координаты точки 153,8 (6512):
 широта $B = 54^{\circ}40'40'' + 30 \cdot 10''/31 = 54^{\circ}40'50''$,
 долгота $L = 18^{\circ}05'10'' + 6 \cdot 10''/18 = 18^{\circ}05'13''$.

2.4. Определение прямоугольных координат точки

Топографические карты, построенные в проекции Гаусса, в пределах данной зоны имеют общую систему координат. Начало координат в каждой зоне – пересечение осевого меридиана с экватором. За ось абсцисс X принят осевой меридиан, а за ось ординат Y – экватор. Чтобы ординаты были только положительными, начало координат условно перенесено на 500 км на запад. Впереди измененной ординаты пишут номер зоны, в которой находится данная точка.

Для определения прямоугольных координат точки 153,8 (6512) сначала определяют квадрат, ограниченный линиями координатной километровой сетки, в котором расположена точка (рис. 2.4).

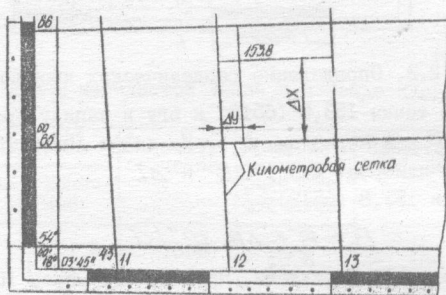


Рис. 2.4. Определение прямоугольных координат точки

Из точки 153,8 (6512) опускают перпендикуляры Δx и Δy на линии координатной километровой сетки и с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки определяют чему они равны на местности.

Прямоугольные координаты точки

$$x = x_k + \Delta x, \quad (2.5)$$

$$y = y_k + \Delta y, \quad (2.6)$$

где x_k , y_k – координаты юго-западного угла квадрата координатной километровой сетки, в котором расположена данная точка, м; Δx , Δy – длины перпендикуляров, м.

Искомые прямоугольные координаты точки I53,8 (65I2):

абсцисса $X = 6065000 + 665 = 6065665$ м;

ордината $Y = 4312000 + 142 = 4312142$ м.

Это значит, что точка I53,8 (65I2) расположена в четвертой зоне, к северу от экватора на 6065665 м, удалена от начала координат зоны на 312142 м, лежит западнее осевого меридиана на 312,142 км - 500 км = 187,858 км.

2.5. Нанесение на карту пункта по известным координатам

Задачи решают, используя геодезическую и прямоугольную системы координат, имеющиеся на топографических картах. Исходные данные для нанесения пункта на карту - геодезические (B , L) и прямоугольные координаты (X , Y).

2.5.1. Нанесение на карту пункта по геодезическим координатам

Требуется нанести на карту пункт с геодезическими координатами $B = 54^{\circ}41'27''$ и $L = 18^{\circ}06'04''$.

Сначала определяют приближенное местоположение пункта на карте. Для этого значение геодезических координат пункта округляют до целых десятков секунд ($B = 54^{\circ}41'20''$ и $L = 18^{\circ}06'00''$). Пользуясь минутной сеткой и 10-секундными интервалами на рамке топографической карты, на карту наносят приближенное местоположение пункта с точностью до $10''$. Соединяют прямыми линиями одноименные значения округленных 10-секундных интервалов.

Расстояние по меридиану от пункта с известными геодезическими координатами до ближайшей южной параллели, прочерченной через 10-секундный интервал,

$$\Delta B = \alpha(B - B_i) / 10'', \quad (2.7)$$

где B - широта заданного пункта, град., мин, с; B_i - широта южной параллели, проведенной через 10'' интервал, град., мин, десятки секунд; α - длина отрезка на карте, соответствующая 10'' интервалу по широте, мм.

$$\Delta B = \frac{31(54^{\circ}41'27'' - 54^{\circ}41'20'')}{10''} = 21,7 \text{ мм.}$$

Расстояние по параллели от пункта с известными геодезическими координатами до ближайшего западного меридиана, мм:

$$\Delta L = \beta(L - L_i) / 10'', \quad (2.8)$$

где L – долгота заданного пункта, град., мин, с; L_0 – долгота западного меридиана, проведенного через $10''$ интервал, град., мин, десяти секунд; b – длина отрезка на карте, соответствующая $10''$ интервалу по долготе, мм.

$$\Delta L = \frac{18 (18^{\circ}06'04'' - 18^{\circ}06'00'')}{10''} = 7,2 \text{ мм.}$$

С помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки от широты южной параллели, проведенной через $10''$ интервал, откладывают в масштабе карты отрезок ΔB , а от долготы западного меридиана, проведенного через $10''$ интервал – отрезок ΔL . В точке пересечения этих отрезков получают на карте местоположение искомого пункта с известными геодезическими координатами.

2.5.2. Нанесение на карту пункта по прямоугольным координатам

Требуется нанести на карту пункт с прямоугольными координатами $X = 6065585$ и $Y = 4311890$.

По имеющимся целым значениям (км) прямоугольных координат ($X = 6065$ и $Y = 4311$) устанавливают квадрат километровой сетки, в котором находится искомый пункт (6511).

Определяют разность между известными прямоугольными координатами (X, Y) и ближайшими значениями координат юго-западного угла квадрата (6511) координатной километровой сетки (X_0, Y_0), в котором находится искомый пункт

$$\Delta X = X - X_0, \text{ м} \quad (2.9)$$

$$\Delta Y = Y - Y_0, \text{ м} \quad (2.10)$$

где $\Delta X, \Delta Y$ – соответственно разность между координатами по оси абсцисс и оси ординат, м.

$$\Delta X = 6065585 - 6065000 = 585 \text{ м,}$$

$$\Delta Y = 4311890 - 4311000 = 890 \text{ м.}$$

С помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки в квадрате (6511) на его южной и северной сторонах от западной абсциссы откладывают отрезок ΔY . На западной и восточной сторонах квадрата (6511) от южной ординаты откладывают отрезок ΔX . Через полученные точки проводят прямые линии. В пересечении линий получают местоположение искомого пункта с известными прямоугольными координатами.

2.6. Ориентирование направлений

2.6.1. Определение дирекционного угла и румба заданного направления

Положение направления на местности или на карте определяют относительно начального направления, за которое принимают истинный и магнитный меридианы, осевой меридиан зоны или линию, параллельную ему. В зависимости от принятого начального направления положение линии на карте устанавливают с помощью истинного или магнитного азимутов, румба и дирекционного угла.

Истинные и магнитные азимуты, дирекционные углы и румбы направлений определяют аналитически и графически с помощью геодезического транспорта с использованием информации, помещенной на карте.

Дирекционный угол – это горизонтальный угол между заданным направлением и северной частью осевого меридиана или линии, параллельной ему.

Румб – это острый угол, отсчитываемый от ближайшего направления меридиана до заданного.

Зависимость между дирекционными углами и румбами приведена в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Зависимости между знаками приращений координат и дирекционными углами и румбами

Четверть	Знаки приращений координат		Дирекционный угол α	Румбы r	
	ΔX	ΔY		Название	Значение
I	+	+	$0^\circ - 90^\circ$	СВ	$r = \alpha$
II	-	+	$90^\circ - 180^\circ$	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$
III	-	-	$180^\circ - 270^\circ$	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$
IV	+	-	$270^\circ - 360^\circ$	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$

Требуется определить дирекционный угол и румб с точки 153,8 (6512) в родник с отметкой 144,3 (6513).

Сущность аналитического способа определения дирекционного угла заключается в следующем. По известным координатам точки (X_1 ; Y_1) (X_2 ; Y_2) определяют тангенс дирекционного угла

$$\operatorname{tg} \alpha_{12} = (y_2 - y_1) / (x_2 - x_1) = \Delta y / \Delta x, \quad (2.11)$$

где X_1 , X_2 – абсциссы точек заданного направления, м; Y_1 , Y_2 – ординаты точек заданного направления, м.

Дирекционный угол α_{12} определяют по тангенсу и знакам разностей их координат (табл. 2.2).

$$\operatorname{tg} \alpha_{12} = \frac{4313400 - 4312142}{6065080 - 6065665} = \frac{+1258}{-585} = 2,15.$$

Дирекционный угол заданного направления равен $114^{\circ}50'$.

Румб $Z = 180^{\circ} - \alpha_{12} = 180^{\circ} - 114^{\circ}50' = \text{ЮВ } 65^{\circ}10'$.

При графическом способе дирекционный угол измеряют непосредственно на карте с помощью геодезического транспортира. Для этого через точку 153,8 (6512) проводят линию АВ, параллельную километровой сетке (рис. 2.5). Прикладывают к точке 153,8 (6512) нуль транспортира и, совместив его нулевой диаметр с проведенной линией АВ, отсчитывают по часовой стрелке от северного направления дирекционный угол α_{12} . Если направление расположено в третьей и четвертой четвертях, то к отсчету по транспортиру прибавляют 180° .

Дирекционный угол искомого направления равен 115° , а румб $\alpha_{12} = \text{ЮВ } 65^{\circ}$.

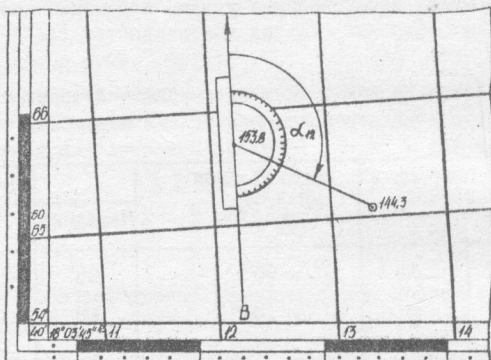


Рис. 2.5. Определение дирекционного угла графическим способом

2.6.2. Определение истинного и магнитного азимутов

Истинный азимут – это горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления истинного меридиана данной точки до заданного.

Магнитный азимут – это горизонтальный угол, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления магнитного меридиана данной точки до заданного.

Указанные азимуты не совпадают на угол, называемый склонением магнитной стрелки (восточное и западное)

$$A = A_m \pm \delta, \quad (2.12)$$

где A - истинный азимут от 0° до 360° ; A_m - магнитный азимут от 0° до 360° ; δ - склонение магнитной стрелки: при восточном склонении $(-\delta)$, западном - $(+\delta)$.

Требуется определить истинный и магнитный азимуты с точки 153,8 (6512) на родник с отметкой 144,3 (6513).

Сущность графического способа определения истинного азимута заключается в непосредственном измерении угла на карте с помощью геодезического транспортира. Для этого соединяют две точки направления прямой линией (рис. 2.6). Затем через точки южной и северной сторон минутной рамки с одноименными долготами, равными долготе данной точки, проводят линию меридиана CD, параллельную западной стороне рамки карты. Прикладывают к точке 153,8 (6512) нуль транспортира и, совместив его нулевой диаметр с проведенной линией CD, отсчитывают по часовой стрелке от северного направления истинный азимут A_{12} .

Истинный азимут заданного направления равен $A_{12} = 112^\circ 30'$.

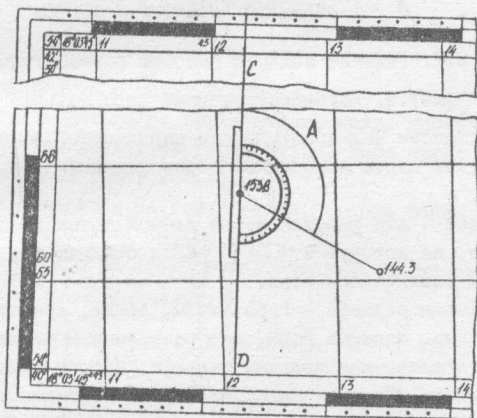


Рис. 2.6. Определение истинного азимута графическим способом

При графоаналитическом способе определения истинного азимута сначала графически измеряют дирекционный угол заданного направления на карте. Затем истинный азимут вычисляют по формуле, учитывая сближение меридианов:

при восточном сближении

$$A = \alpha + \gamma, \quad (2.13)$$

при западном сближении

$$A = \alpha - \gamma, \quad (2.14)$$

где γ – сближение меридианов, которое берут из вспомогательного графика за картой.

Истинный азимут заданного направления

$$A_{12} = 115^{\circ} - 2^{\circ}22' = 112^{\circ}38'.$$

Магнитный азимут заданного направления:

при восточном склонении

$$A_m = A - \delta, \quad (2.15)$$

при западном склонении

$$A_m = A + \delta, \quad (2.16)$$

где δ – склонение магнитной стрелки, которое берут из вспомогательного графика под южной рамкой карты.

Магнитный азимут заданного направления

$$A_{m12} = A_{12} - \delta = 112^{\circ}38' - 6^{\circ}12' = 106^{\circ}24'.$$

2.7. Решение задач с помощью горизонталей

2.7.1. Изучение основных форм рельефа

Рельеф местности как совокупность неровностей земной поверхности на топографической карте изображают горизонталями, т.е. линиями равных высот на карте.

Высота точки – это расстояние от данной точки до основной отсчетной поверхности, за которую в СССР принята поверхность, совпадающая со средним уровнем Балтийского моря.

Основные формы рельефа – гора, холм, сопка, хребет, котловина, лощина и седловина. Вершина горы, дно котловины и низкая точка седловины являются характерными точками рельефа. Направления скатов указываются бергштрихами. Надписи на горизонталях обозначают их высоту, а основания цифр направлены в сторону понижения местности (рис. 2.7).

При описании форм рельефа необходимо указывать, где расположен участок (на водоразделе, на склонах долин, в пойме и т.п.), его структуру, максимальные и минимальные высоты, их амплитуду, форму и экспозицию наиболее значительных склонов, колебания их крутизны.

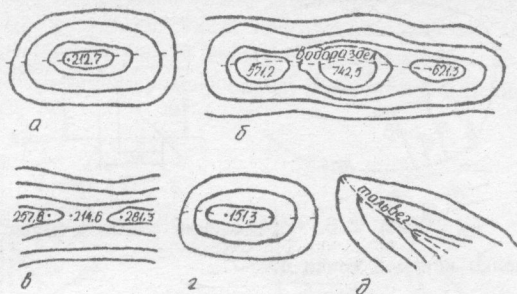


Рис. 2.7. Изображение основных форм рельефа местности на топографических картах

При описании рек необходимо обозначать направление и скорость их течения, ширину и глубину русла, урезы воды, уклон реки, наличие островов, стариц, порогов, рукавов и водопадов, характер донного грунта, судоходность, водомерные посты. При наличии озер указывается их конфигурация, характер берегов, связь с рельефом и речной сетью, глубина и площадь. Описывая болота, необходимо отразить их связь с рельефом, площадь, глубину, проходимость и растительность.

2.7.2. Определение отметки точки

Требуется определить отметку точки на карте с известными координатами. Точка может находиться на горизонтали, между горизонталями с разными отметками, внутри замкнутой горизонтали, либо между горизонталями с одинаковыми отметками (рис. 2.8, а).

Если точка А находится на горизонтали, высота точки H_A равна высоте горизонтали, т.е. $H_A = 150,0$ м.

Если точка В находится между горизонталями, то ее высота

$$H_B = H_i + \Delta h, \quad (2.17)$$

где Δh — превышение точки над горизонталью H_i , определяемое по зависимости (рис. 2.8, б)

$$\Delta h = (H_2 - H_1) m / n, \quad (2.18)$$

H_1, H_2 — отметки смежных горизонталей, определенные на карте по подписанным горизонталям в зависимости от высоты сечения рельефа местности и направления бергштрихов, м; m — расстояние от точки до горизонтали с меньшей отметкой, мм; n — расстояние между смежными горизонталями, мм.

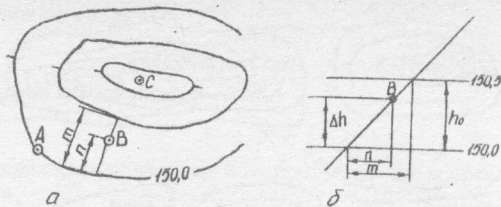


Рис. 2.8. Определение отметки точки
Превышение искомой точки В

$$\Delta h = \frac{15 (152,5 - 150,0)}{20} = 1,87 \text{ м},$$

а ее отметка $H_B = 150,0 + 1,87 = 151,87 \text{ м}$.

Отметка точки С, находящейся внутри замкнутой горизонтали H_C , либо между горизонталями с одинаковыми отметками

$$H_C = H_i + 0,5 h_c, \quad (2.19)$$

где h_c - высота сечения между горизонталями, которая прибавляется, если точка находится на вершине холма, и вычитается, если точка расположена на дне котловины.

Отметка искомой точки

$$H_C = 155,0 + 0,5 \times 2,5 = 156,25 \text{ м}.$$

2.7.3. Определение крутизны ската

Крутизна ската характеризуется двумя показателями - уклоном i' и углом наклона V , определяемыми аналитически

$$i' = \operatorname{tg} V = h_c / d', \quad (2.20)$$

где d' - заложение, т.е. расстояние между смежными горизонталями на карте.

Наибольшая крутизна ската

$$i'_{\max} = h_c / d_{\min}, \quad (2.21)$$

Наименьшая крутизна ската

$$i'_{\min} = h_c / d_{\max}, \quad (2.22)$$

где $d_{\min}$, $d_{\max}$ - соответственно наименьшее и наибольшее заложения между смежными горизонталями при одинаковой высоте сечения h_c .

Крутизну ската определяют также графически с помощью масштаба заложений, помещенного за рамкой топографической карты (рис. 2.9, а).

Требуется определить крутизну ската, наибольший и наименьший уклоны (рис. 2.9, б).

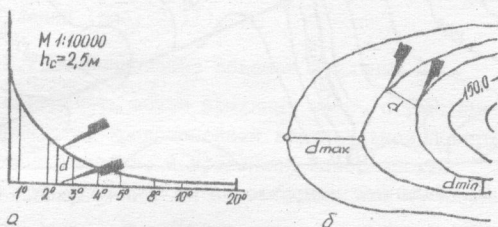


Рис. 2.9. Определение крутизны ската

Раствор циркуля-измерителя, равный расстоянию d между смежными горизонталями на карте (рис. 2.9, б), перемещают вдоль основания масштаба заложения (рис. 2.9, а) до тех пор, пока верхняя точка не окажется на кривой. По шкале заложений отсчитывают крутизну ската.

В данном примере крутизна ската $\nu = 2^{\circ}, 4$.

Сущность графоаналитического способа определения крутизны ската заключается в следующем.

С помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки измеряют наибольшее d_{max} и наименьшее d_{min} заложения. По формулам (2.21), (2.22) наибольшая крутизна ската

$$i_{max} = h_c / d_{min} = 2,5 / 50 = 0,05,$$

наименьшая крутизна ската

$$i_{min} = h_c / d_{max} = 2,5 / 250 = 0,01.$$

2.7.4. Построение профиля по заданному направлению

Профиль – это уменьшенное изображение вертикального разреза местности по заданному направлению. Он строится в двух масштабах – горизонтальном (равном масштабу карты) и вертикальном – 1:100 или 1:200.

Требуется построить профиль по направлению 153,8 (6512) и 144,3 (6513). Построение выполняют в следующем порядке.

Соединяют на топографической карте пункты 153,8 (6512) и 144,3 (6513) прямой линией и нумеруют точки пересечения с горизонталями (рис. 2.10).

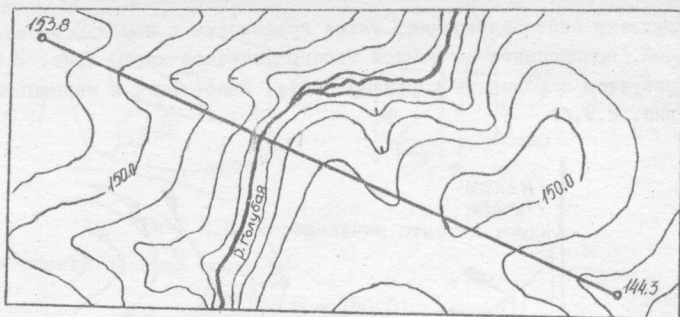


Рис. 2.10. Заданное направление на топографической карте

На миллиметровке строят боковые профили с графами "Отметки", "Расстояния" и "Точки" (рис. 2.11). С помощью циркуля-измерителя измеряют расстояния между точками пересечения горизонталей с линией, соединяющей два пункта. Измеренные расстояния переносят в графу "Расстояния" в горизонтальном масштабе 1:10000. В графе "Отметки" против соответствующих расстояний записывают высоты точек. Прочерчивают линию условного горизонта, которую принимают на 4 м меньше минимальной отметки, встречающейся на заданном направлении.

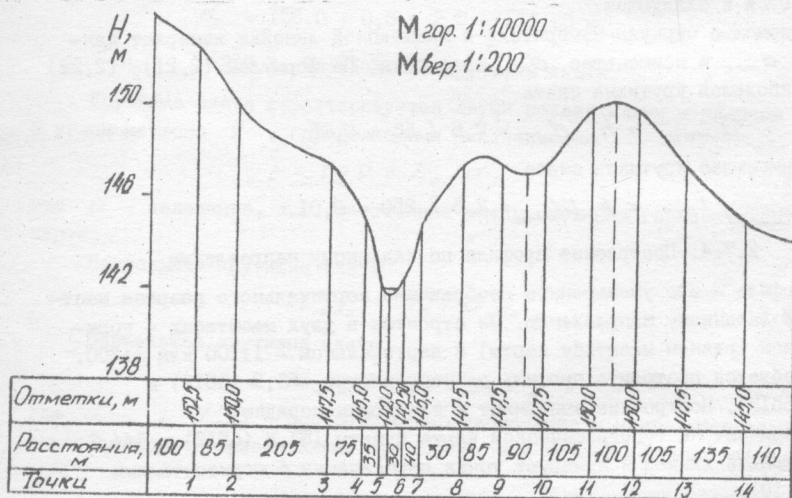


Рис. 2.11. Профиль заданного направления

Строят рейку вертикального масштаба M_r 1:200. Над всеми точками пересечения линии заданного направления с горизонталями, водоразделами и тальвегами восстанавливают перпендикуляры. На последних откладывают в вертикальном масштабе 1:200 отметки горизонталей и характерных точек рельефа. Соединив полученные точки плавной кривой, получают профиль заданного направления (рис. 2.II).

2.7.5. Вычисление объемов земляных масс

Требуется определить объем земляных масс, ограниченный участком физической поверхности, криволинейной вертикальной поверхностью, проходящей через границы участка, и уроченной поверхностью.

Объем земляной массы участка, изображенного на плане горизонталями,

$$V = \sum_{i=1}^n S_{ci} h_c, \quad (2.23)$$

где S_{ci} - средняя площадь между смежными горизонталями; h_c - высота сечения между горизонталями.

$$S_{ci} = 0.5(S_{i+1} + S_i), \quad (2.24)$$

где S_i , S_{i+1} - соответственно площади, ограниченные смежными горизонталями.

Площадь, ограниченную горизонталью, определяют с помощью планиметра

$$S_i = C(u_2 - u_1), \quad (2.25)$$

где u_2 , u_1 - соответственно конечный и начальный отсчеты по планиметру; C - цена деления планиметра.

Объем земляной массы по формулам (2.23)-(2.25) вычисляется табличным способом или по алгоритмам, разработанным для ЭВМ.

2.8. Исследование природных явлений с помощью тематических карт

Картографический метод при геофизических исследованиях компонентов географической среды, наряду с характеристикой пространственного размещения, сочетания и взаимосвязей картографируемого явления, позволяет оценивать природные ресурсы и прогнозировать их изменение в результате введения антропогенных факторов.

Тематические карты природных явлений классифицируются по компонентам географической среды (атмосферы, гидросферы, литосферы и биосферы) по наукам, изучающим эти компоненты: геологические, гидрогеологические, климатические, гидрологические, метеорологические, геофизические, ботанические и др.

Параметры, характеризующие явления, используются при проектировании, строительстве и эксплуатации промышленных и гражданских сооружений. Осадки и сток используются при проектировании ливневой канализации и расчете водосточных труб с кровли. Влажность грунтов используется при обосновании планирования организационно-технологических мероприятий при производстве земляных работ. Подробно влияние различных природных факторов на конструкции и их учет при проектировании и строительстве промышленных и гражданских зданий рассматривается строительной физикой.

Карты природных явлений разрабатываются на основе анализа и синтеза исходной репрезентивной информации, получаемой экспериментальным путем или в результате расчетов по научно-обоснованным методикам.

Существующие способы картографического изображения природных явлений с помощью изолиний, предполагающие, что оно по территории изменяется равномерно, не учитывают особенности пространственно-временной изменчивости явления и общие закономерности его размещения. Это обусловлено тем, что для природных явлений характерна не только широтная зональность, но и высотная поясность, которая бывает различная в зависимости от топографического строения и экспозиции склонов. В результате невозможно достичь высокой точности картографического освещения распределения природных явлений.

Перспективное направление составления тематических карт природных явлений – использование цифровой модели местности. В соответствии с блок-схемой технологического процесса (Г.С.Ратушняк, 1988) составление карт природных явлений осуществляется в такой последовательности (рис. 2.12). Собранные тематическую природную и топографо-геодезическую информацию систематизируют и анализируют с целью определения ее репрезентативности и создания банка исходных данных. Исходная топографо-геодезическая информация о местности получается стереотопографическим, мензульным, наземным фототопографическим, тахеометрическим методами съемок, а также путем преобразования в цифровую форму картографического изображения рельефа местности. Точность цифровых моделей местности должна соответствовать точности плана соответствующего масштаба. Осуществляют формализацию топографо-геодезической информации и создают цифровую модель местности, представляющую собой отображение в виде пространственных координат множества точек земной поверхности, объединенных в единую систему по определенным математическим законам. В зависимости от реализации содержание цифровой модели местности представляется (Д.В.Лисицкий, 1982) в виде множества

$$M = \{ S, J_{mt}, J_{st}, J_{sm} \}, \quad (2.26)$$

$$M = \{ S, J_{gm}, J_{sp}, J_{sm} \}. \quad (2.27)$$

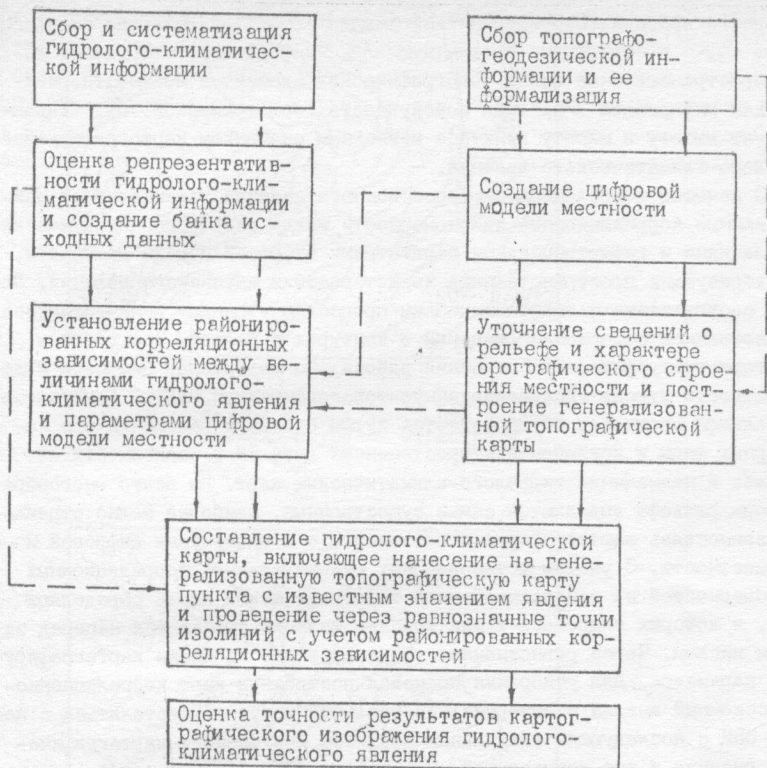


Рис. 2.12. Блок-схема технологического процесса составления гидролого-климатической карты (сплошная стрелка - направление процесса; пунктирная - потоков информации)

Компоненты цифровой модели местности, входящие в уравнения (2.26), (2.27), используются следующим образом. Служебная информация $\mathcal{S}$ характеризует степень абстрагирования и детализации рельефа и систему идентификации топографических элементов при построении генерализованной топографической карты. Семантическая информация $\mathcal{I}_{sm}$ отображает особенности геоморфологического строения рельефа, наиболее существенно влияющие на характер пространственного распределения картографируемого

природного явления. Структурная информация J_{st} , включающая синтаксическую J_{sn} и структурно-предметную J_{sm} информацию, отображает логико-пространственные связи топографических элементов местности. Метрическая информация J_{mt} как совокупность геометрической J_{gm} характеризует высоту и широту пункта с известным значением картографируемого гидролого-климатического явления.

С помощью корреляционно-регрессионного анализа устанавливают районированные корреляционные закономерности между гидролого-климатическими явлениями и геометрическими параметрами цифровой модели местности, характеризующие пространственные характеристики изучаемого явления. Затем в соответствии с технологическим процессом уточняют количественное и качественное содержание сведений о контурах и рельефе местности и характере орографического строения района. По материалам цифровой модели местности строят генерализованную топографическую карту. Генерализация рельефа местности осуществляется путем отбора и обобщения его характерных форм и исключения второстепенных деталей в зависимости от масштаба и назначения гидролого-климатических карт. Из всего многообразия форм рельефа выделяются самые существенные, наиболее полно отражающие взаимосвязь картографируемого элемента с компонентами цифровой модели местности. С учетом установленных районированных корреляционных закономерностей на генерализованной топографической карте определяют точки, в которых гидролого-климатические явления выражаются наперед заданным числом. Через равнозначные точки проводят изолинии картографируемого параметра. Для ускорения процесса построения карт корреляционно-регрессионный анализ и вычерчивание изолиний могут осуществляться с помощью ЭВМ с последующим визуальным анализом полученного картографического рисунка и его корректурой.

Точность картирования гидролого-климатических явлений с учетом цифровой модели местности может быть оценена средней квадратической погрешностью положения изолиний

$$m_{\text{и}} = \sqrt{m_{\tau}^2 + m_{\alpha}^2 + m_{\text{ин}}^2}, \quad (2.28)$$

где m_{τ} — средняя квадратическая погрешность топографического обоснования; m_{α} — средняя квадратическая погрешность аппроксимации зависимости исследуемого явления от геометрических параметров цифровой модели местности; $m_{\text{ин}}$ — средняя квадратическая погрешность интерполирования и проведения изолиний картографируемого явления.

Фрагменты карты природных явлений, разработанных автором, приводятся на рис. 2.13, 2.14. Зная координаты района строительства, по картам путем интерполяции определяют значения искомого природного фактора.

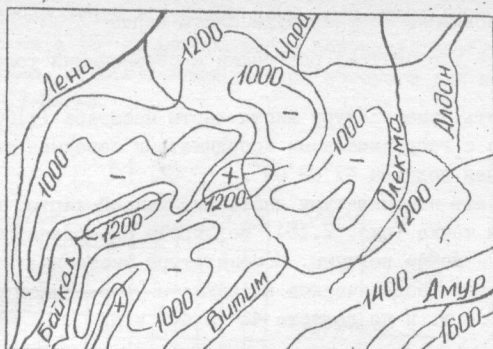


Рис. 2.13. Средний многолетний радиационный баланс в зоне западного участка Байкало-Амурской магистрали, $\text{Дж/м}^2 \cdot \text{год}$

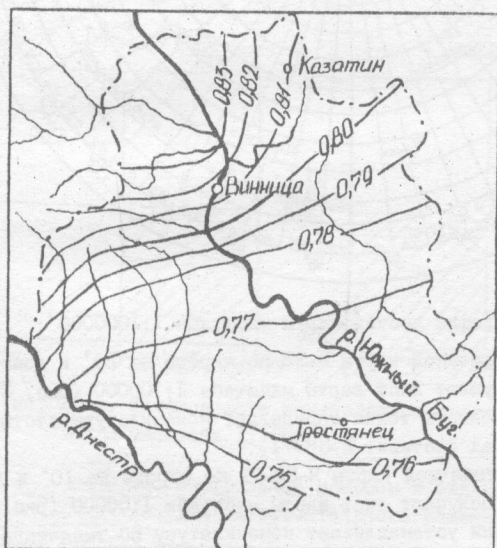


Рис. 2.14. Средняя многолетняя летняя влажность метрового слоя грунтов на территории Винницкой области, в долях наименьшей влагоемкости

2.9. Установление номенклатуры листа карты

Номенклатура карт – это система разграфки и обозначений топографических карт и планов.

Требуется определить номенклатуру листа карты масштаба 1:10000, в котором находится точка с геодезическими координатами северная широта $B = 50^{\circ}01'26''$ и восточная долгота $47^{\circ}09'09''$.

Сначала устанавливают номенклатуру листа миллионной карты, в которой расположена искомая точка (рис. 2.15). По широте определяют название ряда, а по долготе – номер колонны. Номенклатура листа миллионной карты будет М-38, имеющего геодезические координаты углов рамок трапеции по широте 48° и 52° с.ш. и по долготе 42° и 48° в.д.

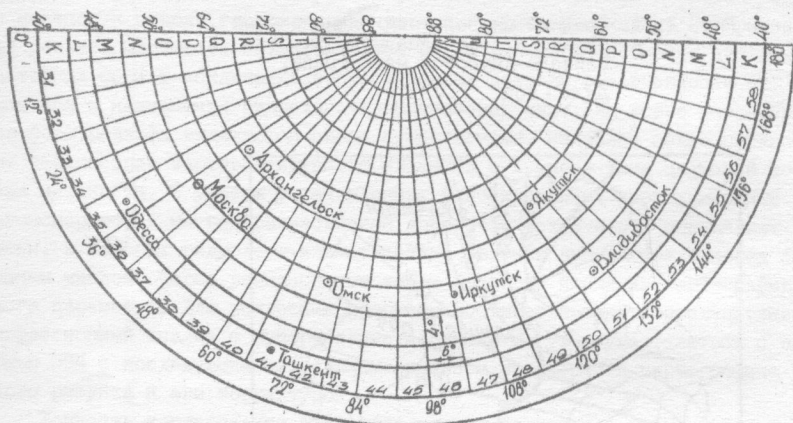


Рис. 2.15. Разграфка листов карты масштаба 1:1000000

Делением листа миллионной карты М-38 по широте на $20'$ и долготы на $30'$ на 144 части получают лист карты масштаба 1:100000 (рис. 2.16, а). По значениям широты и долготы точки определяют номенклатуру сотысячного листа карты, которая составит М-38-71.

Делением листа сотысячной карты М-38-71 по широте на $10'$ и долготы на $15'$ на четыре части получают лист карты масштаба 1:50000 (рис. 2.16, б). По широте и долготы точки устанавливают номенклатуру 50-тысячного листа карты, которая составит М-38-71-В.

Делением листа 50-тысячной карты М-38-71-В по широте на $5'$ и долготы на $7'30''$ на четыре части получают лист карты масштаба 1:25000 (рис. 2.16, в), номенклатура которого для искомой точки составит М-38-71-В-г.

Делением листа 25-тысячной карты М-38-71-В-г по широте на $2'30''$ долготы на $3'45''$ на четыре части получают лист карты масштаба 10000 (рис. 2.16, г), номенклатура которого для искомой точки составит М-31-71-В-г-3.

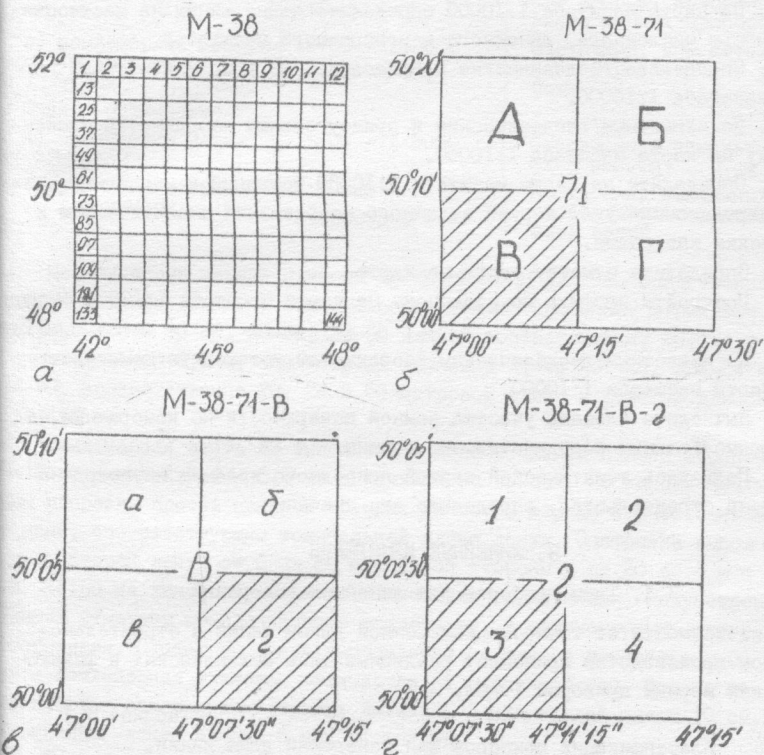


Рис. 2.16. Установление номенклатуры листа карты масштаба 1:10000

2.10. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Какие системы координат применяются в геодезии?
2. Дайте определение геодезических широты, долготы и высоты то-

3. Как определить точность масштаба?
4. Что называется азимутом, румбом и дирекционным углом?
5. Как изображается рельеф на топографических картах?
6. Перечислите способы вычисления площадей на картах и планах.
7. Покажите на карте основные формы рельефа местности.
8. На карте масштаба 1:10000 определите длину линии на местности и с помощью численного, линейного и поперечного масштабов.
9. Определите геодезические и прямолинейные координаты точки на карте масштаба 1:10000.
10. По известным геодезическим и прямоугольным координатам нанесите точку на карте масштаба 1:10000.
11. Определите на карте масштаба 1:10000 истинный и магнитный азимуты, дирекционный угол и румб заданного направления аналитическим и графическим способами.
12. Определите отметку точки на карте.
13. Постройте профиль по заданному на карте масштаба 1:10000 направлению.
14. По известным геодезическим координатам установите номенклатуру листа карты масштаба 1:10000.
15. Вычислите площадь участка земной поверхности по измеренным на плане прямоугольным координатам его вершин.
16. Пользуясь тематической картой природного явления по координатам района строительства, определите его значение.

3. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

3.1. Типы приборов для линейных измерений

В зависимости от точности измеренной длины линий в строительномонтажном производстве применяют различные типы механических и физикооптических мерных приборов (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Классификация приборов для измерений длин линий,
их метрологические характеристики и назначение

Тип приборов	Точность измерений	Назначение
1	2	3
I. Механические		
а) жезлы	1:1000000	Компарирование мерных приборов

1	2	3
б) инварные проволоки	I:1000000 - I:500000	Высокоточные разбивочные работы, компарирование мерных приборов
в) землемерные ленты, рулетки, тросы	I:700 - I:5000	Съемочные, изыскательские и разбивочные работы
Физико-оптические		
а) оптические дальномеры	I:300 - I:5000	Съемочные и изыскательские работы
б) радиофизические дальномеры	I:10000 - I:10000000	Построение съемочных и разбивочных геодезических сетей

Механические мерные приборы предназначены для непосредственного измерения длины линий. В строительстве обычно применяют штриховые землемерные ленты ЛЗ-20, ЛЗ-24, ЛЗ-50 длиной соответственно 20, 24 и 50 м ценой деления 0,1 м, землемерные шкаловые ленты ЛШ-20, ЛШ-24 и ЛШ-50, соответственно 20, 24 и 50-метровой длины и рулетки длиной от до 100 м.

Землемерная лента ЛЗ выполнена в виде стальной полосы шириной 10-15 и толщиной 0,4 - 0,5 мм с ручками на концах. На концах ленты сделаны прорезы, против центров которых нанесены штрихи с расстоянием между ними, соответствующим номинальной длине ленты. Оцифровка выполнена с двух сторон ленты от 0 до 20 м с одной стороны и от 20 до 0 - с другой. Метры на ленте отмечены металлическими пластинами. Полуметровые деления отмечены металлическими заклепками, а дециметровые - круглыми отверстиями. Отсчет по ленте выполняется на глаз с точностью 0,01 м. Лента землемерная шкаловая отличается от описанной тем, что на ее концах имеются шкалы миллиметровых делений. Длина каждой шкалы 10 см. Комплект ленты входит 6 или 11 шпилек.

Рулетка представляет собой стальное полотно шириной 10-12 и толщиной 0,15-0,30 мм. На полотне рулетки нанесены миллиметровые деления по всей ее длине или только на первом дециметре. Сантиметровые деления нанесены по всей длине. Цифры написаны над каждым десятком делением, а на шкалах с миллиметровыми делениями - над сантиметрами, с сантиметровыми - над дециметрами. Стальную полосу наматывают на кольцо, удерживаемое крестовиной или вилкой. Рулетки могут быть снабжены динамометрами, обеспечивающими натяжением 10 кг на плоскости.

Без непосредственного откладывания мер длины вдоль измеряемых линий для измерения расстояний косвенным методом используют дальномеры,

позволяющие быстро получать результаты измерений с высокой точностью и без предварительной подготовки трассы. Однако дальномеры не приспособлены для отложения проектного расстояния.

Принцип измерения расстояний с помощью оптических дальномеров основан на решении равнобедренного параллактического треугольника, в котором известны базис b и параллактический угол β (рис. 3.1). Расстояние

$$D = b \operatorname{ctg} \beta. \quad (3.1)$$

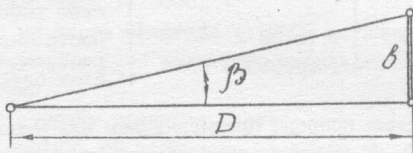


Рис. 3.1. Параллактический треугольник

В зависимости от измеряемого элемента параллактического треугольника оптические дальномеры подразделяются на дальномеры с постоянным углом и переменной базой; с постоянной базой и переменным углом и с переменным углом и переменной базой.

Наиболее распространен нитяной дальномер с постоянным параллактическим углом и переменной базой, представляющей собой устройство в виде двух дополнительных горизонтальных штрихов сетки нитей зрительной трубы теодолита или нивелира. В качестве базиса используется деревянная рейка с сантиметровыми делениями. Точность измерения расстояний нитяным дальномером 1:300. Расстояние, определенное нитяным дальномером,

$$D = K\pi + C, \quad (3.2)$$

где K — коэффициент нитяного дальномера, равный 100; π — разность отсчетов по рейке и крайним нитям сетки зрительной трубы; C — постоянная дальномера, которая в современных приборах практически равна нулю.

Значительно большую точность при определении расстояний дают дальномеры двойного изображения, представляющие собой устройство в виде насадок на зрительную трубу теодолита. Принцип работы дальномера двойного изображения основан на отклонении визирного луча оптическим клином, призмой или линзой. В оптических дальномерах двойного изображения с постоянным базисом перемещениями оптического клина добиваются совмещения изображений концов базиса в поле зрения трубы, а параллактический

угол регистрируют на отсчетном приспособлении. В оптических дальномерах двойного изображения с постоянным параллактическим углом в поле зрения трубы одновременно видны изображения двух делений рейки: одно соответствует началу отсчета, а другое смещено от начального отсчета на параллактический угол. Отсчитывая смещенное деление рейки, определяют переменный базис. Расстояние

$$D = K' / \beta + C, \quad (3.3)$$

где K' — коэффициент дальномера, определяемый путем измерения базисной линии, длина которой известна с большой точностью; β — измеренный параллактический угол; C — постоянное слагаемое дальномера, состоящее из расстояний от оси прибора до вершины параллактического угла и от плоскости марок до оси рейки.

Дальномер двойного изображения с постоянным базисом ДН-8 состоит из дальномерной насадки к теодолиту и комплекта из двух реек. Он позволяет измерять линии длиной от 50 до 700 м со средней квадратической погрешностью 1:1250. Дальномер двойного изображения Д-2 с постоянным базисом в виде горизонтальной рейки обеспечивает измерение линий длиной от 40 до 400 м со средней квадратической погрешностью 1:5000. Дальномер двойного изображения ДНР-5 с постоянным параллактическим углом и редуцирующим устройством, автоматически преобразующим наклонные расстояния в горизонтальные проложения, позволяет определять горизонтальные проложения линий длиной от 20 до 120 м со средней квадратической погрешностью 1:2000.

Принцип измерения длины линий радиофизическими дальномерами основан на определении времени, за которое световые волны проходят измеряемый отрезок в прямом и обратном направлениях. В комплект дальномера входит приемо-передаточное устройство, устанавливаемое на одной из конечных точек, и отражатель, размещаемый на второй конечной точке. Длина линии

$$D = V \tau / 2, \quad (3.4)$$

где V — скорость распространения световых волн; τ — время прохождения их от передатчика к приемнику.

В зависимости от метода определения времени прохождения световых волн от передатчика к приемнику дальномеры подразделяются на фазовые и импульсные. Фазовый светодальномер 2СМ-2 с фиксированными частотами модуляции предназначен для измерения расстояний до 2000 м со средней квадратической погрешностью 1:100000. Светодальномер СМ-5 позволяет измерять расстояния до 500 м со средней квадратической погрешностью 1:25000. Светодальномер МСД-1М предназначен для измерения расстояний до 500 м со средней квадратической погрешностью 1:10000.

3.2. Поверка приборов для измерений длин линий

Перед началом и в процессе полевых работ все приборы для измерения длины линий подлежат периодической метрологической проверке.

Содержание и порядок выполнения поверочных работ для рулеток и заземлерных лент следующий. Поверку внешнего вида и технического состояния осуществляют путем визуального осмотра и опробования. При визуальном осмотре устанавливают отсутствие дефектов, ухудшающих внешний вид и затрудняющих снятие отсчетов; качество нанесения штрихов и подписей; прямолинейность. При проведении опробования проверяют качество сборки и взаимодействия частей. Поверка длины проводится периодическим компарированием, т.е. сравнением фактической длины с эталоном. Если прибор для непосредственного измерения расстояний имеет одинаковую номинальную длину с эталоном, то сравнение производят на равной поверхности путем непосредственного измерения разности их длины. Поправка за компарирование

$$\Delta \ell_{\kappa} = \ell - \ell_2, \quad (3.5)$$

где ℓ , ℓ_2 - соответственно длина мерного прибора и эталона.

Компарирование лент и рулеток в полевых условиях выполняют на базисах длиной около 120 м, значение которых D_{κ} определено с точностью в три-пять раз выше точности поверяемого прибора. После многократных измерений длины компаратора D_{κ} лентой или рулеткой поправка за компарирование

$$\Delta \ell_{\kappa} = (D_{\kappa} - D_n) / n, \quad (3.6)$$

где $n = D_n / \ell_0$ - число отложений рабочей меры длиной ℓ_0 в длине компаратора.

По результатам компарирования составляют уравнение мерного прибора

$$\ell = \ell_0 + \Delta \ell_{\kappa} + \alpha_0 (t - t_0), \quad (3.7)$$

где ℓ_0 - номинальная длина ленты (например, 20 м); t , t_0 - соответственно температура ленты при измерении линии и компарировании;

$\alpha_0 = \alpha \ell_0$ - линейное расширение прибора при измерении температуры на 1 °C; α - коэффициент линейного расширения, который для стали равен $12,5 \times 10^{-6}$.

Для условий строительной площадки, где измеряемые расстояния короче длины мерного прибора, определяют поправки для каждого метрового деления рулетки с помощью контрольной линейки с ценой делений 0,2 мм.

Содержание и порядок выполнения поверочных работ для оптических дальномеров следующий. Осуществляют внешний осмотр и поверку работоспособности подвижных частей. При внешнем осмотре выявляют механиче-

ские повреждения, качество изображения шкал и наличие побочных изображений. Проверка подвижных частей проводится опробованием. Движение всех подвижных частей должно быть плавным, без заметных скачков. Проверяют диапазон работы установочных приспособлений, работу отсчетных приспособлений, надежность закрепления насадок на зрительной трубе, а также комплектность прибора и качество маркировки. Путем неоднократных измерений интервалов эталонного базиса различной длины определяют коэффициент дальномера и постоянное слагаемое.

Проверку свето- и радиодальномеров начинают с визуального осмотра их внешнего состояния и комплектности. При визуальном осмотре устанавливают состояние внешней отделки и наличие механических повреждений корпуса приемо-передатчика, антенны, отражателей, кабелей и блока питания. Проверяют маркировку и качество антикоррозийных покрытий. Функционирование прибора и его узлов проверяют путем опробования, в результате которого устанавливают работоспособность всех основных узлов. При опробовании проверяют пригодность для работы источника питания, легкость и плавность хода подвижных деталей, надежность вращения приемо-передатчика вокруг вертикальной оси и его наклон в вертикальной плоскости, определяют качество работы зажимных устройств, соответствие режимов работы установленным требованиям, измеряют выходное напряжение, оценивают наличие сигнала вдоль измеряемой линии и работоспособность индикаторов. Кроме того, контролируют масштабную частоту, определяют погрешности фазового цикла и постоянные поправки прибора, а также проверяют среднюю квадратическую погрешность измерений.

3.3. Измерение длины линий лентами и рулетками

Линии местности, подлежащие измерению, закрепляются в крайних точках в зависимости от срока их сохранности кольшками, столбами, обрезками труб и рельсов.

Перед непосредственным измерением линии длиной более 500 м ее проецируют примерно через каждые 100 м, иначе вместо прямой линии будет измерена ломаная большей длины. Каждую линию для контроля измеряют два раза, в прямом и обратном направлениях. Расхождения между отдельными результатами не должны превышать 1:2000.

Перед началом измерений ленту или рулетку разматывают и вытягивают в направлении измеряемой линии. Передний мерщик берет в одну руку ленту, а во вторую пять (десять) шпилек. Задний мерщик совмещает нулевой трих ленты с началом измеряемой линии, вставляет в вырез свою единственную шпильку и втыкает ее по возможности глубже в землю. Затем рукой указывает переднему мерщику как положить ленту, чтобы она была в

створе выставленных вех. Передний мерщик, встряхнув слегка ленту, натягивает ее на себя с силой, примерно равной силе натяжения ленты при компарировании. Через вырез в конце ленты против 20-го штриха втыкает в землю первую шпильку. Таким образом, длина ленты отложена на линии первый раз. Вынув заднюю шпильку и освободив передний конец ленты, мерщики направляются вперед вдоль провешенной линии. Задний мерщик, подойдя к шпильке, поставленной передним мерщиком, откладывает длину ленты второй раз и т.д.

Если длина линии более 100 (200 м), то после того как передний мерщик поставил последнюю пятую (10-ю) шпильку, задний передает ему накопившиеся пять (10) шпилек и отмечает эту передачу в журнале. В момент передачи шпилек необходимо убедиться в том, что ни одна из них не потеряна. Поэтому передний мерщик, принимая шпильки, обязательно их пересчитывает, после чего протягивает ленту вперед. Задний мерщик надевает конец ленты на оставшуюся в земле шпильку, и измерение продолжается в предыдущем порядке.

При измерении остатка передний мерщик протягивает ленту так, чтобы ее конец вышел за конечную точку линии, затем возвращается к этой точке и делает отсчет по ленте. Произведя отсчет по ленте на конечной точке измеряемой линии и записав его результаты в журнал измерения длины линий, вычисляют длину

$$D' = AN + \ell_0 n + r, \quad (3.8)$$

где $A = 100$ при 6 шпильках и $A = 200$ при 11 шпильках; N - число передач шпилек; n - число шпилек у заднего мерщика без учета последней шпильки; r - остаток.

В результате измерений длины линий вводят следующие поправки:

а) за компарирование ленты

$$\Delta D_x = \Delta \ell_x D' / \ell_0, \quad (3.9)$$

б) за температуру ленты

$$\Delta D_t = \alpha_0 (t - t_0) D' / \ell_0, \quad (3.10)$$

в) за приведение наклонных линий к горизонту

$$\Delta D_v = -2D' \sin^2 v / 2, \quad (3.11)$$

где v - измеренный угол наклона линии.

Пример. Требуется определить длину линии D , измеренную лентой ЛЗ-20 с помощью шести шпилек. Уравнение ленты: $\ell = 20 \text{ м} + 7,5 \text{ мм} + 0,25 (t - t_0)$. Число передач шпилек $N = 2$, число шпилек у заднего мерщика $n = 4$. Значения остатка в прямом и обратном направлениях рав-

соответственно $r_1 = 19,74$ м, $r_2 = 19,73$ м. Угол наклона линии $\nu = +6,25^\circ$. Температура воздуха во время компарирования $t_o = 17^\circ\text{C}$, время измерений $t = +23^\circ\text{C}$.

Вычисление длины линии выполняют в табличной форме (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Ведомость вычисления длины линии

Измеряемый и вычисленный параметр	Результат вычисления
температура компарирования t_o	$+17^\circ$
температура измерения t	$+23^\circ$
угол наклона линии ν	$+6^\circ 25'$
число передач шпилек N	2
число шпилек у заднего мерщика n	4
расстояние в прямом направлении r_1	19,74 м
расстояние в обратном направлении r_2	19,83 м
среднее значение остатка r	19,78 м
измеренная длина линии D'	299,78 м
поправка за компарирование ΔD_K	$+0,11$
поправка за наклон линии ΔD_ν	$-1,88$
поправка за температуру ΔD_t	$+0,22$
окончательная длина линии D	298,23 м

Измеренная длина линии по (3.8)

$$D' = AN + \ell_o n + r = 100,2 + 20 \times 4 + 19,78 = 299,78 \text{ м.}$$

Поправка за компарирование по (3.9)

$$\Delta D_K = \Delta \ell_K D' / \ell_o = 0,0075 \times 299,78 : 20 = +0,11 \text{ м.}$$

Поправка за температуру по (3.10)

$$\Delta D_t = \alpha_o (t - t_o) D' / \ell_o = 0,0025 (23 - 17) \times 299,78 : 20 = +0,22 \text{ м.}$$

Поправка за наклон линии (по 3.11)

$$\Delta D_\nu = -2 D' \sin^2 \nu / 2 = -2 \times 299,78 \sin^2 3^\circ 12',5 = -1,88 \text{ м.}$$

Окончательная длина

$$D = D' + \Delta D_K + \Delta D_t + \Delta D_\nu = 299,78 + 0,11 + 0,22 - 1,88 = 298,23 \text{ м.}$$

3.4. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Типы мерных приборов и их метрологические характеристики.
2. Характеристика механических мерных приборов для непосредственного измерения длин линий.
3. Принцип измерения расстояний с помощью оптических дальномеров и их характеристика.
4. Принцип измерения расстояний с помощью радиофизических дальномеров и их характеристика.
5. Какие поверки выполняют землемерными лентами и рулетками?
6. Перечислите поверки радиофизических дальномеров.
7. Какие поправки вводят в длину линии, измеренную землемерной лентой?
8. Какой порядок измерения длин линий землемерной лентой?
9. Определите длину линии D , измеренную лентой с уравнением $l = 20 \text{ м} + 9,5 \text{ мм} + 0,25 (t - t_0)$, если число передач $N = 2$, число шпилек у заднего мерщика $n = 9$. Значения остатка в прямом и обратном измерениях равны соответственно $r_1 = 19,47$ и $r_2 = 19,50$ м. Угол наклона линии $V = -5^\circ 30'$, температура воздуха во время измерений $t = 27^\circ \text{C}$; температура компарирования $t_0 = +18^\circ \text{C}$.

4. УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

4.1. Типы теодолитов и их особенности

Измерения горизонтальных и вертикальных углов при геодезическом обеспечении строительно-монтажного производства осуществляют геодезическим угломерным прибором – теодолитом. Теодолиты классифицируются по точности, назначению, конструктивным особенностям и степени автоматизации отдельных операций.

По точности теодолиты подразделяются на высокоточные (средняя квадратическая погрешность измерения углов $m_B = 0,5'' - 1'', 0$), точные ($m_B = 2'' - 5''$) и технические ($m_B = 15'' - 30''$); по конструктивным особенностям – простые, повторительные, с компенсатором при вертикальном круге и автоколлимационные; по назначению – специальные, кодовые, маркшейдерские и технические.

Серийно выпускаются следующие типы теодолитов: Т05, Т1, Т2, Т5, Т15 и Т30. Цифра указывает на среднюю квадратическую погрешность измерения углов одним приемом (в секундах). Если зрительная труба теодолита имеет прямое изображение, к его обозначению добавляется буква П (Т30П). При наличии компенсатора при вертикальном круге добавляется

буква К (Т15К). Если на основе единой базовой модели разработана новая модификация, впереди добавляется цифра 2, а на маркшейдерское исполнение указывает буква М (2Т30М).

Основные метрологические характеристики применяемых в строительстве теодолитов в соответствии с ГОСТ 10529-79 приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1
Метрологические характеристики теодолитов

Основной параметр	Тип теодолита				
	Т1	Т2	Т5	Т15	Т30
Средняя квадратическая погрешность измерения угла одним приемом, с	1	2	5	15	30
Увеличение зрительной трубы, крат	30,40	25	25	25	18
Минимальное расстояние визирования, м	5,0	2,0	2,0	1,5	1,2
Цена деления лимба, мин	10	20	60	60	10
Цена деления отсчетного приспособления, с	1	1	60	60	60
Коэффициент нитяного альномера	-	100	100	100	100
Масса теодолита, кг	11,0	5,0	4,5	3,5	2,5

Теодолиты Т05, Т1, Т2 обладают двухсторонней системой отсчитывания и оптическим микрометром. В теодолитах Т5 и Т15 система отсчитывания односторонняя по шкаловым микроскопам. В теодолите Т30 использован микроскоп с индексом.

Высокоточные теодолиты Т05 и Т1 применяются для угловых измерений плановых государственных геодезических сетях I-го и 2-го классов, а также как контрольно-измерительное оборудование при различных исследованиях и высокоточных измерениях при строительстве и эксплуатации особо ответственных сооружений. Наименьшее деление круга 10', цена деления отсчетной системы 1".

Точный теодолит Т2 и его модификация 2ТА предназначены для угловых измерений в триангуляции 3-го и 4-го классов и геодезических развешивочных работ в строительстве. Круги теодолита разделены на 20', оцифровка градусная. В отсчетной системе прибора применен оптический клиновой микрометр со шкалой, цена деления которого 1". Отсчетная система предусматривает цифровую индикацию десятков минут в дополнительном окошке диафрагмы поля зрения микроскопа.

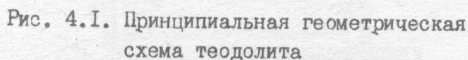
Точный теодолит Т5 и его модификации 2Т5 и 2Т5К предназначены для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции и полигонометрии I-го и 2-го разрядов, измерения расстояния с использованием нитяного дальномера, а также для выполнения геодезических разбивочных работ. В отсчетной системе применен шкаловый микроскоп с ценой деления $1'$. Система отсчета односторонняя двухканальная с различным цветовым фоном изображения вертикального и горизонтального кругов. Теодолит 2Т5К в отличие от теодолита 2Т5 снабжен самоустанавливающимся оптическим компенсатором, заменяющим уровень при алидаде вертикального круга и позволяющим использовать прибор в качестве нивелира с горизонтальным лучом визирования.

Теодолит Т15 предназначен для угловых измерений в теодолитных и тахеометрических ходах, съемочных сетях, при переносе проектов в натуру и изысканиях линейного строительства. Теодолит имеет оптический центрир, расположенный внутри алидадной части прибора. Угломерные круги теодолита разделены через 1° и каждый штрих оцифрован. Отсчетная система снабжена шкаловым микроскопом с ценой деления $1'$. Доли деления отсчитываются на глаз с точностью $0,1'$. В поле зрения шкалового микроскопа одновременно видны изображения штрихов горизонтального и вертикального кругов. Теодолит 2ТКП отличается от базовой модели наличием трубы прямого изображения и компенсатора при вертикальном круге.

4.2. Геометрическая схема и основные части теодолита

Каждый тип теодолита имеет свои конструктивные особенности. Однако, будучи представителями одного типа угломерных измерительных приборов, все они имеют общие основные части (рис. 4.1); зрительная труба 4, уровни 5, рабочие меры, горизонтальный и вертикальный 3 круги с лимбом 7 и алидадой 6, отсчетные системы и установочные приспособления, подставки 2 и подъемные винты 1. Обязательным является одинаковое взаимное расположение следующих осей теодолита: визирной оси ZZ , оси уровня HH , горизонтальной оси вращения трубы NN , и основной оси JJ .

Принципиальная схема теодолита обеспечивает соблюдение основных геометрических условий: вертикальная ось теодолита должна быть отвесной; плоскость лимба – горизонтальной, визирная плоскость – вертикальной. При измерении углов наибольшее значение имеет соблюдение геометрических условий. Это обусловлено их значительной изменчивостью в процессе работы и транспортировки.



Зрительная труба позволяет при производстве измерительных работ точно визировать на предметы, значительно удаленные от инструмента, и включает (рис. 4.2) объектив 1, фокусирующую линзу 2, кремальеру 3, сетку нитей 4 и окуляр 5.



Сетка нитей предназначена для точного и однообразного наведения на визирную цель.

В зрительной трубе различают оптическую, геометрическую и визирную оси. Оптическая ось — это прямая, соединяющая оптические центры объектива и окуляра зрительной трубы, геометрическая — прямая, проходящая через центры поперечных сечений объективной и окулярной частей трубы визирная — прямая, проходящая через оптический центр объектива и центр сетки нитей.

Увеличение зрительной трубы

$$V = f_{об} / f_{ок}, \quad (4.1)$$

где $f_{об}$ - фокусное расстояние объектива; $f_{ок}$ - окуляра, мм.

Поле зрения, т.е. пространство, видимое в трубу при ее неподвижном положении, определяется в зависимости от увеличения V по формуле

$$\alpha = 38,2^\circ / V. \quad (4.2)$$

Цилиндрические уровни предназначены для приведения основной оси теодолита в отвесное положение (рис. 4.3). Конструктивно уровень представляет собой стеклянную ампулу 1 в металлической оправе 2, с исправительным винтом 5. Внутри ампулы имеется пузырек уровня 3, а на ее поверхности нанесены штрихи 4 через 2 мм. Наивысшая точка ампулы (точка 0) называется нуль-пунктом. Относительно этой точки пузырек располагается симметрично, если ось уровня горизонтальная.

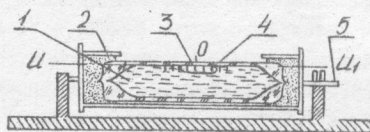


Рис. 4.3. Устройство цилиндрического уровня

Ось цилиндрического уровня uu , является касательная в нуль-пункте к кривой, получаемой от продольного сечения ампулы.

Цена деления уровня (рис. 4.4)

$$\tau = \ell \rho / R, \quad (4.3)$$

где ℓ - линейное значение одного деления уровня, равное 2 мм;

R - радиус дуги внутренней поверхности уровня (изменяется от 3,5 до 200), мм; ρ - число секунд в радиане (206265").

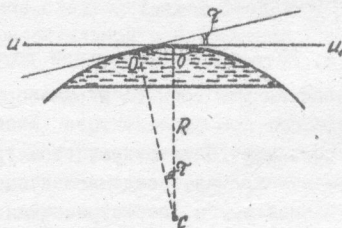


Рис. 4.4. Схема к определению цены деления уровня

Рабочие меры в теодолитах представлены лимбами горизонтального и вертикального кругов, на которых деления нанесены с высокой степенью точности.

В современных оптических теодолитах для отсчитывания делений лимба используют штриховые (рис. 4.5,а) или шкаловые (рис. 4.5,б) микроскопы.

Цена деления лимба штрихового микроскопа $10''$ (рис. 4.5,а). Оценивая десятые доли деления лимба на глаз, берут отсчет по штриху микроскопа с точностью $1''$. Цена деления лимба шкалового микроскопа 1° (рис. 4.5,б). Цена деления шкалы $1'$. Оценивая десятые доли деления шкалы на глаз, берут отсчет по шкале с точностью $0',1$. В оптических теодолитах со штриховыми и шкаловыми микроскопами в поле зрения одновременно видны изображения вертикального и горизонтального кругов.

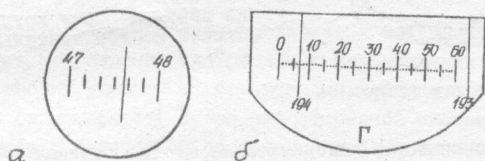


Рис. 4.5. Микроскопы: а) штриховой, отсчет $47^\circ 37'$; б) шкаловый, отсчет по горизонтальному кругу $194^\circ 07',2$

4.3. Устройство теодолита ТЗ0

Теодолит ТЗ0 предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах, при выполнении инженерно-геодезических работ по обеспечению строительного производства.

Особенности теодолита ТЗ0 следующие: система вертикальной оси повторительная; отсчет по кругам производится по индексу с оценкой на глаз до $0,1$ деления ($1'$); возможно центрирование теодолита над точкой помощью зрительной трубы.

Теодолит ТЗ0 (рис. 4.6) содержит вертикальный и горизонтальный круги со стеклянным лимбом, зрительную трубу 1, отсчетный микроскоп 2, фиксирующую ручку 5, зеркало подсветки 3, зажимный 4 и микрометрический 6 винты трубы 1, подставку 7 и зажимные и микрометрические винты лимба и алиады.

Теодолит ТЗ0 - со стеклянным лимбом и снабжен оптической системой, позволяющей выполнять отсчеты одновременно по горизонтальному и вертикальному кругам с помощью одного микроскопа (рис. 4.7). Микроскоп располагается рядом с окуляром зрительной трубы.

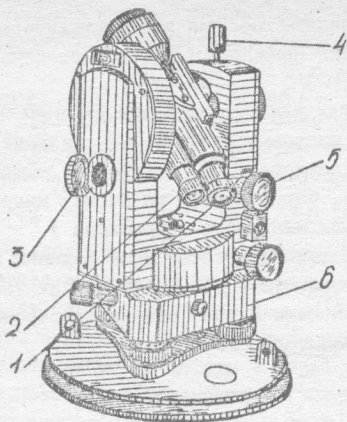


Рис. 4.6. Общий вид теодолита Т30

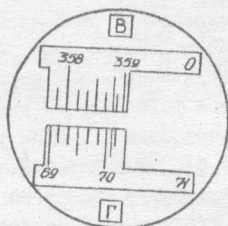


Рис. 4.7. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т30: отсчет по вертикальному кругу $358^{\circ}48'$; отсчет по горизонтальному кругу $70^{\circ}06'$.

В комплект теодолита Т30 входят также штатив, ориентир-буссоль, отвес, футляр с чехлом и ЗИП.

4.4. Подготовка теодолита к работе

Подготовка теодолита к работе требует анализа и оценки внешнего состояния и комплектности, оценки работоспособности подвижных частей, режимов отдельных функциональных элементов, установку в рабочее положение, поверку и юстировку. Теодолиты должны удовлетворять требуемым оптико-механическим и геометрическим условиям. Теодолиты как угломерные геодезические приборы характеризуются комплексом метрологических характеристик и подлежат поверке и метрологической аттестации. Содержание поверочных работ для теодолитов при метрологическом контроле приведено в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Содержание поверочных работ

№ п/п	Содержание поверочных работ	Метод и средство поверки
1	2	3
1	Поверка внешнего состояния и комплектности	Визуальный осмотр
2	Оценка работоспособности подвижных частей	Опробование

1	2	3
3	Определение средней квадратической погрешности измерения горизонтального и вертикального углов	Автоколлиматоры или коллиматоры
4	Определение коэффициента нитяного дальномера	Эталонный базис
5	Определение эксцентриситета вертикального круга	Автоколлиматоры
6	Определение коллимационной погрешности	Измерение направлений на визирную цель
7	Определение места нуля вертикального круга	То же

Внешнее состояние теодолита проверяется визуальным осмотром. При этом выявляются повреждения оптических и механических частей теодолита. Проверяют установку уровней и регулировочных приспособлений, четкость изображения и равномерность освещения отсчетной системы. Изображения в зрительной трубе и оптическом отсчетном приспособлении должны быть четкими и недеформированными. Особое внимание обращают на соблюдение следующих условий:

- а) неподвижный индекс отсчетного микроскопа при установке на его шкале отсчета "ноль" должен совпадать с совмещенными изображениями симметрично противоположных штрихов лимба;
- б) освещенность поля зрения должна быть равномерной, не допускается перекося изображений;
- в) изображения штрихов лимба должны быть видны без перефокусирования окуляра микроскопа.

Проверяют правильность и удобства укладывания теодолита в футляр, сумки и приспособления для переноски. Комплектность теодолита контролируется в соответствии с комплектом, указанным в паспорте теодолита.

Работоспособность подвижных частей проверяют опробованием. При этом выявляют и устраняют в подвижных частях лимба, неплавности хода и заметные деформации. Проверяют работоспособность микрометров зрительной трубы и отсчетной системы, работоспособность фокусирующего приспособления. Устанавливают наличие ограничителей и стопорных устройств, где это необходимо. Проверяют расход окуляра и регулировочных приспособлений.

Особое внимание обращают на следующее:

- а) подъемные и наводящие винты должны иметь плавный ход, без скачков, срывов и заеданий. Для проверки работы винтов зрительную

трубу визируют на удаленную точку. Вращая подъемный или наводящий винт, наблюдают за плавностью перемещения изображений точки относительно нитей сетки. При необходимости ход подъемных винтов регулируют их винтами, а наводящих – их пружинами и гайками;

б) наводящее устройство лимба, механизм оптического микрометра должны работать плавно и устойчиво;

в) вращение теодолита вокруг вертикальной оси и зрительной трубы должно быть легким и плавным;

г) положение теодолита на штативе должно быть устойчивым.

При осмотре штатива обращают внимание на жесткость скрепления его отдельных частей. Ножки штатива должны сравнительно туго вращаться в шарнирном соединении с головной частью.

Окончательный вывод о пригодности теодолита к выполнению работ установленной точности делается после выполнения проверок и соответствующих им регулировок.

Установка теодолита в рабочее положение состоит из центрирования, нивелирования прибора и фокусирования зрительной трубы.

Центрирование – установка центра лимба или оси алидады на одной отвесной прямой с вершиной угла.

Для центрирования теодолит передвигают вместе со штативом над точкой до тех пор, пока отвес не расположится над ней. При наличии центрира в его поле зрения должна быть видна точка. Затем ослабляют становой винт и передвигают теодолит на горизонтально установленной головке штатива до совпадения отвеса или перекрестия сетки нитей центрира с точкой. По окончании операции завинчивают становой винт.

Нивелирование теодолита – приведение оси алидады в отвесное положение тремя подъемными винтами.

Для нивелирования теодолита устанавливают уровень параллельно двум подъемным винтам и, вращая их в разные стороны, приводят пузырек уровня на середину. Затем поворачивают алидаду на 90° и, действуя третьим подъемным винтом, выводят пузырек уровня на середину. Действия повторяют до тех пор, пока пузырек уровня не будет оставаться в середине при любом положении алидады на лимбе.

Фокусирование зрительной трубы – получение в поле зрения трубы отчетливого и резкого изображения сетки нитей и наблюдаемого предмета.

Четкое изображение предмета получают вращением кремальерного кольца. Для получения отчетливого изображения сетки нитей наводят трубу на освещенный предмет. Вращением окулярной трубочки добиваются четкого изображения сетки нитей.

4.5. Поверки и юстировки теодолитов

Поверки и юстировки теодолита производятся при температуре $+20 \pm 5^\circ\text{C}$. При проведении поверки выполняются операции и применяются средства поверки согласно табл. 4.2. Для контроля соблюдения основных геометрических условий, определяющих принципиальную схему теодолита, выполняются следующие основные поверки.

I. Поверка и юстировка уровня при алидаде горизонтального круга. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга UU' должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения (основной оси) ZZ' теодолита (рис. 4.8).

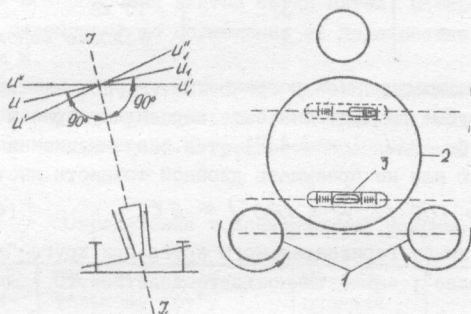


Рис. 4.8. Поверка уровня при алидаде горизонтального круга: 1 – подъемные винты; 2 – алидада; 3 – цилиндрический уровень

Для поверки этого условия необходимо алидаду повернуть так (рис. 4.8), чтобы ось уровня UU' располагалась параллельно прямой, соединяющей два подъемных винта. Вращением этих двух винтов в противоположных направлениях пузырек уровня выводится на середину. Затем алидада поворачивается на 90° и третьим подъемным винтом пузырек уровня опять выводится на середину. После этого алидада поворачивается на 180° и оценивается смещение пузырька от среднего положения. Если пузырек отошел от середины более чем на одно деление, то выполняется юстировка. Последняя производится следующим образом.

Исправительными винтами цилиндрического уровня перемещают пузырек к середине на половину дуги его отклонения. На вторую половину смещения пузырек перегоняют к середине двумя подъемными винтами, вращая их в разные стороны.

Таблица 4.3

Номер приема	Отклонение пузыря при повороте алидады, деление		Примечание
	на 90°	на 180°	
1	5	4	Условие не выполнено, выполнить юстировку
2	1	3	То же
3	0	1	Условие выполнено

$$C = 0.5 (L - R \pm 180^\circ) \leq 2t, \quad (4.4)$$

Выбирают удаленную и хорошо видимую точку М, находящуюся на уровне оси вращения трубы (рис. 4.9). Визируют на нее трубу при круге

"право" и делают отсчет по горизонтальному кругу R . Переводят трубу через зенит. Визируют трубу на эту же точку при круге "лево" и берут отсчет по лимбу горизонтального круга L .

По формуле (4.4) вычисляют коллимационную погрешность. Если она не превышает двойной точности теодолита, то условие выполнено. В противном случае выполняется юстировка. Для исключения влияния коллимационной погрешности, оставляя горизонтальный круг неподвижным, устанавливают микрометренным винтом отсчет по лимбу

$$N = (R + L \pm 180^\circ) / 2. \quad (4.5)$$

Центр сетки нитей сойдет с точки М. Снимается колпачок, закрывающий доступ к юстировочным винтам сетки нитей. Юстировочными винтами сетку нитей перемещают до совмещения ее перекрестия с изображением наблюдаемой точки М.

Для контроля поверку повторяют до тех пор, пока коллимационная погрешность не будет превышать двойной точности теодолита. Результаты определения коллимационной погрешности представлены в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Определение коллимационной погрешности

Номер ориентира	Точка визирования	Отсчет по горизонтальному кругу		Коллимационная погрешность	Примечание
		"право"	"лево"		
1	4	193°48'	12°81'	28'	Условие не выполнено. Установить на горизонтальном круге отсчет $N' = 193^\circ 20'$
2	4	193°24'	13°20'	30"	Условие выполнено

По окончании поверки защитный колпачок юстировочных винтов сетки нитей устанавливают на прежнее место.

3. Определение наклона горизонтальной оси вращения зрительной трубы.

Горизонтальная ось вращения зрительной трубы HH , должна быть перпендикулярной к вертикальной оси вращения теодолита JJ , (рис. 4.10).

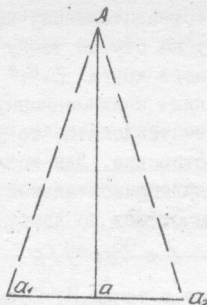


Рис. 4.10. Определение наклона горизонтальной оси вращения зрительной трубы

Теодолит устанавливают в 20–40 м от стены и приводят по уровню ось вращения в отвесное положение. Выбирают и отмечают на стене точку А (рис. 4.10), направление на которую составило бы с горизонтом угол $25\text{--}35^\circ$. На выбранную точку наводят зрительную трубу и закрепляют алидаду. Затем трубу до горизонтального положения ее визирной оси и отмечают на стене точку a_1 , изображение которой точно совпало бы с центром сетки нитей. Переводят трубу через зенит и при другом положении круга снова наводят зрительную трубу на точку А. Наклоняют зрительную трубу до горизонтального положения ее визирной оси и отмечают точку a_2 . Если условие не выполняется, то точки a_1 и a_2 на стене не совпадут. Расстояние a_1a_2 для технических теодолитов не должно превышать 1:5000 высоты точки А над горизонтом (расстояния a_1A). Результаты определения наклона горизонтальной оси вращения зрительной трубы представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5
Определение наклона горизонтальной оси вращения зрительной трубы

Высота точки А, м	Расстояние между точками, мм	Отношение расстояния к высоте	Примечание
8,6	1,3	1:6154	Условие выполнено

В современных теодолитах это исправление связано с частичной разборкой теодолита и производиться оно должно в оптико-механических мастерских. Для контроля поверка повторяется до тех пор, пока не будет выполнено условие.

4. Определение наклона сетки нитей зрительной трубы.

Одна из нитей сетки должна быть горизонтальной, а другая вертикальной.

Устанавливают по уровню при алидаде горизонтального круга ось вращения в отвесное положение. Наводят центр сетки нитей на какую-либо точку, удаленную от теодолита на расстояние 5-10 м. Действуя наводящим винтом трубы, следят, не сходит ли изображение перекрестия с горизонтальной нити сетки. Если оно сходит с нити сетки более чем на три ширины штриха, то условие не выполняется.

Для выполнения юстировки отвинчивают колпачок, прикрывающий юстировочные винты сетки на окулярной части зрительной трубы. Ослабив юстировочные винты, поворачивают рукой корпус сетки нитей так, чтобы при вращении алидады изображение наблюдаемой точки не сходило с нити сетки. По окончании поверки повторяют поверку перпендикулярности визирной оси горизонтальной оси вращения зрительной трубы.

Поверку можно выполнять также с помощью нити отвеса, подвешиваемого на расстоянии 5-6 м.

5. Определение места нуля вертикального круга.

Место нуля - это отсчет по вертикальному кругу, когда визирная ось зрительной трубы горизонтальна, а пузырек уровня при алидаде вертикального круга находится на середине.

Приводят по уровню ось вращения прибора в отвесное положение. При круге "право" визируют зрительную трубу на удаленную и четко видимую точку. Выводят пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину и берут отсчет по вертикальному кругу. Затем переводят трубу через зенит и поворачивают алидаду горизонтального круга на 180° . При круге "лево" визируют зрительную трубу на ту же точку. Снова выводят пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину и берут отсчет по вертикальному кругу.

Для теодолита ТЗ0 место нуля

$$M_0 = (R + L \pm 180^{\circ}) / 2, \quad (4.6)$$

где R - отсчет по вертикальному кругу при круге "право"; L - отсчет по вертикальному кругу при круге "лево".

Для контроля определяют место нуля визированием на вторую точку. Все операции выполняют в указанной выше последовательности.

Для модификации теодолитов с направлением счета делений вертикального круга, отличного от теодолита Т30 (по ходу часовой стрелки), место нуля

$$MO = (R + L \pm 360^\circ) / 2. \quad (4.7)$$

Если место нуля превышает двойную точность теодолита, то выполняют юстировку. Для теодолита Т30 порядок юстировки следующий.

По полученным на визирную точку отсчетам при двух положениях вертикального круга вычисляют угол наклона

$$V = (L - R - 180^\circ) / 2. \quad (4.8)$$

Оставив зрительную трубу наведенной на точку, устанавливают наводящим винтом на вертикальном круге отсчет, равный вычисленному по формуле (4.8) угла наклона. Выводят в нуль - пункт пузырек уровня горизонтального круга подъемными винтами. Центр сетки сместится с наблюдаемой точки. Отвинчивают колпачок, прикрывающий юстировочные винты сетки на окулярной части зрительной трубы. Действуя вертикальными юстировочными винтами при ослабленных горизонтальных винтах, совмещают центр сетки нитей с наблюдаемой точкой. Для контроля поверка повторяется до тех пор, пока не будет выполнено условие. Результаты определения места нуля вертикального круга теодолита Т30 представлены в табл. 4.6.

Таблица 4.6

Определение места нуля вертикального круга

Точка визирования	Отсчет по вертикальному кругу		Место нуля МО	Примечание
	"право"	"лево"		
4	178°37'	1°43'	+0°10'	Условие не выполнено. Установить на вертикальном круге отсчет $V = \frac{1^\circ 43' - 178^\circ 37' - 180}{2} =$ $= +1^\circ 33'$
6	178°36'	1°44'	+0°10'	Выполнить юстировку Условие выполнено
4	178°28'	1°34'	01'	
6	178°27'	1°35'	01'	

4.6. Измерение углов теодолитом ТЗ0

В инженерно-геодезическом обеспечении строительно-монтажного производства наиболее целесообразен при измерении горизонтальных углов способ приемов. Этим способом горизонтальный угол β получают как разность отсчетов по лимбу двух направлений, выходящих из его вершины (рис. 4.II).

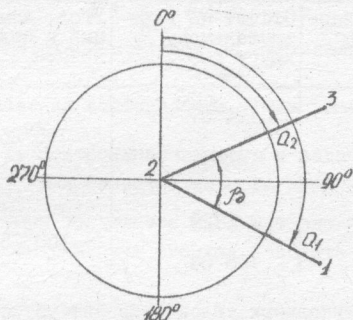


Рис. 4.II. Схема измерения горизонтальных углов способом приемов

Угол

$$\beta = \alpha_1 - \alpha_2, \quad (4.9)$$

α_1 , α_2 — соответственно отсчет по лимбу горизонтального круга при визировании трубы на точки 1 и 3.

Порядок измерения углов способом приемов следующий. Устанавливают теодолит в вершине угла (рис. 4.II, точка 2) и приводят его в рабочее положение. Первый полуприем выполняют при круге "право". Закрепляют лимб и наводят зрительную трубу в точку 3. Закрепляют алидаду и производят отсчет по горизонтальному кругу. После взятия отсчета и записи в журнал (табл. 4.7) открепляют алидаду и визируют зрительную трубу на точку 4. Закрепляют алидаду и берут отсчет по горизонтальному кругу. Результаты отсчетов заносят в табл. 4.7.

Для контроля и ослабления влияния инструментальных погрешностей горизонтальный угол измеряют вторым полуприемом при круге "лево". Для этого переводят трубу через зенит. При закрепленной алидаде и открепленном лимбе смещают лимб горизонтального круга на угол близкий к 90° . Затем закрепляют лимб и открепляют алидаду. Снова визируют зрительную трубу на точку 3. Закрепляют алидаду и берут отсчет по горизонтальному

кругу. После взятия отсчета открепляют алидаду, визируют зрительную трубу на точку 4. При закрепленной алидаде берут отсчет по горизонтальному кругу. Результаты отсчетов также заносят в табл. 4.7. По результатам измерения углов в двух полуприемах вычисляют средний угол.

Таблица 4.7

Журнал измеренных горизонтальных углов теодолитом ТЗО

Станция	Точка визирования	Положение вертикального круга	Отсчет по горизонтальному кругу	Угол, измеренный в полуприеме	Среднее значение
3	2	КП	194°07'	105°26'	105°25',5
	4		88°41'		
3	2	КП	273°29'	105°25'	
	4		168°04'		

Для измерения вертикальных углов теодолит устанавливают над данной точкой и приводят его ось в отвесное положение. При круге "право" визируют зрительную трубу на наблюдаемую точку. Закрепляют зажимные винты алидады горизонтального круга и зрительной трубы. Пузырек уровня при алидаде горизонтального круга должен быть на середине. Производят отсчет по вертикальному кругу и заносят его в журнал (табл. 4.8).

Таблица 4.8

Журнал измерения вертикальных углов теодолитом ТЗО

Станция	Точка визирования	Отсчет по вертикальному кругу	Место нуля М0	Вертикальный угол
3	2	Круг "лево"		
	4	1°16'		
3	2	Круг "право"		
	4	178°46'		
3	2	177°12'	+01'	+ 1°15'
	4		+01'	+ 2°48'

Переводят зрительную трубу через зенит и в указанном выше порядке визируют ее на данную точку. Закрепляют зажимные винты алидады горизонтального круга и зрительной трубы. Проверяют положение пузырька

уровня при алидаде горизонтального круга. Производят отсчет по вертикальному кругу и заносят его в журнал (табл. 4.8). По формулам (4.3) (4.5) вычисляют значения места нуля. По результатам отсчетов по вертикальному кругу и, используя значение места нуля, определяют вертикальный угол

$$V = MO - R - 180^{\circ}, \quad (4.9)$$

$$V = L - MO, \quad (4.10)$$

где R , L - соответственно отсчет по вертикальному кругу при круге "право" и "лево".

Результаты вычисления вертикальных углов заносят в табл. 4.8.

4.7. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Перечислите типы теодолитов и их метрологические характеристики.
2. Составьте геометрическую схему и назовите основные части теодолита.
3. Устройство зрительной трубы.
4. Устройство цилиндрических уровней.
5. Отсчетные приспособления, применяемые в теодолитах.
6. Порядок установки теодолита в рабочее положение.
7. Произведите поверку уровня при алидаде горизонтального круга.
8. Определите коллимационную погрешность.
9. Определите наклон горизонтальной оси вращения зрительной трубы.
10. Произведите поверку вертикальности сетки нитей зрительной трубы.
11. Определите место нуля вертикального круга и при необходимости исправьте его.
12. Измерьте горизонтальный угол способом приемов.
13. Измерьте угол наклона.

5. НИВЕЛИРОВАНИЕ

5.1. Виды нивелирования

При геодезическом обеспечении ~~строительно-монтажного производства~~ возникает необходимость в определении разности высот точек земной поверхности с последующим вычислением их абсолютных и относительных оттоков, в построении проектных отметок на местности и определении осадок сооружений. В зависимости от метода определения превышения и применяемых при этом приборов используют различные методы нивелирования.

Геометрическое нивелирование выполняется горизонтальным визирным лучом с помощью нивелира или теодолита и реек с делениями. Средняя квадратическая погрешность определения превышений в зависимости от класса нивелирования 0,5...10 мм/км. С учетом взаимного расположения нивелира и реек различают нивелирование из середины и вперед. Геометрическое нивелирование применяется при создании государственной высотной основы топографических съемок, высотного съемочного обоснования, а также при проектировании и строительстве инженерных сооружений.

Тригонометрическое нивелирование производится наклонным лучом визирования с помощью теодолита или кипрегеля. Средняя квадратическая погрешность определения превышений 10 мм. Применяется при создании высотной основы топографических съемок и решении различных инженерных задач.

Гидростатическое нивелирование основано на принципе сообщающихся сосудов, в которых жидкость всегда устанавливается на одном уровне. Средняя квадратическая погрешность определения превышений 0,1 мм. Применяется для точной установки строительных конструкций в проектное положение, выверки при монтаже технологических линий большой протяженности, измерения осадки сооружений и передачи отметок через водные преграды.

Барометрическое нивелирование заключается в измерении атмосферного давления на наблюдаемых точках барометрами-анероидами, которое с увеличением высоты уменьшается. Средняя квадратическая погрешность определения высот точек 300 мм. Применяется при изысканиях и строительстве линейных сооружений, возведении крупных сооружений в горных условиях и в случае ускоренных методов съемок.

Автоматическое нивелирование производится с помощью высотомеров - автоматов, вычерчивающих профиль линии местности или дающих отметки этой линии. Средняя квадратическая погрешность определения превышений 100 мм/км. Высотомеры-автоматы бывают механические, электромеханические и электронно-механические.

Перспективное направление совершенствования способов автоматизации вычерчивания профилей местности - создание высокопроизводительных электронно-механических устройств, позволяющих автоматизировать сбор и обработку геодезической информации и вычерчивание рельефа (С.Г.Лютворт, Г.С.Ратушняк и др., 1988). Принцип действия устройств основан на одновременном автоматическом сборе информации, ее кодировании и передаче на графопостроитель, на котором синхронно воспроизводится профиль в заданном масштабе. При этом перемещаемое вдоль трассы устройство преобразует рельеф местности в последовательность взаимосвязанных углов

в вертикальной плоскости между предыдущими и последующими отрезками трассы, которая синхронно воспроизводится в том же порядке на чертеже.

5.2. Типы нивелиров и нивелирных реек, их особенности

При геометрическом нивелировании превышения одной точки местности или сооружений над другой определяют с помощью горизонтального луча, создаваемого нивелиром, и нивелирных реек, установленных в этих точках.

Современные нивелиры классифицируются по точности, назначению, конструктивным признакам и степени автоматизации отдельных операций. По точности нивелиры бывают высокоточные, точные и технические. По способу установки линии визирования в рабочее положение нивелиры подразделяются на такие, у которых линию визирования устанавливают по жестко скрепленным со зрительной трубой цилиндрическим уровнем, и нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. Технические нивелиры могут быть снабжены лимбом для измерения горизонтальных углов. В настоящее время серийно выпускаются следующие типы теодолитов: Н-05, Н-3, Н-10, Н-05К, Н-3К, Н-10КЛ. Цифра в шифре нивелира указывает на допустимую среднюю квадратическую погрешность (в миллиметрах), получаемую при нивелировании на I км двойного хода. Буква К указывает на наличие компенсатора, а Л – лимба горизонтального круга.

Основные метрологические характеристики современных нивелиров в соответствии с ГОСТ 10528-76 представлены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Метрологические характеристики нивелиров

Основные параметры	С цилиндрическим уровнем			С компенсатором		
	Н-05	Н-3	Н-10	Н-05К	Н-3К	Н-10К
I	2	3	4	5	6	7
Средняя квадратическая погрешность на I км хода, мм/км	0,5	3	10	0,5	3	10
Увеличение зрительной трубы, крат.	40	30	20	40	30	20
Минимальное расстояние визирования, м	4,2	2,0	2,0	4,0	2,0	1,5
Цена деления уровня на 2 мм:						
установочного, мин	2	5	10	2	2	5
при трубе, с	10	15	45	-	-	-

I	2	3	4	5	6	7
Диапазон работы компенсатора, мин	-	-	-	8	15	20
Масса нивелира, кг	6,9	2,0	1,0	7,4	2,5	1,5

Высокоточные нивелиры Н-05 с оптическим микрометром и Н-05К с компенсатором предназначены для нивелирования I и II классов, точные нивелиры Н-3 с цилиндрическим уровнем и Н-3К с компенсатором – при нивелировании III и IV классов, инженерных изысканиях и инженерно-геодезическом обеспечении строительства. Технические нивелиры Н-10 и Н-10К применяются при топографических съемках, инженерно-геодезических изысканиях и работах на строительной площадке.

Современные штриховые инварные и шашечные деревянные нивелирные рейки классифицируются по точности, конструктивным особенностям и назначению. По точности нивелирные рейки бывают высокоточные, точные и технические. По длине различаются трех- и четырехметровые рейки, которые могут быть цельными и складными. Рейки могут быть одно- и двусторонние, с основной или с дополнительной шкалой. Рейки могут снабжаться круглыми уровнями для установки их в отвесное положение. Выпускаемые в настоящее время рейки имеют шифры РН-05, РН-3 и РН-10 и входят в комплект нивелиров Н-05, Н-3 и Н-10 соответственно. Буквы означают: Р – рейки, Н – нивелирная, а цифры 10, 3 и 05 указывают средние квадратические погрешности нивелирования (в миллиметрах) на 1 км двойного хода.

Основные метрологические характеристики современных нивелирных реек в соответствии с ГОСТ 11158-76 и преимущественная область их применения при выполнении геодезических работ представлены в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Метрологические характеристики и область применения
нивелирных реек

Рейка	Наименование	Длина, мм	Погрешность нивелирования, мм/км	Область применения
I	2	3	4	5
РН-05	Рейка нивелирная односторонняя штри- ховая прецизионная	3000 1200	0,5	Нивелирование I и II классов, гео- дезические поли- гоны

1	2	3	4	5
РН-3	Рейка нивелирная двусторонняя шашечная	4000 3000	3,0	Нивелирование III и IV классов, инже- нерно-геодезические изыскания
РН-10	То же	4000	10,0	Нивелирование тех- ническое, строи- тельные работы

Рейка РН-05 – односторонняя, представляет собой цельную раму длиной 3,0 или 1,2 м, в которой натянута инварная лента с нанесенными на лицевой стороне двумя шкалами, смещенными одна относительно другой на 2,5 мм. На основной шкале подписаны полудециметровые деления от 0 до 60, а на дополнительной шкале от 60 до 120. Отсчет по прецизионной рейке берут с помощью оптического микрометра.

Рейка РН-3 – двусторонняя шашечная, представляет собой деревянный брусок шириной 8...10 и толщиной 2...3 см, на котором имеются шашечные дециметровые деления и подписи значений дециметровых делений. На одной стороне нанесены черные и белые деления (черная сторона), а на другой – красные и белые (красная сторона). На обеих сторонах рейки деления выполнены через 10 мм. Счет делений по черной стороне рейки ведут от нуля, совмещенного с пяткой рейки, а по красной стороне начальный отсчет выражается числом 4687 или 4787. Разность отсчетов по разным сторонам рейки должна быть всегда постоянной. Дециметровые надписи могут быть обратными или прямыми.

Рейка РН-10 – двусторонняя шашечная, имеет конструкцию, аналогичную рейке РН-3, и, как правило, изготавливается складной длиной 4 м.

В результате анализа типов нивелиров и нивелирных реек, их метрологических характеристик и областей применения выбирается тип нивелира нивелирной рейки для инженерно-геодезического обеспечения конкретно-строительно-монтажного производства или выполнения изысканий.

5.3. Устройство нивелиров

5.3.1. Общие сведения об устройстве нивелиров

Каждый тип нивелира имеет свои конструктивные особенности. Однако, будучи представителями одного класса геодезических приборов, все они имеют общие основные части: зрительная труба, уровни и установочные приспособления. Обязательным является одинаковое взаимное расположение рей.

Нивелир с цилиндрическим уровнем включает (рис. 5.1) подставку I, зрительную трубу 5 с объективом 4, окуляром 6 и фокусирующей ручкой, цилиндрический 2 и круглый уровень 8, подъемные винты 9, зажимной 3, микрометричный и элевационный винты 7.

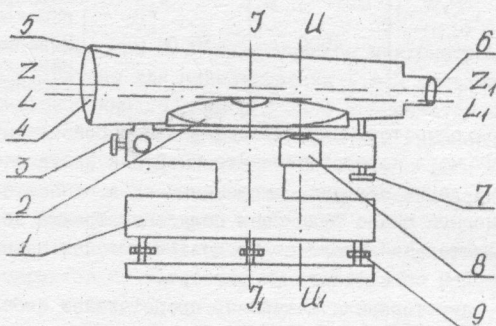


Рис. 5.1. Принципиальная геометрическая схема нивелира с цилиндрическим уровнем

Принципиальная схема нивелира с цилиндрическим уровнем должна обеспечивать соблюдение основных геометрических условий: визирная ось ZZ , и ось цилиндрического уровня UU , должны быть параллельны; ось круглого уровня JJ , должна быть параллельна основной оси JJ_1 нивелира; визирная ось должна быть перпендикулярна основной оси нивелира. При определении превышений наибольшее значение имеет соблюдение геометрических условий. Это обусловлено их значительной изменчивостью в процессе работы и транспортировки нивелира.

В инженерно-геодезических работах широко применяются нивелиры, в которых линия визирования автоматически устанавливается в горизонтальное положение. Это достигается применением компенсаторов, которые визирный луч приводят в горизонтальное положение.

Компенсация угла наклона визирной оси осуществляется компенсатором с подвесной сеткой нитей; компенсатором с поворотом визирного луча, который смещает визирный луч в центр сетки нитей; компенсатором с параллельным переносом визирного луча своему первоначальному направлению в центр сетки нитей.

Коэффициент компенсации

$$K = f/S, \quad (5.1)$$

где f - фокусное расстояние зрительной трубы; S - длина хода луча от точки падения его на зеркало или призму компенсатора до центра сетки нитей.

Необходимое значение коэффициента компенсации достигается механическими, оптическими или оптико-механическими средствами.

Оптическая схема нивелира Н-ЮКЛ (рис. 5.2) включает объектив 1, пентапризму 2, призму-компенсатор 3, пентапризму 4, сетку нитей 5 и окуляр 6.

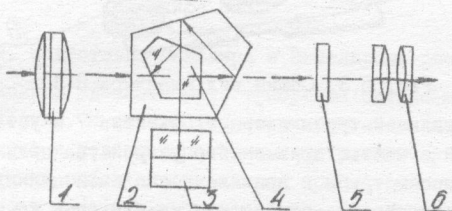


Рис. 5.2. Оптическая схема нивелира Н-ЮКЛ

Нивелиры с компенсаторами должны удовлетворять основному условию визирования - горизонтальная при наклонах инструмента в пределах расчетного угла компенсации.

5.3.2. Устройство нивелира Н-3

Нивелир Н-3 - точный с цилиндрическим уровнем при зрительной трубе и элевационным винтом. Он предназначен для геометрического нивелирования III класса со средней квадратической погрешностью до ± 4 мм/км. Вид нивелира Н-3 показан на рис. 5.3. Нивелир состоит из верхней и нижней частей. Верхнюю часть составляет зрительная труба 5 с цилиндрическим уровнем 6, наводящим 7, закрепительным 8 и элевационным винтом 3, круглым уровнем 2 и основанием. Нижняя часть представляет собой подставку-треножник 1 с тремя подъемными винтами II и пружинящей пластиной 12.

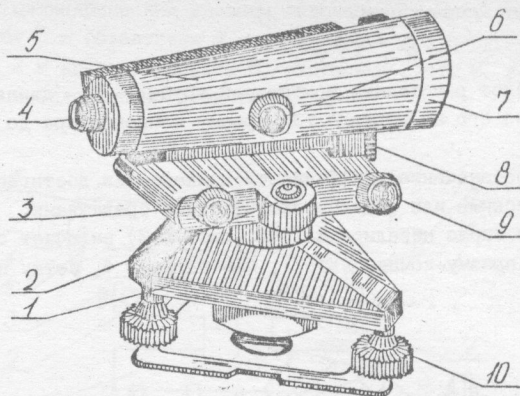


Рис. 5.3. Общий вид нивелира Н-3

В корпусе зрительной трубы ввернут объектив 7 и установлены окуляр 4 и сетка нитей с частью призменного устройства цилиндрического уровня. С левой стороны трубы в приливе расположен цилиндрический уровень и призменное устройство, передающее изображение концов пузырька в поле зрения трубы. Четкое изображение отсчета по рейке получают вращением фокусирующей ручки 7. В корпусе трубы со стороны окуляра имеется четыре исправительных винта для юстировки цилиндрического уровня. Юстировочные винты закрыты крышкой.

Вертикальную ось прибора в отвесное положение приводят круглый уровень 2, имеющий три исправительных винта, и три подъемных винта II треножника. Для придания визирной оси зрительной трубы горизонтального положения применяется цилиндрический уровень. Визирной оси будет придано горизонтальное положение, если изображения концов пузырька цилиндрического уровня с помощью элевационного винта 3 совмещены в поле зрения трубы (рис. 5.4). В поле зрения зрительной трубы (рис. 5.4) видны пузырек уровня 1, нивелирная рейка 2, сетка нитей 3. Отсчет по рейке 1249.

Для грубого наведения прибора на рейку на корпусе зрительной трубы имеется мушка. Точное наведение на рейку осуществляется винтом 10 при зажатом закрепительном винте 9.

В комплект нивелира Н-3 входят также штатив со станovým винтом, футляр, запасной инструмент и принадлежности.

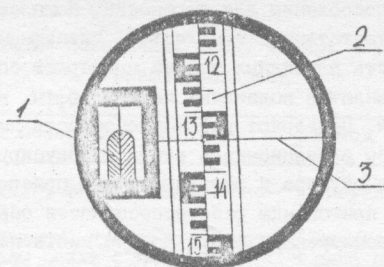


Рис. 5.4. Поле зрения зрительной трубы
нивелира Н-3

5.4. Подготовка нивелира и нивелирных реек к работе

Нивелиры должны удовлетворять требуемым оптико-механическим и геометрическим условиям. Нивелиры характеризуются комплексом метрологических характеристик и подлежат проверке и метрологической аттестации. Содержание поверочных работ для нивелиров при метрологическом контроле и применяемые при этом методы и средства представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Содержание поверочных работ точных и технических нивелиров

п	Содержание поверочных работ	Метод и средство проверки
	Проверка внешнего технического состояния и комплектности	Визуальный осмотр
	Оценка работоспособности	Опробование
	Проверка главного геометрического условия	Полевой базис
	Проверка работы компенсатора	Автоколлиматор
	Определение средней квадратической погрешности превышения на станции	Полевой высотный полигон
	То же на 1 км хода	Высотный полигон

Внешнее состояние нивелира проверяют визуальным осмотром. При этом выявляются повреждения оптических и механических частей нивелира. Проверяют установку уровней и регулировочных приспособлений. Изображение в зрительной трубе должно быть четким и недеформированным. Освещенность поля зрения должна быть равномерной, не допускается перекошенность изображений. Проверяют правильность и удобность укладывания нивелира в

футляр, замки и приспособления для переноски. Комплектность нивелира контролируется в соответствии с комплектом, указанным в паспорте нивелира. Работоспособность подвижных частей проверяют опробованием. При этом выявляют и устраняют в подвижных частях люфты, неплавности хода и заметные деформации. Проверяют работоспособность микрометричного винта зрительной трубы элевационного винта и фокусирующего приспособления. Проверяют расход окуляра и регулировочных приспособлений.

Особое внимание при оценке работоспособности обращают на следующее: подъемные и микрометричные винты должны иметь плавный ход, без скачков, срывов и заеданий; вращение нивелира вокруг оси должно быть легким и плавным; положение нивелира на штативе должно быть устойчивым. Ход подъемных винтов регулируют с помощью регулировочных гаек со специальными отверстиями под шпильку. При слишком тугом или свободном ходе подъемных винтов их вывинчивают до тех пор, пока не станут видны отверстия регулировочных гаек. В эти отверстия вставляют шпильку и вращают гайку в ту или иную сторону, добиваясь достаточно плавного хода винта. Становой винт во время регулировки хода подъемных винтов не должен быть затянут слишком туго. При слишком тугом или свободном ходе наводящего или элевационного винтов в отверстие регулировочной гайки, имеющейся на винтах, вставляют шпильку и вращением гайки добиваются нужного хода наводящего или элевационного винтов. При тугом вращении трубы на вертикальной оси необходимо смазать ось заново.

При осмотре штатива обращают внимание на жесткость скрепления его отдельных частей. Ножки штатива должны сравнительно туго вращаться в шарнирном соединении с головной частью.

Окончательный вывод о пригодности нивелира к выполнению работ установленной точности делается после выполнения проверок и соответствующих им регулировок.

Нивелирные рейки характеризуются комплексом метрологических характеристик и подлежат проверке. Содержание поверочных работ и средств проверок нивелирных реек представлен в табл. 5.4.

Проверку внешнего вида и технического состояния реек проводят визуальным осмотром и опробованием. При проверке внешнего вида устанавливают соответствие шкал и подписей делений типу рейки; наполненность лакокрасочным покрытием штрихов и шашечных делений; отсутствие дефектов, ухудшающих внешний вид рейки и затрудняющих снятие отсчетов; качество штрихов и шашечных делений; правильность закрепления пятки на торце.

Таблица 5.4

Содержание поверочных работ точных и технических
нивелирных реек

№ п/п	Содержание поверочных работ	Метод и средство проверки
1	Поверка внешнего вида и технического состояния	Визуальный осмотр, опробование
2	Поверка совмещения нулевого отсчета основной шкалы рейки с пяткой	Штриховая мера длины IY типа с ценой деления 0,2 мм
3	Определение отсчета, соответствующего пятке рейки по дополнительной шкале	То же
4	Поверка длины любого наименьшего интервала шкалы рейки	"
5	Определение длины метровых интервалов и определение средней длины метра пары реек	"

При выполнении опробования устанавливают надежность крепления на корпусе уровня, ручек, металлической пластины пятки; действие фиксатора, удерживающего складную рейку в рабочем состоянии; действие замков и заделок, скрепляющих звенья складной рейки в сложенном состоянии; прилегание звеньев складной рейки в рабочем и сложенном состояниях.

Установка нивелира в рабочее положение состоит из фокусирования зрительной трубы, приведения оси вращения нивелира в отвесное положение и горизонтирования зрительной трубы.

Штатив нивелира устанавливают таким образом, чтобы расстояние между ножками были не менее половины длины ножки. Концы ножек вдавливаются в грунт, и подтягиваются ослабленные болты, скрепляющие подвижные части штатива. Нивелир устанавливают на штативе так, чтобы наконечники подъемных винтов вошли в пазы головки штатива, и закручивают становой винт (умеренно, чтобы не затруднять ход подъемных винтов).

Фокусирование зрительной трубы — получение в поле зрения трубы отчетливого и резкого изображения сетки нитей и отсчетов по нивелирной рейке. Четкое изображение нивелирной рейки получают вращением фокусирующей ручки. Для получения отчетливого изображения сетки нитей наводят зрительную трубу на освещенный предмет. Вращением окулярной трубочки добиваются четкого изображения сетки нитей.

Ось вращения нивелира занимает отвесное положение при размещении пузырька круглого уровня в нуль-пункте. С этой целью вращают подъемные винты в разные стороны и добиваются перемещения пузырька круглого уровня в нуль-пункт.

Нивелир считается отгоризонтированным, если изображения концов пузырька цилиндрического уровня совмещены в поле зрения зрительной трубы (рис. 5.4). Изображения концов пузырька цилиндрического уровня совмещают с помощью элевационного винта.

Для грубого наведения нивелира на рейку на корпусе зрительной трубы имеется мушка. Точное наведение на рейку осуществляется наводящим винтом, укрепленным на основании, при зажатом закрепительном винте.

5.5. Поверки и юстировки нивелиров

Поверки и юстировки нивелиров производятся при температуре $+20 \pm 5^\circ \text{C}$. При проведении поверки выполняются операции и применяются средства поверки согласно табл. 5.3. Соблюдение основных геометрических условий, определяющих принципиальную схему нивелира, контролируется в зависимости от конструктивных особенностей нивелиров.

5.5.1. Поверки и юстировки уровенных нивелиров

1. Поверка круглого уровня.

Ось круглого уровня $ИИ$, (рис. 5.1) должна быть параллельна основной оси нивелира $ХХ$.

Для проверки этого условия устанавливают круглый уровень по направлению двух подъемных винтов (рис. 5.5). Вращением трех винтов I в противоположных направлениях пузырек 2 приводят в нуль-пункт. Если после поворота верхней части нивелира на 180° пузырек остается в нуль-пункте — условие выполнено. В противном случае, действуя исправительными винтами уровня, перемещают пузырек к нуль-пункту на половину дуги отклонения. На оставшуюся часть приводят подъемными винтами.

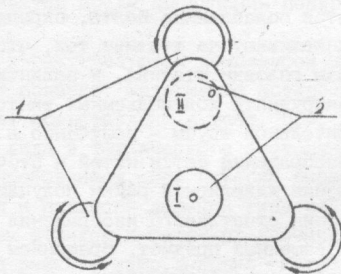


Рис. 5.5. Поверка круглого уровня

2. Поверка правильности установки сетки нитей.

Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси нивелира $\mathcal{N}$.

Наводят центр сетки нитей на какую-либо точку, удаленную от нивелира на 5-10 м (рис. 5.6).

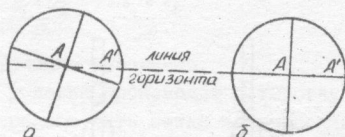


Рис. 5.6. Поверка правильности установки сетки нитей наведение на точку: а) условие не выполнено; б) условие выполнено

Действуя наводящим винтом, следят, не сходит ли изображение перекрестия с горизонтальной нити сетки. Если оно сходит с нити сетки более чем на три ширины штриха, то условие не выполняется.

Поверку можно выполнить также с помощью нити отвеса, подвешенного в 25-30 м от нивелира (рис. 5.7).

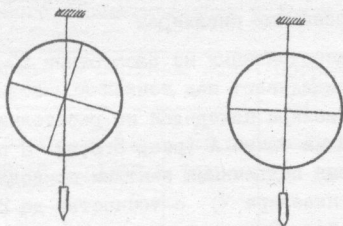


Рис. 5.7. Поверка правильности установки сетки нитей с помощью отвеса: а) условие не выполнено; б) условие выполнено

Если после наведения на отвес вертикальная нить сетки совпадает со шнуром отвеса, — условие выполнено. В противном случае требуется юстировка.

Для выполнения юстировки отвинчивают колпачок, прикрывающий юстировочные винты на окулярной части зрительной трубы. Ослабив юстировочные винты, поворачивают в нужную сторону сетку нитей так, чтобы выполнялось условие.

По окончании поверки закрепляют юстировочные винты и поверку повторяют до выполнения условия.

3. Поверка главного геометрического условия.

Визирная ось трубы ZZ' , (рис. 5.1) должна быть параллельна оси цилиндрического уровня LL' . Поверка производится двойным нивелированием одной и той же линии длиной 50–70 м в прямом и обратном направлениях (рис. 5.8).

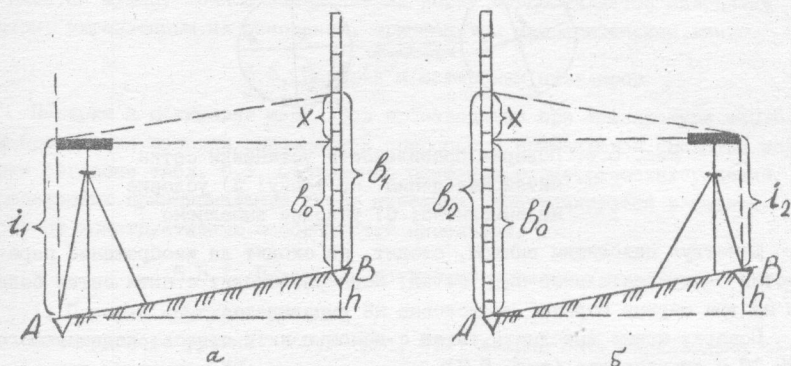


Рис. 5.8. Поверка главного геометрического условия
уровенных нивелиров

В точках А и В, расположенных на расстоянии 50–70 м, забивают колья или костыли. Устанавливают над точкой А нивелир так, чтобы окуляр зрительной трубы нивелира находился на расстоянии не более 3–5 см от рейки, расположенной на точке А (рис. 5.8, а). С помощью круглого уровня ось нивелира тремя подъемными винтами приводят в отвесное положение. Измеряют высоту нивелира i_1 с точностью до 2 мм с помощью стальной рулетки или рейки. Визируют зрительную трубу на рейку, установленную в точке В. С помощью элевационного винта совмещают концы пузырька цилиндрического уровня и производят отсчет b_0 .

Превышение между точками А и В составляет

$$|h| = i_1 - b_0 = i_1 - b_1 - x, \quad (5.1)$$

где x – погрешность взятия правильного отсчета b_0 , обусловленная несоблюдением главного геометрического условия.

Переставляют местами нивелир и рейку (рис. 5.8, б). Определяют высоту нивелира i_2 в точке В. Визируют зрительную трубу на рейку, установленную в точке А.

С помощью элевационного винта совмещают концы пузырька цилиндрического уровня и производят отсчет b_2 .

Превышение между точками В и А составляет

$$|h| = \theta'_0 - i'_2 = \theta_2 - i_2 - x. \quad (5.2)$$

Решая уравнения (5.1) и (5.2) относительно x , получают

$$x = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (5.3)$$

Если $x \leq 4$ мм, то условие выполнено.

При невыполнении условия производят юстировку в следующей последовательности. Наводят среднюю нить сетки элевационным винтом на отсчет по рейке, равный

$$\theta'_0 = \theta_2 - x. \quad (5.4)$$

Пузырек цилиндрического уровня сместится с нуля-пункта. Вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня, находящимися под крышкой в торцевой части коробки, совмещают изображения концов пузырька уровня. Для контроля поверку повторяют.

Результаты поверки главного геометрического условия представлены табл. 5.5.

Таблица 5.5

Поверки главного геометрического условия нивелира Н-3

Порядок приема	В прямом направлении, мм		В обратном направлении, мм		Погрешность x , мм	Примечание
	i_1	θ_1	i_2	θ_2		
1	1341	1192	1438	1612	12	Условие не выполнено. Произвести юстировку
2	1373	1213	1419	1583	2	Условие выполнено

5.5.2. Поверки и юстировки нивелиров с компенсаторами

Поверки установочного уровня и положения сетки нитей нивелиров с компенсаторами выполняют так же, как и у нивелиров с цилиндрическим уровнем. После осуществления соответствующих юстировок проверяют степень компенсации углов наклона оси нивелира и главное геометрическое условие.

1. Поверка степени компенсации углов наклона оси нивелира.

Компенсация углов наклона оси нивелира должна быть полной.

Для определения погрешности недокомпенсации устанавливают нивелир в середине створа между рейками, расположенными на расстоянии 100 м

друг от друга. Определяют значения превышений пятью приемами при положениях пузырька круглого уровня, показанных на рис. 5.9.

$$h_i = \alpha_i - \beta_i, \quad (5.5)$$

где α_i , β_i — соответственно отсчет по задней и передней рейкам, мм

Вычисляют средние значения превышения, полученные при положениях пузырька уровней 2 — 5 (рис. 5.9).

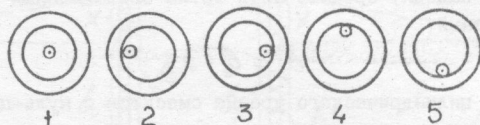


Рис. 5.9. Положение пузырька круглого уровня при определении погрешности компенсации

Если средние значения превышения h_c отличаются от среднего значения h_i , полученного при положении пузырька уровня I (рис. 5.9), т.е.

$$(h_c - h_i) > 5 \text{ мм}, \quad (5.7)$$

то нивелир подлежит юстировке в заводских условиях.

2. Поверка главного геометрического условия.

Линия визирования должна быть горизонтальной при наклонах оси прибора в пределах расчетного угла компенсации (рис. 5.10).

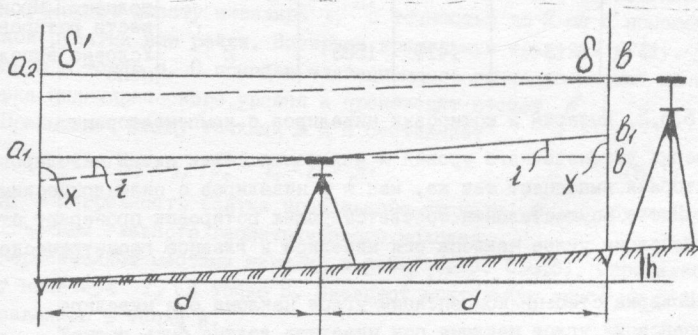


Рис. 5.10. Поверка главного геометрического условия нивелиров с компенсатором

На местности закрепляют кольшками линию длиной 50-70 м и устанавливают на них нивелирные рейки. Точно посередине между рейками устанавливают нивелир. С помощью круглого уровня приводят ось нивелира в горизонтальное положение. Производят отсчеты по задней a_1 и передней b_1 рейкам.

Если условие не выполнено, т.е. визирный луч отклоняется от горизонтального направления на некоторый угол i' , оба отсчета будут искажены на величину x . Превышение, вычисленное по отсчетам a и b , будет верным

$$h = a_1 - b_1 = (a + x) - (b + x) = a - b. \quad (5.8)$$

Далее устанавливают нивелир за передней рейкой на наименьшем расстоянии визирования и производят отсчеты по дальней a_2 и ближней b_2 рейкам. Вычисляют отсчет a_2' , соответствующий горизонтальному положению визирного луча

$$a_2' = h + b_2. \quad (5.9)$$

При этом должно выполняться условие

$$\delta' = a_2 - a_2' < 4 \text{ мм}. \quad (5.10)$$

В противном случае сетку нитей перемещают исправительными винтами так, чтобы ее центр был установлен на отсчет a_2' . Для контроля проверку повторяют.

5.6. Определение превышений при геометрическом нивелировании

Порядок работы с нивелиром на станции устанавливается способом определения превышения, классом нивелирования и способом контроля отсчетов по рейке. При выборе способа геометрического нивелирования возникают проблемные ситуации, решение которых зависит от требуемой точности, условий измерений и видов геодезических работ по обеспечению проектно-монтажного производства.

5.6.1. Техническое нивелирование способом из середины нивелиром Н-3

После выполнения проверок и юстировок нивелир устанавливают на равных расстояниях от реек и приводят его в рабочее положение (рис. 5.11).

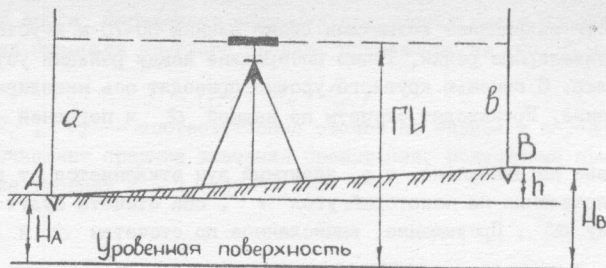


Рис. 5.11. Геометрическое нивелирование из середины

Для этого ось нивелира приводят в отвесное положение и с помощью фокусирования зрительной трубы добиваются четкого изображения реек. Трубу наводят на черную сторону задней рейки. С помощью элевационного винта совмещают концы контактного цилиндрического уровня. После успокоения пузырька производят отсчет α_z . Затем наводят трубу на черную сторону передней рейки. При необходимости элевационным винтом исправляют положение пузырька цилиндрического уровня и берут отсчет β_z . Поворачивают рейки красной стороной к нивелиру и берут отсчет по красной стороне передней рейки β_k . Поворачивают зрительную трубу на заднюю рейку и берут отсчет по красной стороне рейки α_k .

Производят контроль наблюдений. Для этого, не снимая прибор, вычисляют превышения между точками соответственно по красной и черной сторонам реек

$$h_z = \alpha_z - \beta_z, \quad (5.11)$$

$$h_k = \alpha_k - \beta_k. \quad (5.12)$$

При этом должно выполняться условие $(h_z - h_k) < \pm 5$ мм. Если условие выполнено, определяют среднее превышение между точками

$$h_c = 0,5 (h_z + h_k). \quad (5.13)$$

Высота точки

$$H_B = H_A + h_c. \quad (5.14)$$

Если разность превышений больше 5 мм, то наблюдения на станции повторяют. Результаты нивелирования записывают в журнал (табл. 5.6). При наличии промежуточных точек на них устанавливают заднюю рейку и берут отсчеты только по черной стороне рейки.

Таблица 5.6

Журнал технического нивелирования

Номер станции	Номер точек	Отсчет по рейкам, мм			Превышение, мм		Среднее превышение, мм	
		задний	передний	промежуточный	+	-	+	-
I	0	1984			975			
		6767			972		974	
	I		1009					
			5795					
2	I	1438						
		6226						
	+84			2534		537		535
	2		1975			533		
3			6759					
	I	1947						
		6736			1028		1029	
	2		0919		1030			
Контроль			5706					
	$\sum \alpha_z =$	5369	$\sum \beta_z =$	3903			+2003	-535
	$\sum \alpha_k =$	$\frac{19729}{14360}$	$\sum \beta_k =$	$\frac{18260}{14357}$				
		+1466	+1469				+1468	

При работе с односторонними нивелирными рейками для контроля отсчетов по рейкам меняют горизонт инструмента. В этом случае превышения на станции получают дважды. Перед повторным определением превышения изменяют высоту нивелира не менее чем на 10 см.

Для получения отсчетов по рейкам, не снабженных круглым уровнем, их необходимо во время отсчета покачивать в плоскости визирования симметрично относительно вертикального положения. Наименьший отсчет соответствует перпендикулярному положению рейки к линии визирования. При отсчете меньше 1000 мм рейку не покачивают.

5.6.2. Техническое нивелирование способом вперед нивелиром Н-3

При нивелировании вперед нивелир устанавливают над точкой А, а рейку над точкой В (рис. 5.12).

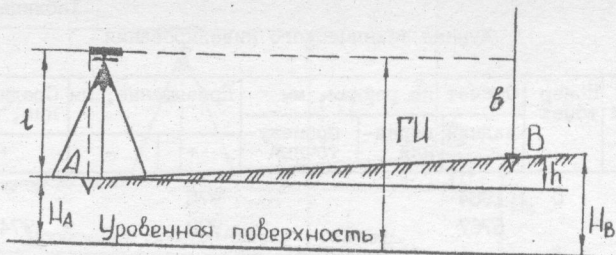


Рис. 5.12. Геометрическое нивелирование вперед

Окуляр нивелира должен проектироваться на точку А. Измеряют высоту прибора i с помощью нивелирной рейки или рулетки. Визируют зрительную трубу на рейку. Элевационным винтом совмещают концы пузырька цилиндрического уровня и берут отсчет по рейке.

Вычисляют превышение между точками

$$h = i - v. \quad (5.15)$$

По известной высоте точки H_A вычисляют высоту точки

$$H_B = H_A + h. \quad (5.16)$$

Ее определяют через горизонт инструмента

$$ГН = H_A + i. \quad (5.17)$$

В этом случае

$$H_B = ГН - v. \quad (5.18)$$

Точность определения превышения контролируется измерением высоты инструмента.

5.7. Определение превышений при тригонометрическом нивелировании

Тригонометрическое нивелирование широко применяется в практике инженерно-геодезических работ, так как позволяет передавать отметки на большие расстояния с одной станции, особенно в стесненных условиях строительной площадки. Превышения при тригонометрическом нивелировании определяются наклонным лучом визирования, это основано на измерении углов наклона и расстояний до определяемой точки (рис. 5.13).

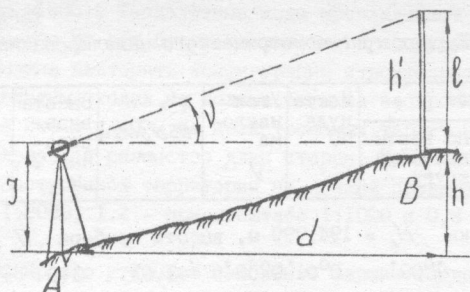


Рис. 5.13. Схема определения превышений
тригонометрическим нивелированием

Для определения превышения между точками А и В в точке А устанавливают теодолит, а в точке В рейку. Металлической рулеткой или с помощью рейки тщательно измеряют высоту теодолита J , т.е. расстояние от верха колышка в точке А до центра окуляра зрительной трубы, занимающей горизонтальное положение, или до ее горизонтальной оси вращения. Расстояние J фиксируют повязкой на рейке. Визируют зрительную трубу на верх рейки и измеряют по вертикальному кругу угол наклона V . При измерении угла наклона теодолитом ТЗ0 пузырек цилиндрического уровня алидады горизонтального круга обязательно должен находиться в нуль-пункте. Превышение

$$h = h' + J - \ell = d \operatorname{tg} V + J - \ell, \quad (5.19)$$

где d — расстояние между точками А и В.

Если расстояние определяют с помощью нитяного дальномера, то

$$h = 0,5 d' \sin 2V + J - \ell = 0,5 d' \sin 2V + J - \ell, \quad (5.20)$$

где d' — наклонное расстояние.

При визировании зрительной трубы теодолита на повязку, фиксирующую высоту прибора на рейке ($J = \ell$), превышения определяют по сокращенным формулам тригонометрического нивелирования

$$h = d \operatorname{tg} V, \quad (5.21)$$

$$h = 0,5 d' \sin 2V. \quad (5.22)$$

Высоту точки H_B определяют по (5.14).

Обработка результатов измерений при тригонометрическом нивелировании ведется в табличной форме (табл. 5.7) с помощью микрокалькулятора.

Точка визи- рова- ния	Отсчет		Место нуля МО	Угол накло- на ν	$h' =$ $= 0.5 d' \sin 2\nu$ M	Высота визи- рова- ния ℓ , м	Превы- шение h , м	Высо- та H , м
	по даль- номеру	по верти- кальному кругу						

Высота точки $H_A = 194,799$ м, высота прибора $\mathcal{I} = 1,451$ м

В 19,50 9°09' -0°01'9°08' +3,03 3,0 +1,481 196,28

5.8. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Перечислите виды нивелирования.
2. Типы нивелиров и их метрологические характеристики.
3. Объясните устройство нивелира Н-З.
4. Особенности устройства нивелиров с компенсаторами.
5. Типы, устройство и метрологические характеристики инвальных реек.
6. Состав и последовательность операций при подготовке нивелира к работе.
7. Основное условие, предъявляемое к нивелирам с цилиндрическим уровнем и нивелирам с компенсатором.
8. Изложите порядок поверок нивелира Н-З и нивелира с компенсатором.
9. Порядок работы на станции при определении превышения способом из середины.
10. Сущность тригонометрического нивелирования.
11. Изучите устройство нивелира Н-З и Н-ЗК.
12. Выполните поверки и юстировки нивелира Н-З и Н-ЗК.
13. Определите превышение способами из середины и вперед.
14. Определите превышение тригонометрическим нивелированием.

6. ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ И СОСТАВЛЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ПЛАНА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

6.1. Полевые работы при прокладке теодолитных ходов

Плановое съемочное обоснование создается в виде замкнутых или разомкнутых теодолитных ходов. Полевым работам предшествует проектирование этих ходов на имеющихся крупномасштабных картах. При этом руководствуются следующими положениями Инструкции по топографической

емка (М.: Недра, 1985). Теодолитные ходы прокладывают вдоль дорог, проездов или примерно по оси будущего линейного сооружения. Схема теодолитных ходов должна повторять конфигурацию строительной площадки. Длины сторон в теодолитных ходах не должны быть на застроенных территориях менее 350 и менее 200 м и 40 м на незастроенных территориях. По возможности должно соблюдаться равенство длин сторон. Предельная длина теодолитных ходов на застроенной территории не должна превышать 2 км при масштабе съемки 1:2000, 1,2 – при масштабе 1:1000 и 0,8 км при масштабе 1:500.

При рекогносцировке уточняют положение вершин теодолитных ходов. Каждая вершина должна быть хорошая видимость предыдущей и последующей точек и удобные условия для линейных измерений. Кроме того, требуются удобные условия для постановки прибора и хороший обзор для ведения съемки. Пункты теодолитного хода закрепляют деревянными кольями толщиной около 6 см. Над поверхностью земли кол не должен выступать более чем 5 см. Установленный знак окапывают канавой. После закрепления точек местности составляется окончательная схема теодолитных ходов, и приступают к угловым и линейным измерениям.

Длину сторон теодолитных ходов измеряют в прямом и обратном направлениях стальными 20-метровыми лентами, рулетками и другими приборами, обеспечивающими требуемую точность измерений. Относительная погрешность измерения, измеренной в прямом и обратном направлениях,

$$1/N = (S_{np} - S_{обп}) / S, \quad (6.1)$$

1/N – относительная погрешность 1:2000; S – измеренное расстояние.

Углы в теодолитных ходах измеряют теодолитами не менее 30-секундной точности одним приемом с перестановкой лимбы между полуприемами 90°. При измерении углов с односторонним отсчетом по кругу (Т5, Т5К, Т5К) достаточно осуществить перевод трубы через зенит между полуприемами и последующей перестановкой лимба на 1-2°. Колебания значений углов, полученных из двух полуприемов, не должны превышать 45". Центрирование теодолита производится с помощью оптического центрира или отвеса с точностью до 3 мм.

Одновременно с измерением горизонтальных углов измеряются одним приемом вертикальные углы и вводятся поправки за приведение длины линий горизонту при углах наклона более 1,5°. Если на измеряемой линии несколько точек перегиба, то при измерении ее лентой, рулеткой или длинной по частям углы наклона измеряются на каждом участке, ограниченном точками перегиба.

Особое внимание обращают на привязку прокладываемого теодолитного хода к пунктам существующей геодезической сети съемочного обоснования. При привязке теодолитных ходов измеряют два примычных угла, сумма которых не должна отличаться от значения, полученного по исходным данным, более чем на $1'$.

6.2. Обработка полевых материалов

При прокладке теодолитных ходов на местности в результате полевых измерений получают расстояния между точками планово-высотного обоснования и отсчеты по отсчетным приспособлениям теодолита. Обработка исходных материалов включает вычисление правых по ходу углов и горизонтальных проложений сторон теодолитного хода. Исходные данные для обработки полевых материалов помещены в журнале измерения углов и расстояний (табл. 6.1 и 6.2).

Измеренный горизонтальный угол при двух положениях вертикального круга

$$\beta_n = \alpha_{n+1} - \alpha_{n-1}, \quad (6.2)$$

где α_{n+1} - отсчет при визировании зрительной трубы на последующую точку; α_{n-1} - на предыдущую точку.

Среднее значение измеренного угла

$$\beta_c = (\beta_{кл} + \beta_{нл})/2. \quad (6.3)$$

Вычисленные средние углы из двух измерений записывают в графу 8 табл. 6.2.

Горизонтальная проекция стороны теодолитного хода, м:

$$d = D - \Delta D, \quad (6.4)$$

где D - измеренное расстояние, м; ΔD - поправка за наклон, определяемая в зависимости от угла наклона и длины линии (В.В. Баканова, П.И. Фокин. Таблицы приращений координат. - М.: Недра, 1976 и др.).

Горизонтальная проекция линии, м:

$$d = D \cos \nu, \quad (6.5)$$

где ν - угол наклона линии к горизонту.

Вычисленные горизонтальные проложения сторон теодолитного хода записывают в графу II табл. 6.1 и 6.2.

Номер точек сто- яния	Положе- ние точек сто- яния	Номер точек визи- рова- ния	Отсчет	Угол	Средний угол	Длина линий, м	Угол наклона		Горизонталь- ное проложе- ние, м
							0	1	
I	2	3	4	5	6	7	8		9
			Замкнутый ход						
I	КП	7	211 23.0	193 32.0		I - 2			
		2	17 51.0			65.18			
	КП	7	273 48.0	193 33.0	193 32.5	65.14	+0 40		65.16
		2	80 15.0			65.16			
2	КП	1	165 54.0	110 17.0		2 - 3			
		3	55 37.0			156.36			
	КП	1	45 38.0	110 18.0	110 17.5	156.44	+3 20		156.14
		3	295 20.0			156.40			
3	КП	2	305 32.0	94 31.0		3 - 4			
		4	211 01.0			59.20			
	КП	2	40 48.0		94 32.0	59.22	-1.10		59.21
		4	306 15.0	94 33.0		59.21			

Окончание табл. 6.1

I	2	3	4	5	6	7	8	9
4	KII	3	273 05.0	172 55.0	172 55.0	4 - 5	+0 50	62.00
		5	100 10.0			62.00		
	KII	3	183 07.0	172 55.0		62.00		
		5	10 12.0			62.00		
5	KII	4	93 08.0	92 07.0	92 07.0	5 - 6	+2 30	119.16
		6	1 01.0			119.30		
	KII	4	186 16.0	92 07.0		119.24		
		6	94 09.0			119.27		
6	KII	5	29 51.0	179 39.0	179 39.5	6 - 7	+0 29	99.98
		7	210 12.0			99.96		
	KII	5	117 17.0			100.0		
		7	297 37.0			99.98		
7	KII	6	129 29.0	56 59.0	56 59.0	7 - 1	-0 19	69.11
		1	72 30.0			69.10		
	KII	6	228 58.0	56 59.0		69.12		
		1	171 59.0			69.11		

$$\sum \beta = 900^{\circ} 2,5'$$

$$\sum d = 630,78$$

Номер точек стояния	Положение круга	Номер точек визирования	Отсчет		Угол		Средний угол		Длина линий, м	Угол наклона		Горизонтальное проложение, м
			о	′	о	′	о	′		о	′	
I	2	3	4		5		6		7	8		9
4	КП	3	209	55.0	Разомкнутый ход							
		8	125	25.0								
	КЛ	3	298	02.0								
		8	213	32.0								
8	КП	4	184	50.0								
		9	359	58.0								
	КЛ	4	269	56.0								
		9	85	01.0								
9	КП	8	356	56.0								
		I	181	16.0								
	КЛ	8	88	57.0								
		I	273	15.0								

Окончание табл. 6.2

I	2	3	4	5	6	7	8	9
I	III	9	185 55.0	70 07.0	70 07.0			
		2	115 48.0	70 07.0				
	III	9	276 05.0	70 07.0				
		2	205 58.0					

$$\Sigma \beta = 515 \text{ II},0$$

$$\Sigma d = 183,62$$

6.3. Вычисление координат точек теодолитного полигона

Вычисление координат точек замкнутого теодолитного хода включает ряд операций, выполняемых в определенной последовательности. Исходными данными для вычислений координат являются горизонтальные углы в вершинах полигона, дирекционный угол исходного направления и горизонтальные проекции сторон теодолитного хода (табл. 6.1).

Невязка в углах замкнутого теодолитного хода, мин:

$$f_{\beta} = \sum \beta_{и} - \sum \beta_{т}, \quad (6.6)$$

где $\sum \beta_{и}$ - сумма измеренных правых по ходу углов (сумма графы 2 табл. 6.3, град.; $\sum \beta_{т}$ - теоретическая сумма внутренних углов теодолитного хода, определенная из выражения

$$\sum \beta_{т} = 180^{\circ} (n-2), \quad (6.7)$$

где n - количество углов теодолитного хода.

f_{β} сравнивают с допустимой угловой невязкой $f_{\beta доп}$

$$f_{\beta} \leq f_{\beta доп} = 1' \sqrt{n}. \quad (6.8)$$

Если фактическая угловая невязка не превышает допускаемой, то в измеренные углы вводят поправки с обратным знаком невязки, которую определяют по формуле

$$\delta_{\beta} = -f_{\beta} / n. \quad (6.9)$$

Поправки распределяют таким образом, чтобы исправленные углы составляли до целых минут. Округленные до 0,1' поправки записывают в графу 3 табл. 6.3. Исправленные введением поправок углы записывают в графу 4 табл. 6.3. Контролем правильности увязки углов является равенство

$$\sum \beta_{ис} = \sum \beta_{т}, \quad (6.10)$$

где $\sum \beta_{ис}$ - сумма исправленных углов (сумма графы 4 табл. 6.3).

Дирекционные углы вычисляют по исходному дирекционному углу и исправленным значениям углов теодолитного хода

$$\alpha_{12} = \alpha_0 \pm 180^{\circ} - \beta_2^{ис}, \quad (6.11)$$

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} \pm 180^{\circ} - \beta_{n-1}^{ис}, \quad (6.12)$$

где α_0 - исходный дирекционный угол; α_n , α_{n-1} - дирекционный угол соответственно последующей и предыдущей стороны; $\beta_2^{ис}$ - исправленный угол при второй вершине; $\beta_{n-1}^{ис}$ - исправленный правый по ходу угол между предыдущей и последующей сторонами полигона; α'_{12} - дирекционный угол первого направления.

Таблица 6.3.

Ведомость вычисления координат точек теодолитного полигона

Но- мер то- чек	Измерен- ный угол,	Поп- рав- ка ,	Исправ- ленный угол, ,	Дирек- цион- ный угол	Румб		Горизон- тальное проложе- ние, м	Приращение координат, м								Координаты, м	
					Наз- ва- ние	о ,		Вычисленные				Исправленные					
								ΔX	ΔY	+	-	ΔX	+	ΔY	-		
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	19 32,5	-0,5	193 32	65 20	CB	65 20	65,16	+	27,19	+	59,21	+	27,19	+	59,22	2507,27	909,47
2	110 17,5	-0,5	110 17	135 03	DB	44 57	156,14	-	110,50	+	110,51	-	110,34	-	110,34	2534,46	968,69
3	94 32,0	-1,0	94 31	220 32	D3	40 32	50,21	-	46,00	-	38,48	-	45,00	-	38,47	2423,97	1079,03
4	172 55,0	-	172 55	227 37	D3	47 37	62,00	-	41,79	-	45,80	-	41,79	-	45,79	2378,97	1040,03
5	92 07,0	-	92 07	315 30	C3	44 30	119,16	+	84,99	-	83,52	+	83,50	-	83,50	2337,18	994,77
6	179 39,5	-0,5	179 39	315 51	C3	44 09	99,98	+	71,4	-	69,64	+	71,75	-	69,62	2422,18	911,27
7	56 59,0	-	56 59	78 52	CB	78 52	69,11	+	13,34	+	67,81	+	13,34	+	67,82	2493,93	841,65
I								+	197,26	+	237,33	+	197,29	+	237,38	2507,27	909,47
								-	197,29	-	237,44	-	197,29	-	237,38		

 $\Sigma \alpha = 630,78$

$$f_x = -0,03 \quad f_y = -0,11 \quad 0,00 \quad 0,00$$

$$\Sigma \beta_n = 900^{\circ}02,5 \quad \Sigma \beta_r = 900^{\circ}00$$

$$f_{\beta} = 900^{\circ}02,5 - 900^{\circ} = +2,5$$

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1,5\sqrt{n} = 1,5\sqrt{7} = \pm 3',96$$

$$f_{\alpha \text{ доп}} = \sqrt{(-0,03)^2 + (-0,11)^2} = \pm 0,11 \text{ м}$$

$$f_{\alpha \text{ доп}} = \frac{f}{\Sigma d/f_{\alpha \text{ доп}}} = \frac{1}{630,78/0,11} = \frac{1}{5734} < \frac{1}{2000}$$

Из дирекционного угла α_{n-1} вычитают 180° , если разность $\alpha_{n-1} - \beta_{n-1}^{MC}$ больше β_{n-1} . Если сумма $(\alpha_{n-1} + 180^\circ)$ меньше β_{n-1}^{MC} , к ней прибавляют 180° .

Дирекционные углы записывают в графу 5 табл. 6.3.

Контролем вычислений дирекционных углов замкнутого теодолитного хода является получение в конце расчетов дирекционного угла первого направления

$$\alpha_{12} = \alpha_n \pm 180^\circ - \beta_1^{MC}, \quad (6.13)$$

где α_n - дирекционный угол последней стороны хода; β_1^{MC} - исправленный угол при первой вершине полигона.

По дирекционным углам сторон теодолитного хода вычисляют румбы по формулам, приведенным в табл. 6.4.

Вычисленные румбы сторон теодолитного хода записывают в графу 7 табл. 6.3.

Таблица 6.4

Зависимость между румбами и дирекционными углами

Четверть	Дирекционный угол	Название румба	Румб
I	$0^\circ - 90^\circ$	СВ	z
II	$90^\circ - 180^\circ$	ЮВ	$z = 180^\circ - \alpha$
III	$180^\circ - 270^\circ$	ЮЗ	$z = \alpha - 180^\circ$
IV	$270^\circ - 360^\circ$	СЗ	$z = 360^\circ - \alpha$

Приращения координат определяют по горизонтальным проложениям сторон теодолитного хода и их румбам по таблицам (В.В.Баканова, Л.М.Фокин. Таблицы приращений координат. - М.: Недра, 1976 и др.) или рассчитывают по формулам, м:

$$\Delta x = d \cos z, \quad (6.14)$$

$$\Delta y = d \sin z, \quad (6.15)$$

где d - горизонтальные проложения линий, м; z - румбы сторон теодолитного хода.

Знаки приращений координат определяют в зависимости от названия румба (табл. 6.5).

Определяют невязки в соответствующих приращениях координат как геометрическую сумму граф 10 и 12 табл. 6.3, м:

$$f_x = \sum \Delta x, \quad (6.16)$$

$$f_y = \sum \Delta y. \quad (6.17)$$

Знаки приращений координат

Приращение	Название румба			
	СВ	ЮВ	ЮЗ	СЗ
Δx	+	-	-	+
Δy	+	+	-	-

Абсолютную невязку в полигоне определяют по формуле, м:

$$f_{абс} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}, \quad (6.18)$$

где f_x и f_y - невязки в соответствующих приращениях координат, м.
Вычисляют относительную невязку теодолитного хода

$$f_{отн} = f_{абс} / \sum d, \quad (6.19)$$

где $\sum d$ - сумма сторон замкнутого теодолитного хода (сумма графы 8 табл. 6.3), м.

Если относительная невязка теодолитного хода меньше допустимой

$$f_{отн} \leq f_{доп} = 1/2000, \quad (6.20)$$

то ее распределяют путем введения поправок в приращениях координат Δx и Δy . Поправки распределяют в приращениях координат с обратным знаком пропорционально длинам сторон, м:

$$\Delta f_x = -f_x d_i / \sum d, \quad (6.21)$$

$$\Delta f_y = -f_y d_i / \sum d. \quad (6.22)$$

Поправки, округленные до 0,01 м, записывают сверху вычисленных приращений координат (графы I0 и I2 табл. 6.3). Исправленные приращения координат записывают в графу I4 и I6 табл. 6.3.

Сумма исправленных приращений для замкнутого теодолитного хода (сумма граф I4 и I6 табл. 6.3) должна равняться нулю

$$\sum \Delta x_{ис} = 0, \quad (6.23)$$

$$\sum \Delta y_{ис} = 0. \quad (6.24)$$

Координаты вершин полигона определяют от начальной точки с известными координатами по формулам, м:

$$x_{n+1} = x_n + \Delta x_{ис}, \quad (6.25)$$

$$y_{n+1} = y_n + \Delta y_{ис}, \quad (6.26)$$

где x_n и y_n — координаты предыдущей точки, м; x_{n+1} и y_{n+1} — координаты последующей точки, м; $\Delta x_{ис}$ и $\Delta y_{ис}$ — исправление приращения координат, м.

Вычисленные координаты вершин полигона записывают в графу I7 и I8 табл. 6.3.

Контролем правильности вычисления координат замкнутого теодолитного хода является получение в конце расчетов координат начальной точки.

6.4. Вычисление координат точек диагонального хода

Исходными данными для вычислений координат являются измеренные правые по ходу горизонтальные углы (табл. 6.2), схема диагонального хода (рис. 6.1), горизонтальные проекции сторон хода (табл. 6.2), дирекционные углы сторон и координаты точек теодолитного полигона, к которым при-
 ывает разомкнутый теодолитный ход (табл. 6.3).

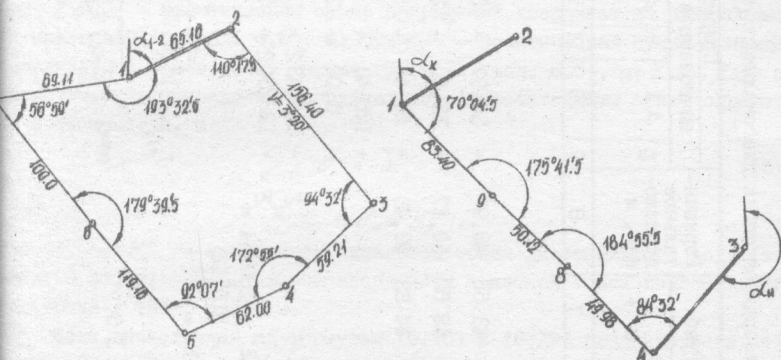


Рис. 6.1. Схемы теодолитных ходов: а) замкнутый полигон; б) разомкнутый диагональный ход

Угловую невязку диагонального хода определяют сравнением сумм измеренных углов (сумма графы 2 табл. 6.6) с их теоретической суммой, вычисляемой по формуле

$$\Sigma \beta_T = \alpha_n - \alpha_k + 180^\circ n, \quad (6.27)$$

где α_n — начальный дирекционный угол; α_k — конечный дирекционный угол; n — количество измеренных углов диагонального хода с учетом замыкающих.

$\Sigma \beta_T$ будет получена при $\alpha_n < \alpha_k$. Если $\alpha_n > \alpha_k$, то из значения, полученного по формуле (6.27), необходимо вычесть 360° .

Таблица 6.6

Ведомость вычисления координат точек диагонального теодолитного хода

Но- мер точ- ек	Измерен- ный угол, о ,	Поп- рав- ка	Исправ- ленный угол, о ,	Дирек- цион- ный угол, о ,	Румб		Горизон- тальное проложе- ние, м	Приращение координат, м						Координаты, м			
					Наз- ва- ние	о ,		вычисленное		исправленное				X	Y		
								+	-	ΔX	ΔY	+	ΔX			ΔY	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

3				220 32													
4	84 30	-	84 30	316 02	C3	43 58	49,97	+	35,97	-	34,69	+	35,93	-	34,71		2378,07 1040,56
8	184 53	+1	184 54	311 08	C3	48 52	50,17	+	33,00	-	37,79	+	32,96	-	37,81		2414,90 1005,85
9	175 41	-	175 41	315 27	C3	44 33	83,43	+	59,46	-	58,53	+	59,41	-	58,57		2447,86 968,04
10	70 07	-	70 07	65 20				+	128,43	+	0,00	+	128,30	+	0,00		2507,27 909,47
								-	0,00	-	131,01	-	0,00	-	131,09		

$$Z/\beta_n = 515^{\circ}11'$$

$$\begin{aligned} Z/\beta_7 &= \alpha_n - \alpha_n' + 180^\circ = 220^{\circ}32' + 180^{\circ}44' = 65^{\circ}32' \\ &= 155^{\circ}12' + 720^{\circ} = 975^{\circ}12' - 360^{\circ} = 515^{\circ}12' \\ f_\beta &= 515^{\circ}11' - 515^{\circ}12' = -1' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z &= +128,43 \sum = -131,01 + 128,30 = -131,00 \\ Z &= +128,30 \sum = -131,09 \end{aligned}$$

$$f_x = +0,13; \quad 0,00 \quad 0,00$$

$$f_{\sigma \delta c} = \sqrt{(0,13)^2 + (0,08)^2} = \pm 0,15$$

$$f_{\sigma \delta c} = \frac{f}{Z \cdot d / f_{\sigma \delta c}} = \frac{1}{188,63 / 0,15} = \frac{1}{1224} < \frac{1}{1000}$$

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1', 5 \sqrt{n} = 1,5 \times \sqrt{4} = \pm 3$$

Если угловая невязка диагонального хода

$$f_{\beta} = \sum \beta_n - \sum \beta_r \quad (6.28)$$

не превышает допустимую, определяемую по формуле

$$f_{\beta \text{ доп}} = 1,5 \sqrt{n}, \quad (6.29)$$

то ее распределяют так, как это делалось для замкнутого теодолитного хода. Сумма исправленных углов диагонального хода должна равняться их теоретической сумме.

Вычисление дирекционных углов, румбов и приращений координат диагонального хода выполняется по правилам и формулам для замкнутого теодолитного хода.

Невязки в приращениях координат, м:

$$f_x = \sum \Delta x_n - \sum \Delta x_r, \quad (6.30)$$

$$f_y = \sum \Delta y_n - \sum \Delta y_r, \quad (6.31)$$

где $\sum \Delta x_n$ — практическая сумма приращений координат по оси абсцисс (сумма графы 10 табл. 6.6), м; $\sum \Delta y_n$ — практическая сумма приращений координат по оси ординат (сумма графы 12 табл. 6.6), м; $\sum \Delta x_r, \sum \Delta y_r$ — суммы теоретические приращений координат по соответствующим осям, определяемые по зависимостям, м:

$$\sum \Delta x_r = x_n - x_n, \quad (6.32)$$

$$\sum \Delta y_r = y_n - y_n, \quad (6.33)$$

где x_n, y_n — координаты начальной точки диагонального хода (точки 4 табл. 6.3), м; x_n, y_n — координаты конечной точки диагонального хода (точки 1 табл. 6.3), м.

Если вычисленная по формулам (6.18) и (6.19) относительная невязка в приращениях координат диагонального хода не превышает 1:1000, то невязки f_x и f_y распределяют введением поправок в приращения пропорционально длинам линий.

Исправленные приращения координат записывают в графы 14 и 16 табл. 6.6.

Координаты точек вершин диагонального хода вычисляют по зависимостям (6.25) и (6.26). Исходными координатами являются координаты точки 4 замкнутого хода (графы 17 и 18 табл. 6.3).

Контролем правильности вычисления координат точек диагонального хода является получение в конце расчетов координат точки 1 замкнутого теодолитного хода (графы 17 и 18 табл. 6.3).

6.5. Построение точек планового обоснования

Исходными данными для построения точек планового обоснования являются координаты вершин теодолитного хода (табл. 6.3 и 6.6). План составляется в масштабе 1:1000. Работу начинают с построения координатной сетки.

Построению координатной сетки предшествуют расчеты по определению размеров плана полигона и размеров листа чертежа для составления плана и размещению осей координат. Размер полигона с севера на юг (сверху вниз) определяют как разность наибольшей и наименьшей абсцисс, м:

$$X_{пл} = (X_{max} - X_{min}) / m \quad (6.34)$$

и размер плана с запада на восток (слева направо) – как разность наибольшей и наименьшей ординат точек планово-высотного обоснования, м:

$$Y_{пл} = (Y_{max} - Y_{min}) / m, \quad (6.35)$$

где X_{max} , Y_{max} – наибольшие значения координат вершин замкнутого теодолитного хода (графы I7 и I8 табл. 6.3), м; X_{min} , Y_{min} – наименьшие значения координат вершин замкнутого теодолитного хода (графы I7 и I8 табл. 6.3), м; m – число метров по местности, соответствующее 1 см на плане согласно масштабу (для масштаба 1:1000 – 10 м).

Для симметричного расположения плана на листе определяют расстояния крайних точек плана от краев листа и местоположения оси абсцисс относительно левого края листа и оси ординат относительно нижнего края листа (рис. 6.2).

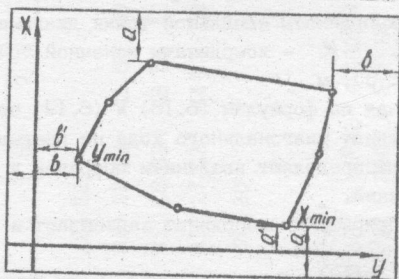


Рис. 6.2. Схема определения расстояний до крайних точек плана от края листа и местоположения осей координат

Расстояние от верхнего и нижнего краев листа до самой верхней и нижней точек плана, см:

$$a = (x_{\lambda} - x_{\mu})/2, \quad (6.36)$$

а расстояние от боковых краев листа до самой левой и правой точек плана, м:

$$b = (y_{\lambda} - y_{\mu})/2, \quad (6.37)$$

где x_{λ} и y_{λ} — соответственно ширина и длина листа бумаги, см.

Положение оси абсцисс относительно самой левой точки (западной) полигона устанавливается по зависимости, см:

$$b' = (y_{\min} - y_c)/m, \quad (6.38)$$

где y_c — принятое минимальное значение ординаты координатной сетки (в примере равно 800 м), м.

Положение оси ординат от нижнего края листа будет на расстоянии, см:

$$a' = (x_c - x_{\min})/m, \quad (6.39)$$

где x_c — принятое минимальное значение абсциссы координатной сетки (в примере равно 2300 м), м.

В зависимости от размеров плана и возможностей координатную сетку строят с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки или линейки Ф.В.Дробышева. Координатную сетку строят со сторонами 10х10 см. При небольших размерах планов (менее 50х50 см) ее строят с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки. Порядок построения следующий.

На листе бумаги выбранного размера проводят оси абсцисс на расстоянии, определенном по формуле (6.38) (рис. 6.3, а). От нижнего края листа на оси абсцисс откладывают расстояние a' (формула 6.39), получают точку Д. Под произвольным углом проводят две прямые линии так, чтобы одна из них обязательно проходила через точку Д. С точки пересечения прямых, как на диагоналях, строят прямоугольник, откладывая с точки О отрезки ОВ, равные отрезкам ОД и ОА.

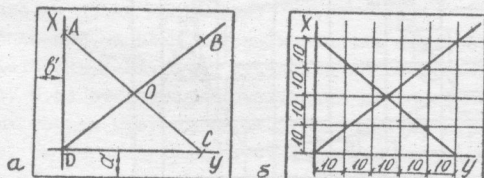


Рис. 6.3. Построение координатной сетки: а) построение большого прямоугольника; б) построение квадратов со стороной 10х10 см

На сторонах полученного прямоугольника ABCD от его вершины D в заданном масштабе с помощью масштабной линейки откладывают отрезки, равные стороне квадрата сетки (10 см). Через соответствующие точки противоположных сторон остро отточенным карандашом прочерчивают линии координатной сетки (рис. 6.3,б).

Контроль правильности построения квадратов координатной сетки осуществляется:

а) укладкой линейки по диагоналям малых квадратов (рис. 6.4,а) устанавливают наличие треугольников погрешности (рис. 6.4,а);

б) циркулем-измерителем проверяют равенство диагоналей всех квадратов (рис. 6.4,б). Ошибка не должна превышать 0,2 мм. Если расхождения превышают допустимые; координатная сетка строится заново.

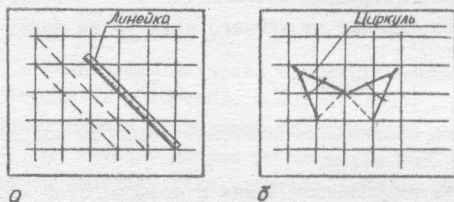


Рис. 6.4. Проверка правильности построения координатной сетки: а) по треугольникам погрешностей; б) по диагоналям квадратов

Для накладки точек теодолитного хода координатную сетку подписывают так, чтобы весь ход разместился в средней части листа (рис. 6.5). Вершины полигона на координатную сетку наносятся по их вычисленным координатам (табл. 6.3 и 6.6, графы I7 и I8) с помощью циркуля-измерителя и масштабной линейки.

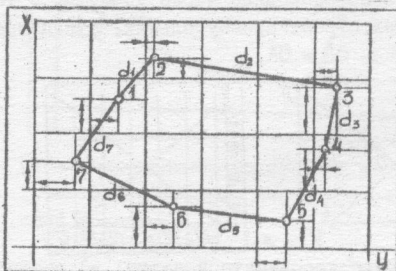


Рис. 6.5. Накладка вершин полигона на координатную сетку

Построение начинают с определения квадрата, в котором расположена данная вершина полигона. Затем определяют, насколько выше и правее относительно левого угла квадрата расположена вершина полигона (например $Y = 994,77$, $X = 2337,18$, значит точка расположена выше на $37,18$ и правее на $94,77$ м от вершины 900×2300). От линий координатной сетки откладывают соответствующие расстояния ($94,77$ и $37,18$ м) и в принятом масштабе проводят линии, параллельные осям абсцисс и ординат (рис. 6.5). Точка пересечения этих линий – искомая. Полученную таким образом точку намечают слабым насколом иглы циркуля-измерителя, обводят кружком $I,5$ мм подписывают ее номер согласно ведомости вычисления координат вершин полигона. В данной последовательности строят все точки замкнутого и диагонального ходов.

Правильность накладки вершин полигона на координатную сетку контролируют измерением на плане расстояний между смежными точками (графа II табл. 6.1 и 6.2). Расхождения в длинах сторон теодолитных ходов не должны превышать $0,2$ мм в масштабе составляемого плана.

Ситуацию участка местности на план (рис. 6.6) наносят по материалам абрисов (рис. 6.7–6.9) в масштабе плана. Способ построения контуров на плане идентичен способу их съемки на местности. Нанесение на план ситуации участка местности выполняют с помощью транспорта, масштабной линейки и циркуля-измерителя.

При построении контуров способом полярных координат (сторона I–II) центр транспорта совмещают с вершиной хода, а ноль транспорта – с направлением на предыдущую точку теодолитного хода. Строят углы, измеренные теодолитом при визировании на контурные точки местности (рис. 6.6). На построенных направлениях на контурные точки откладывают в масштабе плана расстояния, указанные в абрисе. Соединив точки, получают положение контуров на плане.

Для построения точек местности способом угловых засечек (сторона УШ–IX) транспортом в вершинах опорных сторон откладывают углы, указанные в абрисе (рис. 6.7). Точка пересечения сторон построенных углов – искомая точка на плане местности.

При нанесении на план ситуации участка местности способом перпендикуляров (сторона V–VI, VII–VIII) от начала опорной линии согласно данным абриса (рис. 6.8) откладывают расстояния до оснований перпендикуляров. В полученных точках треугольником строят линии, перпендикулярные опорной стороне. На перпендикулярах откладывают расстояния до контуров, указанные в абрисе. Соединив построенные на перпендикулярах точки, получают местоположение контуров на плане.

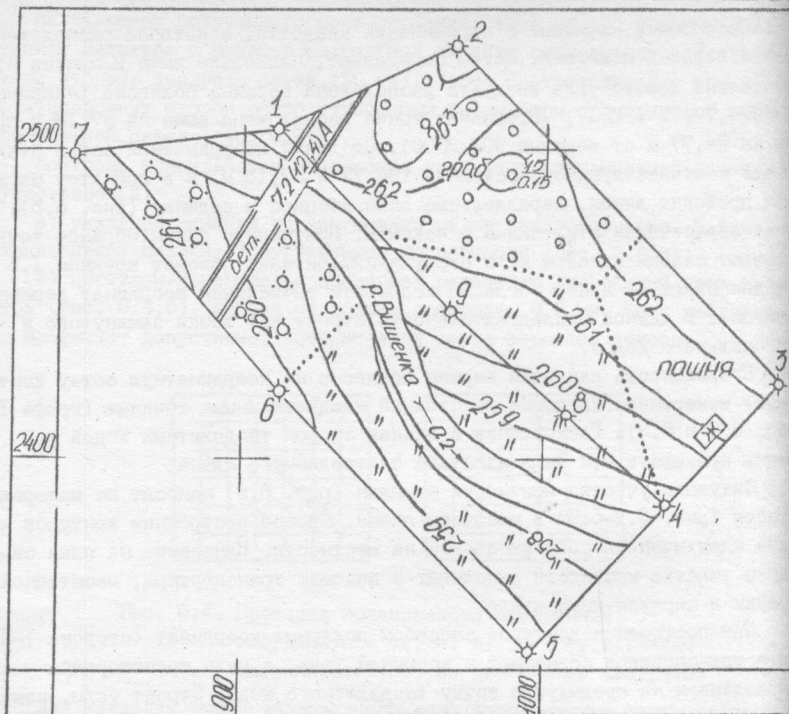


Рис. 6.6. План топографической съемки

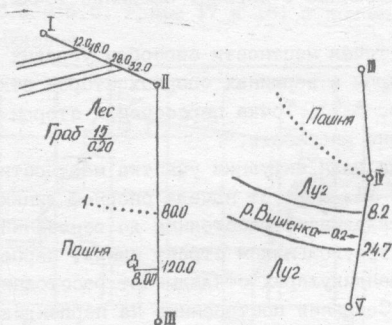


Рис. 6.7. Абрисы сторон I-III и III-V

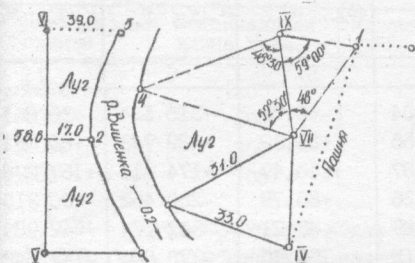


Рис. 6.8. Абрисы сторон
Y-VI и IV-VII-IX

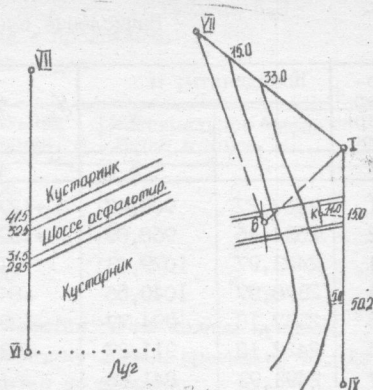


Рис. 6.9. Абрисы сторон
VI-VII и VII-I-IX

Для построения точек местности способом линейных засечек (стороны IV-VIII) циркулем-измерителем с опорных точек прочерчивают дуги радиусами, равными расстояниям от опорных точек до контура (рис. 6.7). Точка пересечения будет являться искомой контурной точкой на плане.

Ситуация участка местности на топографический план наносится условными знаками.

Площадь замкнутого полигона вычисляют по координатам его вершин по зависимостям, м²:

$$S = 0,5 \sum x_n (y_{n+1} - y_{n-1}), \quad (6.40)$$

$$S = 0,5 \sum y_n (x_{n+1} - x_{n-1}), \quad (6.41)$$

где x_n, y_n - координаты вершин замкнутого полигона, м; x_{n-1}, y_{n-1} , x_{n+1}, y_{n+1} - координаты соответственно предыдущей или последующей вершин теодолитного хода, м.

Все расчеты по определению площадей выполняются в табличной форме (табл. 6.7). Площади, полученные по формулам (6.40) и (6.41) должны быть равны между собой.

Вычисление площади многоугольника

Но- мер вер- шин	Координаты, м		$y_{n+1} - y_{n-1}$	$x_{n+1} - x_{n-1}$	$x_n(y_{n+1} - y_{n-1})$	$y_n(x_{n+1} - x_{n-1})$
	X	y				
1	2	3	4	5	6	7
1	2507,27	909,47	+127,04	-40,53	+318 524	-36 861
2	2534,46	968,69	+169,56	+83,30	+429 743	+80 692
3	2423,97	1079,03	+71,87	+155,49	+174 211	+167 778
4	2378,97	1040,56	-84,26	+86,79	-200 452	+90 310
5	2337,18	994,77	-129,29	-43,21	-302 174	-42 984
6	2422,18	911,27	-153,12	-156,75	-370 884	-142 842
7	2493,93	841,65	- 1,80	-85,09	-4 489	-71 616
			+368,47	+325,58	+992 478	+538 780
			+368,47	-325,58	-877 999	-294 303
			0,00	0,00	+44 479	+44 477

$$S = 44\,478/2 = 22239 \text{ м}^2 = 2,224 \text{ га}$$

6.6. Полевые работы при тахеометрической съемке

Тахеометрическая съемка бывает маршрутная и площадная и осуществляется путем проложения теодолитных ходов с измерением горизонтальных и вертикальных углов, определением расстояний с помощью дальномеров и съемкой ситуации и рельефа полярным способом. Тахеометрическая съемка производится преимущественно тахеометрами и в отдельных случаях теодолитами. При съемке применяются тахеометр электрооптической ТЭ, тахеометр с авторедукционным дальномером двойного изображения ТД, тахеометр номограммный ТН и тахеометр внутрибазный ТВ.

Съемочным обоснованием служат теодолитно-нивелирные и теодолитно-тахеометрические ходы, которые прокладывают между пунктами опорной сети. Создание съемочного обоснования осуществляется одновременно со съемкой ситуации и рельефа. Плотность пунктов съемочного обоснования должна обеспечивать возможность проложения тахеометрических ходов, отвечающих техническим требованиям (табл. 6.8).

Таблица 6.8

Технические требования к проложению
тахеометрических ходов

Масштаб съемки	Максимальная длина хода, м	Максимальная длина линии, м	Максимальное число линий в ходе
I:5000	1200	300	6
I:2000	600	200	5
I:1000	300	150	3
I:500	100	100	2

Углы в тахеометрических ходах измеряются одним полным приемом. Колебания угла, полученные из полуприемов, не должны превышать 1'. Допустимые линейные невязки M определяются по формуле

$$f_s = S / 400 \sqrt{n}, \quad (6.42)$$

где S — длина хода, м; n — число линий в ходе.

Высотная невязка не должна превышать, см:

$$f_n = 0,04 S / \sqrt{n}. \quad (6.43)$$

При тахеометрической съемке определяется положение всех характерных точек ситуации и рельефа, позволяющих изобразить на плане контуры ситуации и горизонтали рельефа с установленной для масштаба съемки точностью. По назначению и точности пикеты (реечные точки) различаются на контурные, высотные, выбираемые в характерных точках рельефа, и контурно-высотные. Реечные точки должны без пропусков и равномерно покрывать территорию съемки. В среднем по норме одна реечная точка должна приходиться на 1 см² плана, если местность имеет средние условия. Для обеспечения этого требования производится детальный осмотр местности, подлежащей съемке с данной станции. Выбор реечных точек и определение необходимого и достаточного их числа зависит от масштаба съемки, высоты сечения рельефа и сложности местности (табл. 6.9).

Контурные пикеты стараются выбирать на изломах контуров, чтобы между соседними пикетами контур представлял собой прямую линию. Если размер местного предмета невелик и его нельзя изобразить на плане масштабным условным знаком, то рейку устанавливают у основания местного предмета (дерева, столба, колодца и др.). Пикеты выбирают также на всех характерных точках и линиях рельефа, а именно: на вершинах и подошвах холмов, дне и бровках котловин и оврагов, водоразделах и водосборах, седле инах и перегибах скатов.

Необходимые условия для выбора
определения речных точек

Масштаб съемки	Высота сечения релье- фа, м	Максимальное расстояние между пике- тами, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки, м	
			при съемке рельефа	при съемке контуров
I:5000	0,5	60	250	150
	1,0	80	300	150
	2,0	100	350	150
	5,0	120	350	150
I:2000	0,5	40	200	100
	1,0	40	250	100
	2,0	50	250	100
I:1000	0,5	20	150	80
	1,0	30	200	80
I:500	0,5	15	100	60
	1,0	15	150	60

Съемку пикетов осуществляют в такой последовательности. Устанавливают над точкой съемочного обоснования прибор и приводят его в рабочее положение. Точность центрирования 3...10 см в зависимости от масштаба съемки. Определяют место нуля вертикального круга теодолита, которое должно находиться в пределах $0^{\circ} \pm 2'$. Измеряют высоту инструмента с точностью до 1 см и откладывают ее на дальномерной рейке. При работе теодолитом ТЗ0 ориентируют лимб горизонтального круга по стороне съемочного обоснования при круге лево. Для этого совмещают нуль лимба с нулем алидады горизонтального круга, вращением лимба визируют на переднюю точку съемочного обоснования и закрепляют лимб. Лимб тахеометра может быть ориентирован по дирекционному углу. Вращением алидады по ходу часовой стрелки наводят трубу прибора на рейку, установленную на пикете. Для удобства вычислений верхнюю нить дальномера наводят вращением зрительной трубы на отсчет по рейке 1000. Берут отсчеты сначала по дальномеру, а затем по горизонтальному кругу. Проверяют наличие пузырька уровня в нуль-пункте. Для использования сокращенной формулы тригонометрического нивелирования наводят среднюю нить сетки с отсчетом по рейке, равным высоте инструмента, которая отмечена меткой на рейке. Берут отсчет по вертикальному кругу. По окончании взятия отсчетов

ставят рейку на следующем пикете и все операции повторяют в предыдущей последовательности. По окончании работ на точке должна быть проверена ориентировка прибора. Изменение ориентирования за период съемки с данной точки допускается не более $1,5'$. Результаты измерений записываются в журнал тахеометрической съемки (табл. 6.10). Все записи должны быть выполнены карандашом аккуратно, четко и разборчиво, чтобы ими можно было легко пользоваться при камеральной обработке.

Таблица 6.10
Журнал тахеометрической съемки

аблю- ваемая точка	Отсчет			Угол накло- на $\angle$	Гори- зон- таль- ное рас- стоя- ние d	h'	Высо- та визи- рова- ния ℓ , м	Превыше- ние h , м	Высота H , м
	по рей- ке	по го- ризон- тально- му кру- гу	по вер- тикаль- ному кругу						

Станция I; $J = 1,43$ м; $MO = 1'$; $H_{cr} = 262,47$ м

I	52,5	$7^{\circ}32'$	$0^{\circ}47'$	$+0^{\circ}46'$	52,5	+0,70	1,43	+0,70	263,17
2	36,2	$9^{\circ}14'$	$2^{\circ}15'$	$+2^{\circ}14'$	36,1	+0,71	1,43	+0,71	263,18
3	66,4	$19^{\circ}08'$	$0^{\circ}58'$	$+0^{\circ}57'$	66,4	+0,50	1,43	+0,50	262,91
4	49,7	$26^{\circ}37'$	$2^{\circ}27'$	$+2^{\circ}26'$	49,6	+1,05	1,43	+1,05	263,52
5	78,3	$27^{\circ}04'$	$359^{\circ}23'$	$-0^{\circ}38'$	78,3	-0,87	1,43	-0,87	261,60
6	61,2	$33^{\circ}18'$	$0^{\circ}47'$	$+0^{\circ}46'$	61,2	+0,82	1,43	+0,82	263,29
7	79,4	$37^{\circ}26'$	$359^{\circ}12'$	$+0^{\circ}49'$	79,3	-1,12	1,43	-1,12	261,35
8	32,3	$39^{\circ}14'$	$2^{\circ}15'$	$+2^{\circ}14'$	32,2	+1,25	1,43	+1,25	263,72
9	53,1	$42^{\circ}54'$	$359^{\circ}30'$	$-0^{\circ}31'$	53,1	-0,48	1,43	-0,48	261,99
10	21,3	$44^{\circ}37'$	$357^{\circ}54'$	$-2^{\circ}07'$	21,2	-0,78	1,43	-0,78	261,69
г.П	-	$0^{\circ}01'$	-	-	-	-	-	-	-

Станция III, $J = 1,47$ $MO=1'$, $H_{cr} = 264,06$

II	16,8	$5^{\circ}12'$	$359^{\circ}21'$	$-0^{\circ}40'$	16,8	-0,24	1,47	-0,24	263,82
12	27,3	$6^{\circ}29'$	$358^{\circ}47'$	$-1^{\circ}14'$	27,2	-1,17	1,47	-1,17	262,89

Параллельно с выбором и съемкой речных точек на каждой станции ведется абрис, т.е. схематический чертеж расположения речных точек относительно точек съемочного обоснования. Абрисы оформляют условными знаками с пояснительными надписями, приблизительно выдерживая масштаб съемки, и зарисовывают все пикетажные точки. При этом показывают структурные линии рельефа (талвеги, водоразделы, перегибы скатов и др.) и

схематично горизонталями рельеф. Стрелками указывают направления основных скатов местности между характерными перегибами. При необходимости от речных точек рулеткой промеряют ширину дорог, тротуаров, промоин, ям и т.д. и показывают результаты промеров на абрисе и краткими пояснениями.

6.7. Камеральная обработка результатов тахеометрической съемки

Камеральная обработка материалов съемки включает проверку полевых материалов, вычисление высот всех пикетов на станции, накладку пикетных точек на план, проведение горизонталей и нанесение ситуации.

Расстояние, измеренное нитяным дальномером

$$D' = K'n - C, \quad (6.44)$$

где K' — коэффициент нитяного дальномера; n — разность отсчетов;
 C — постоянная дальномера.

Горизонтальное расстояние от станции до пикетных точек

$$d = D' \cos^2 V, \quad (6.45)$$

где угол наклона

$$V = L - MO, \quad (6.46)$$

L — отсчет по вертикальному кругу „лево“.

Полученное значение горизонтального расстояния округляют до 0,1 м.

Превышения между станцией и речными точками вычисляют по формуле

$$h = h' + J - \ell, \quad (6.47)$$

где J — высота инструмента; ℓ — визирования,

$$h' = 0,5 d \sin 2V. \quad (6.48)$$

Находят отметки речных точек

$$H_p = H_{cm} + h_p, \quad (6.49)$$

где H_{cm} — отметка станции, м.

Вычисленные отметки речных точек округляют до 0,01 м. Все расчеты ведут в табличной форме (табл. 6.9) с помощью микрокалькулятора.

Речные точки наносят на план (рис. 6.6) полярным способом по данным журнала тахеометрической съемки (табл. 6.10), отсчету по горизонтальному кругу (графа 3) и горизонтальному расстоянию (графа 6). При построении используют транспортир, циркуль-измеритель и масштабную линейку. Перед построением речных точек учитывают ориентирование инструмента на каждую станцию. Транспортир прикладывают центром к той стан-

и, с которой эти точки снимались (ст. I). Нулевым диаметром транспортир совмещают с линией, по которой проводилось ориентирование лимба водолита (ст. II). Откладывают по транспортиру значение горизонтального угла на речную точку ($\beta_1 = 70^{\circ}32'$). На полученном направлении циркулем-измерителем в масштабе плана откладывают горизонтальное проложение от данной речной точки ($d_1 = 52,5$ м). Последнюю обводят кружком диаметром 1 мм и обозначают дробью, в числителе которой номер точки (I), в знаменателе — отметка (263,17). Подпись располагают справа от точки. Аналогично выполняют построение всех речных точек. Для исключения грубых ошибок, положение построенных речных точек на плане сверяют с изображением на абрисе. Показанные на абрисе стрелками (рис. 6.10) направления однородных склонов должны соответствовать отметкам речных точек.

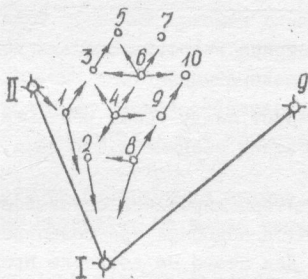


Рис. 6.10. Абрис тахеометрической съемки

Построив речные точки, на план с абриса переносят линии водоразделов и тальвеги, а также направления однородных склонов. Рельеф местности изображают горизонталями с отметками, кратными высоте сечения рельефа. Положение горизонталей определяют интерполированием между точками, находящимися на однородном скате, и имеющими одинаковую высоту. Интерполирование осуществляют аналитическим и графическим способами.

Сущность аналитического способа состоит в том, что по известным отметкам речных точек на плане между ними определяют положение в плане точек с отметками, высота которых кратна принятой высоте сечения (при масштабе съемки 1:1000 $h_c = 0,5$ м). В соответствии с геометрической сущностью аналитического интерполирования (рис. 6.11) местоположение горизонталей в плане

$$d_1 = \Delta h (H_1 - H_2) / d, \quad (6.50)$$

где Δh - разность между отметкой речных точек и горизонталью; H_1 , H_2 - отметки соседних речных точек, между которыми осуществляется интерполирование; d - расстояние между соседними речными точками.

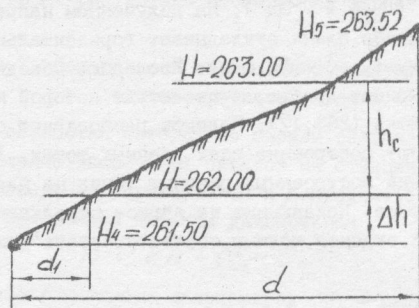


Рис. 6.II. Геометрическая сущность аналитического интерполирования

Аналогично интерполируют между всеми речными точками, которые в абрисе тахеометрической съемки соединены стрелкой, указывающей направление ската.

Графический способ интерполирования основывается на формуле (6.50) пропорциональности элементов подобных треугольников. Для интерполирования применяют палетку. Для этого на восковке проводят параллельные прямые с произвольными, но равными интервалами 5...10 мм и подписывают их значениями отметок, кратными высоте сечения рельефа от самой малой до самой большой. При интерполировании (рис. 6.I2) между точками палетку накладывают на план так, чтобы одна из точек (А) заняла положение между параллельными линиями восковки соответственно своей отметке (261.50). Осторожно прокалывают восковку в намеченной точке. Удерживая иглы измерителя в этой точке, поворачивают восковку вокруг иглы до тех пор, пока вторая точка (В), видимая через восковку, займет положение, соответствующее ее отметке (263.52). Закрепляют палетку в этом положении иглой циркуля-измерителя и перекалывают на план точки пересечения параллельных линий палетки с линией, соединяющей речные точки на абрисе, находящиеся на одной стороне ската. Точки подписывают их отметками, которые равны отметкам соответствующих параллельных линий на палетке. Аналогично осуществляют интерполирование между всеми речными точками.

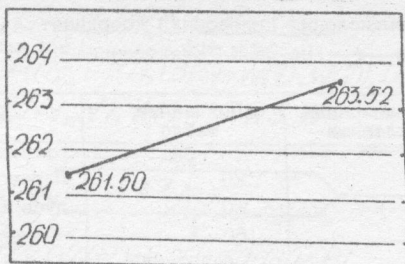


Рис. 6.12. Графическое интерполирование
с помощью палетки

Точки с одинаковыми отметками, которые получены в результате интерполирования, соединяют плавными кривыми линиями и получают горизонтали. Отметки последних подписывают в разрывах линий так, чтобы основание цифр было обращено в сторону понижения ската местности. Горизонтали с отметками, кратными десяти сечениям рельефа, утолщают в 5 раза. На замкнутых горизонталях и в направлениях характерных линий ставят бергштрихи.

Через контуры построек поверхности дворов и дорог, покрытых асфальтом, горизонтали не проводят. На плане выписывают отметки откосов и углов зданий.

Результаты вычерчивания рельефа горизонталями проверяют непосредственно на местности.

Все элементы ситуации и рельеф местности оформляют руководствуясь условными знаками для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. Горизонтали вычерчивают и подписывают коричневой тушью толщиной линий 0,1 мм. Высоту точек съемочного обоснования, речных чек указывают черной тушью. Линию уреза в реке проводят зеленой тушью. Рамку плана и все остальные условные знаки и надписи выполняют черной тушью.

6.8. Вычислительная обработка результатов измерений на ЭВМ

Применение ЭВМ позволяет значительно ускорить, облегчить и увеличить точность вычисления координат теодолитного хода. Расчетам на ЭВМ способствует разработка алгоритмов и программ решения инженерно-геодезических задач.

Пример вычисления приращений координат Δx для замкнутого теодолитного хода на ЭВМ "Электроника МК-51" представлен в табл. 6.11.

Порядок вычисления приращений координат Δx
и невязки f_x на ЭКВМ "Электроника МК-5I"

Набор числа на клавиатуре	Операционные клавиши	Показания табло	Примечания
20		20	Перевод минут в градусы ($65^{\circ}20'$)
	+	20	
60		60	
	-	0,3333333	
	+	0,3333333	
65		65	
	-	65,333333	Вычисления $\cos 65^{\circ}20'$
	F	65,333333	
	cos	0,417339	
	x	0,417339	Вычисления Δx ,
65,16		65,16	
	-	27,193809	
	F, П+	27,193809	Запись в память
	зап	27,193809	
	C	0	Сбросить регистр C

и т.д.

При расчетах необходимо учитывать следующее.

1. Если знак приращений координат Δx равен (+), то нажимать операционный клавиш (П+), если знак Δx равен (-), нажимать клавиш (П-).

2. Приращение Δy считают аналогично, только нажимать операционный клавиш (F, sin).

3. Аналогично вычисляются приращения координат по остальным сторонам теодолитного хода.

4. По окончании расчетов для получения невязки f_x или f_y нажат операционные клавиши F, ПИ.

Координаты точек на ЭВМ вычисляются в соответствии с алгоритмом, точно и полно определяющим последовательность вычислительного процесса по математической модели. Укрупненная блок-схема алгоритма вычисления координат точек теодолитного хода показана на рис. 6.13.

Каждый из блоков имеет определенное смысловое значение и отражает этапы вычисления координат точек теодолитного хода. Внутри каждого блока приводится краткое содержание этапа вычислений, и все они связаны между собой стрелками, указывающими последовательность решения задачи.

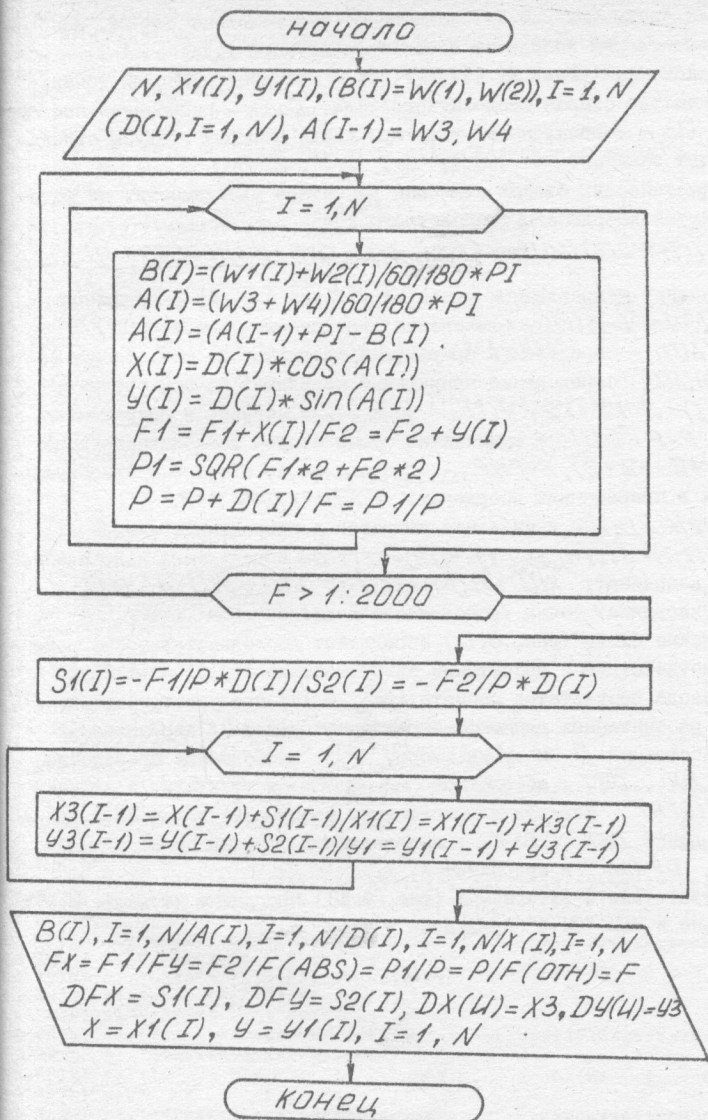


Рис. 6.13. Блок-схема алгоритма вычисления координат точек теодолитного хода

В блоке вводы (рис. 6.13) записывают все исходные данные, необходимые для вычислений координат точек теодолитного хода; $A(I-I)$ - исходный дирекционный угол; $XI(I)$, $YI(I)$ - координаты первой точки; N - количество сторон теодолитного хода; $D(I)$ - горизонтальные проложения; $B(I)$ - исправленные углы, при вводе которых градусы отделяются от минут запятой.

В арифметических блоках записаны расчетные зависимости, по которым вычисляются координаты теодолитного хода:

$$B(I) = (W1(I) + W2(I)) / 60 / 180 * \pi; A(I) = (W3 + W4) / 60 / 180 * \pi -$$

перевод значений исправленных углов из угловой системы в радианную;
 $A(I) = (A(I-1) + \pi - B(I))$ - вычисление дирекционных углов; $X(I) = D(I) * \cos(A(I))$ - определение приращений координат по оси абсцисс;
 $Y(I) = D(I) * \sin(A(I))$ - определение приращений координат по оси ординат;
 $F1 = F1 + X(I)$, $F2 = F2 + Y(I)$ - вычисление невязок в приращениях координат; $P = P + D(I)$ - вычисление суммы сторон теодолитного хода;
 $P1 = \sqrt{F1^2 + F2^2}$, $F = P1 / P$ - определение абсолютной и относительной невязок в приращениях координат; $S1(I) = -F1 / P * D(I)$,
 $S2(I) = -F2 / P * D(I)$ - вычисление поправок в приращениях координат;
 $X3(I-1) = X(I-1) + S1(I-1)$, $Y3(I-1) = Y(I-1) + S2(I-1)$ - определение исправленных приращений координат; $X1(I) = X1(I-1) + X3(I-1)$, $Y1(I) = Y1(I-1) + Y3(I-1)$ - вычисление координат точек теодолитного хода.

Логические блоки (рис. 6.13) определяют последовательность решения задачи в соответствии с расчетными зависимостями (6.11) - (6.26).

Блок ввода результатов расчета (рис. 6.13) предусматривает печать исходных и рассчитанных данных; исправленных углов B ; дирекционных углов A ; расстояний D и суммы сторон P , вычисленных приращений координат DX , DY ; абсолютных FX , FY и $F(ABS)$ и относительной $F(OTH)$ невязок в приращениях координат; поправок в приращениях координат DFX , DFY ; исправленных приращений координат $DX(U)$, $DY(U)$ и координат X , Y .

В соответствии с алгоритмом (рис. 6.13) программа на языке Бейсик применительно к ЭВМ "СМ-4" приведена в табл. 6.12.


```

4 REM -----
5 REM ПРОГРАММА ВЫЧИСЛЕНИЯ КООРДИНАТ ВЕРШИН ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА
6 REM ПО КУРСУ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ.
7 REM -----
10 OPEN 'SY:ZANU' FOR OUTPUT AS FILE #1
20 PRINT 'ВВЕДИТЕ КОЛ-ВО ТОЧЕК' \ INPUT N
30 PRINT 'ВВЕДИТЕ КООРДИНАТЫ X(1),Y(1)' \ INPUT X1(1),Y1(1)
50 PRINT 'ВВЕДИТЕ ИСПРАВЛЕННЫЕ УГЛЫ В(1),ГРАДУСЫ ОТДЕЛЯЙТЕ'
59 PRINT 'ОТ МИНУТ ЗАПЯТОМ (ГРАД.,МИН. <ВК>)'
60 FOR I=1 TO N
65 PRINT 'B('I')' \ INPUT W1(I),W2(I)
70 B(I)=(W1(I)+W2(I)/60)/180*PI
75 NEXT I
77 PRINT 'ВВЕДИТЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ПРОЛОЖЕНИЯ D(I)'
80 FOR I=1 TO N \ INPUT D(I) \ NEXT I
85 PRINT 'ВВЕДИТЕ ДИРЕКЦИОННЫЙ УГОЛ МЕЖДУ 1-ОЙ И 2-ОЙ ТОЧКОЙ,'
86 PRINT 'ГРАДУСЫ ОТДЕЛЯЙТЕ ОТ МИНУТ ЗАПЯТОМ (ГРАД.,МИН. <ВК>).'
88 INPUT W3(1),W4(1) \ A(1)=(W3(1)+W4(1)/60)/180*PI
90 FOR I=2 TO N
100 A(I)=(A(I-1)+PI-B(I))
110 E=A(I)*180/PI \ W3(I)=INT(E) \ W4(I)=INT((E-W3(I))*60)
115 IF W3(I)>360 THEN W3(I)=W3(I)-360
120 NEXT I
130 FOR I=1 TO N
140 X(I)=D(I)*COS(A(I)) \ Y(I)=D(I)*SIN(A(I))
150 F1=F1+X(I) \ F2=F2+Y(I)
170 NEXT I
180 P1=SQR(F1^2+F2^2)
185 FOR I=1 TO N
190 P=P+D(I) \ NEXT I
200 F=P1/P
210 IF F>(1/2000) THEN PRINT #1,F'>(1/2000)'
220 FOR I=1 TO N
230 S1(I)=-F1/P*D(I)
240 S2(I)=-F2/P*D(I)
250 NEXT I
260 FOR I=2 TO (N+1)
265 X3(I-1)=X(I-1)+S1(I-1) \ X1(I)=X1(I-1)+X3(I-1)
270 Y3(I-1)=Y(I-1)+S2(I-1) \ Y1(I)=Y1(I-1)+Y3(I-1)
290 NEXT I
295 PRINT #1,'=====','
300 PRINT #1,'I      B      I      A      I      D      I      DX      I      DY      I'
310 PRINT #1,'ГРАД.,МИН.ГРАД.,МИН.I      M      I      M      I      M      I'
320 PRINT #1,'=====','
330 FOR I=1 TO N
340 PRINT #1,'I'W1(I)TAB(7)W2(I)TAB(11)'I'W3(I)TAB(17)W4(I)TAB(22)'I';
342 PRINT #1,D(I)TAB(33)'I'X(I)TAB(44)'I'Y(I)TAB(55)'I'
350 NEXT I
360 PRINT #1,'=====','
370 PRINT #1 \ PRINT #1 \ PRINT #1
380 PRINT #1,'FX='F1','FY='F2,'F(ABS)='P1
385 PRINT #1,'P='P','F(OTH)='F
390 PRINT #1 \ PRINT #1 \ PRINT #1
405 PRINT #1,'=====','
407 PRINT #1,'=====','
410 PRINT #1,'I      DFX      I      DFY      I      DX(M)      I      DY(M) I';
415 PRINT #1,'      X      I      Y      I'
420 PRINT #1,'=====','
422 PRINT #1,'=====','
430 FOR I=1 TO N
440 PRINT #1,'I'S1(I)TAB(16)'I'S2(I)TAB(32)'I'X3(I)TAB(43)'I'Y3(I);
450 PRINT #1,TAB(54)'I'X1(I)TAB(65)'I'Y1(I)TAB(76)'I'
460 NEXT I
470 PRINT #1,'=====','

```

6.9. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Какие требования предъявляют к выбору расположения ходов и мест закрепления поворотных точек?
2. Перечислите состав и последовательность полевых работ при прокладке теодолитного хода.
3. Как определить угловую невязку и ее допустимое значение в полигоне и диагональном ходе?
4. Как осуществляют увязку углов?
5. Какова последовательность вычисления и контроля дирекционных углов сторон теодолитного хода?
6. Каков порядок определения значений и знаков приращений координат?
7. Как определяют невязку в приращениях координат и ее допустимое значение в полигоне и диагональном ходе?
8. Как осуществляется увязка приращений координат?
9. Каков порядок вычисления координат вершин полигона и контроля вычислений?
10. Каков порядок графической обработки материалов теодолитной съемки?
11. Каков состав полевых работ и приборы, применяемые при тахеометрической съемке?
12. Каков порядок обработки журнала тахеометрической съемки?
13. Порядок и состав камеральных работ по обработке результатов тахеометрической съемки.
14. По результатам измерения на местности горизонтальных углов и длины линий и заданным дирекционному углу одной из сторон и координатам одной точки вычислите координаты вершин полигона и диагонального теодолитного хода.
15. Постройте сетку квадратов и нанесите по координатам вершины полигона и диагонального хода.
16. По материалам абрисов нанесите на план ситуацию.
17. Вычислите отметки речных точек, нанесите их на план и путем интерполирования определите положение горизонталей.

7. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТРАССЫ ЛИНЕЙНОГО СООРУЖЕНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ НА ПРОФИЛЕ

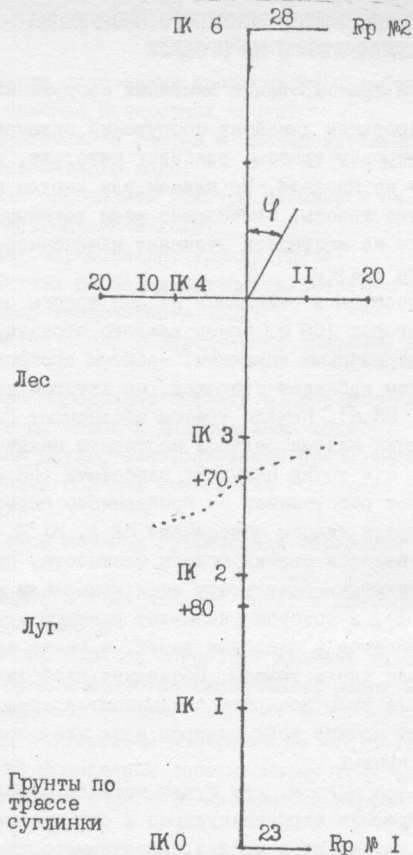
7.1. Полевые работы при трассировании линейных сооружений

Состав работ при трассировании линейных сооружений включает составление проекта, рекогносцировку трассы, разбивку пикетажа, нивелирование трассы и составление ее профиля. По планам или картам намечают наиболее вероятное направление трассы, отвечающее всем техническим требованиям. При рекогносцировке на местности уточняют намеченное направление, выбирают углы поворота трассы.

Разбивка пикетажа заключается в отложении на оси трассы отрезков, горизонтальные проложения которых 100 м. Конец каждого отрезка, называемый пикетом, обозначают деревянным колышком, забитым вровень с землей. Рядом с пикетным колышком забивают сторожок, на котором записывают номер пикета (например, ПК 4). Начало трассы обозначают "пикет ноль" — ПК 0. Характерные точки излома рельефа местности между пикетами также отмечают колышками. Эти точки называют плюсовыми (ПК I + 80) и их местоположение определяют расстоянием от пройденного пикета (80 м от ПК I). Вершины углов поворота трассы обозначают ВУ I, ВУ 2. Одновременно с разбивкой пикета ведется съемка полосы местности, прилегающей к трассе. При разбивке пикетажа результаты всех измерений заносят в пикетажный журнал (рис. 7.1), в котором указывают размеры углов поворота трассы, номера всех пикетов и плюсовых точек, а также вычерчивают абрис съемки полосы земли вдоль трассы. Последняя изображается условно в выпрямленном виде, а углы поворота обозначаются стрелками. В пикетажном журнале отмечают номера всех реперов и их местоположение, а также данные об элементах кривых.

Для характеристики рельефа полосы, где будет вестись строительство, разбивают поперечные профили перпендикулярно к оси трассы в обе стороны. Поперечные профили назначают в местах характерного изменения рельефа на таком расстоянии один от другого, чтобы местность между ними имела одинаковый уклон.

Исходными данными для определения элементов кривых являются угол поворота φ и радиус R (рис. 7.1, 7.2).



Угол № I = $57^{\circ}45'$

$R = 100 \text{ м}$

Т	34,19
К	65,89
В	5,08
Д	2,49

Угол № I...PK 4 + 0,00

-Т	34,19
НК...PK 3+65,81	
+К...	65,89
КК...PK 4+31,70	

Контроль

Угол № I ... PK 4+0,00

+Т	34,19
	PK 4+34,19
-Д	2,49
КК	PK 4+31,70

Построение проектной линии

1. На PK 0 высоту насыпи принять 1 м.
2. От PK 0 до PK 2 уклон $i = -0,006$.
3. От PK 2 до PK 4 уклон $i = 0,00$.
4. От PK 4 до PK 6 уклон $i = +0,015$.

Рис. 7.1. Пикетажная книжка

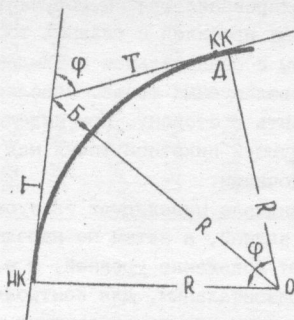


Рис. 7.2. Элементы кривой

Элементы горизонтальной круговой кривой определяют по таблицам (В.Н.Ганьшин, Л.С.Хренов. Таблицы для разбивки кривых или переходных кривых. - М.: Недра, 1972 и др.) или рассчитывают по формулам, м:

$$T = R \operatorname{tg} \varphi/2, \quad (7.1)$$

$$K = \pi R \varphi/180^\circ, \quad (7.2)$$

$$A = 2T - K, \quad (7.3)$$

$$B = R(\sec \varphi/2 - 1), \quad (7.4)$$

где T - длина тангенсов; K - длина кривой; A - домер; B - биссектриса; R - радиус кривой; φ - угол поворота.

Вычисляют начало и конец кривой по зависимости

$$HK = BY - T, \quad (7.5)$$

$$KK = BY + T - A, \quad (7.6)$$

где BY - расстояние от начала трассы до угла поворота, м.

Результаты расчета основных элементов кривых записываются в определенном порядке на полях пикетажной книжки (рис. 7.1).

По дирекционному углу и углам первого прямого отрезка и углам поворота трассы вычисляют дирекционные углы и румбы последующих участков трассы

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \varphi_{np}, \quad (7.7)$$

$$\alpha_{n+1} = \alpha_n - \varphi_{лев}, \quad (7.8)$$

где α_n - дирекционный угол предыдущей линии; φ_{np} - правый угол поворота трассы; $\varphi_{лев}$ - левый угол поворота трассы.

По результатам нивелирования трассы получают высоты всех точек: пикетных, точек поперечных профилей и главных точек кривых. Нивелируют способом из середины с обязательным соблюдением равенства расстояний от прибора до нивелируемых точек. Нивелир можно устанавливать в створе линии или выносить в сторону. При нивелировании определяют превышение каждой последующей пикетной точки над предыдущей, т.е. между всеми связующими точками.

На каждой станции вначале нивелируют связующие точки, для чего берут отсчеты сперва по задней, а затем по передней рейкам. Перед взятием отсчета контролируют положение уровней, т.е. визирный луч трубы нивелира должен быть горизонтальным. Для контроля и повышения точности нивелирования превышение между связующими точками определяют по второй стороне реек, если они двусторонние. При работе с односторонними рейками изменяют высоту прибора не менее чем на 10 см. Результаты отсчетов записывают в журнал нивелирования трассы (табл. 7.1). При нивелировании промежуточных точек отсчет берут только по основной стороне рейки. При нивелировании крутых склонов, когда визирный луч в одну сторону упирается в землю, а в другую идет выше рейки, делают дополнительные связующие точки ("иксовые" X_1, X_2 и т.д.). Расстояние до "иксовых" точек не измеряют, но их четко закрепляют на местности. В качестве связующих точек на крутом склоне могут быть использованы плюсовые. Начало и конец трассы привязывают к имеющимся поблизости реперам.

7.2. Обработка журнала технического нивелирования

Исходными данными для обработки журнала являются результаты полевого трассирования, представленные в журнале технического нивелирования. Превышение между связующими точками вычисляют по зависимостям, мм:

$$h' = Z_{\text{ч}} - П_{\text{ч}}, \quad (7.9)$$

$$h'' = Z_{\text{к}} - П_{\text{к}}, \quad (7.10)$$

где $Z_{\text{ч}}, Z_{\text{к}}$ - задний отсчет соответственно по черной и красной сторонам рейки; $П_{\text{ч}}, П_{\text{к}}$ - передний отсчет соответственно по черной и красной сторонам рейки.

Расхождение между превышениями, вычисленными по черной и красной сторонам рейки, не должны быть более ± 5 мм. Вычисленные превышения в зависимости от их знака записывают в графу 6 или 7 (табл. 7.1).

Журнал нивелирования трассы

Но- мер стан- ции	Номер то- чек визи- рования	Отсчет по рейкам			Превышение		Среднее превы- шение		Горизонт инстру- мента	Отметка, м	
		Задние	Передние	Проме- жуточные	+	-	+	-		H ₀ , 001	H ₀ , 01
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	R _p I	2840 7523			1465		+2		123, 123		123, 12
	П K 0		1395 6057		1466		1466		124, 591		124, 59
II	П K 0	2758 7441			2010		+2		124, 591		
	П K I		0748 3429		2012		2011		126, 604		126, 60
III	П K I	0620 5304				2130		+2	126, 604		
	X ₁		2750 7434			2130		2130			
IV	X ₁	0809 5494				1756		+2	124, 476		
	П K I + 80		2565 7251			1757		1750	122, 722		122, 72
V	П K I + 80	2875 7560						+2	122, 722		
	П K 2		0525 5208		2350 2352		2351		125, 075		125, 08

Продолжение табл. 7.1

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
VI	IK 1 + 80	0125 4810				2875		+2 2827	<u>125.200</u>	125,075	123,18
	IK 2 + 70		2950 7630	2015		2829				123,185	122,25
	IK 3									122,250	122,25
	IK 3	2888 7573			2222 2220		+2 2221			122,250	
VII	IK 4		0666 5357							124,473	124,47
	IK 4	2987 7574							<u>127.460</u>	124,473	
	Вправо +20			0512	2789					126,948	126,95
	+11			0978						126,482	126,48
IX	Влево +10			1654	2791		+2 2790			125,806	125,81
	+20		0198 4787	2345						125,115	125,12
	IK 5									127,265	127,26
	IK 5	2468 7149			1234 1230		+2 1232			127,268	
	IK 6		1234 5919							128,499	128,50

I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
X	IK 6	0662 5347	1415 6102		0753 0755		+1 0754			128,499	
	R _p # 2	84807	75601		24141	14935	12071	7467		127,746	127,75

$$\frac{\Sigma 3 - \Sigma 11}{2} = 9206 \quad \Sigma h = 9206 \quad \Sigma h_{cp} = 4604 \quad \Sigma h_r = 4623$$

$$f_h = 4604 - 4623 = -19 \text{ MM}$$

$$f_{h_{don}} = \pm 50 \text{ MM} \sqrt{L} \quad \text{RM} = \pm 50 \sqrt{0,6} = \pm 39 \text{ MM.}$$

Определяют среднее превышение, мм:

$$h_{cp} = (h' + h'')/2. \quad (7.11)$$

Его округляют до 1 мм. Среднее превышение в зависимости от знака записывается в графы 8 или 9 (табл. 7.1).

Для постраничного контроля вычисления превышений суммируют все числа, записанные в графах 3, 4, 6-9 (табл. 7.1).

Контролем правильности вычислений на каждой странице журнала нивелирования служит равенство, мм:

$$(\sum 3 - \sum \Pi)/2 = (\sum h)/2 = \sum h_{cp} \quad (7.12)$$

где сумма всех задних отсчетов по черной и красной сторонам рейки (графа 3 табл. 7.1), мм:

$$\sum 3 = \sum 3_k + \sum 3_r, \quad (7.13)$$

сумма всех передних отсчетов по черной и красной сторонам (сумма граф 4 табл. 7.1), мм:

$$\sum \Pi = \sum \Pi_k + \sum \Pi_r, \quad (7.14)$$

$\sum h$ - алгебраическая сумма вычисленных превышений (сумма граф 6 и 7 табл. 7.1); $\sum h_{cp}$ - алгебраическая сумма средних превышений (сумма граф 8 и 9 табл. 7.1).

Невязка нивелирного хода, мм:

$$f_h = \sum h_{cp} - \sum h_r, \quad (7.15)$$

где $\sum h_{cp}$ - алгебраическая сумма средних превышений между связующими точками нивелирного хода, мм; теоретическая сумма превышений, мм:

$$\sum h_r = H_{Rp2} - H_{Rp1}, \quad (7.16)$$

H_{Rp1}, H_{Rp2} - отметки реперов.

Полученная невязка не должна превышать предельной невязки хода технического нивелирования, мм:

$$f_{h доп} = 50 \sqrt{L}, \quad (7.17)$$

где L - число километров в ходе.

При количестве станций нивелирования, превышающем 25 на 1 км хода допустимая невязка, мм:

$$f_{h доп} = 10 \sqrt{n}, \quad (7.18)$$

где n - число станций в ходе.

Если выполняется условие

$$f_n \leq f_{\text{доп}}, \quad (7.19)$$

то в средние превышения (графа 8 и 9 табл. 7.1) вводят поправки с обратным знаком невязки, которую определяют по формуле, мм:

$$\delta_n = f_n / n. \quad (7.20)$$

Поправки распределяют поровну на все превышения. Удостоверившись, что сумма всех поправок равна невязке с обратным знаком, поправки записывают сверху над средними значениями (графа 8 и 9 табл. 7.1).

Отметки связующих точек вычисляют последовательно, начиная с первой точки, м:

$$H_1 = H_{RP1} + h_1, \quad (7.21)$$

$$H_{n+1} = H_n + h_n, \quad (7.22)$$

где H_1 , H_n , H_{n+1} — отметки первой, предыдущей и последующей точек; h_1 , h_n — исправленные превышения.

Вычисленные отметки связующих точек записывают в графу II (табл. 7.1).

Контролем правильности вычисления отметок служит полученная отметка второго репера, которая должна быть равна заданной H_{RP2} .

Отметки промежуточных точек и точек поперечников вычисляются через горизонт инструмента, м:

$$\Gamma И = H_n + \alpha, \quad (7.23)$$

$$H_c = \Gamma И - c, \quad (7.24)$$

где H_n — отметка связующей точки; H_c — отметка промежуточной точки; α — отсчет по рейке на связующую точку; c — на промежуточной точке.

Горизонт инструмента записывают в графу IO (табл. 7.1) в строке соответствующей связующей точке. Отметки промежуточных точек и точек поперечников заносят в графу II (табл. 7.1).

7.3. Построение продольного и поперечного профилей трассы

Продольные и поперечные профили, будут графической моделью рельефа местности по трассе линейного сооружения, служат основой инженерно-геодезических расчетов по проектированию сооружений линейного типа. Продольные и поперечные профили строятся по материалам пикетажного журнала (рис. 7.1) и журнала нивелирования (табл. 7.1).

Продольный профиль трассы строится на миллиметровке в масштабах: горизонтальный 1:2000, вертикальный 1:200.

Построение выполняется в следующем порядке:

а) внизу вычерчивается сетка профиля с графами, содержанием и размерами согласно рис. 7.3; б) в заданном горизонтальном масштабе 1:2000 откладывают все пикеты и заполняют графу расстояний. При этом указывается только расстояние от пикета до плюсовой точки. Расстояние 100 м между пикетами при отсутствии плюсовых точек не пишется; в) заполняют графу "черные отметки", выписывая их из журнала нивелирования (графа 12 табл. 7.1); г) в графе "план трассы" посередине проводят ее ось, условно развернутую в прямую линию, и условными знаками показывают ситуацию вдоль трассы; д) в графе "грунты" указывают грунты вдоль трассы согласно пикетажной книжки; е) указывают направление и длину отдельных прямых участков трассы в графе "план прямых и кривых". Здесь же отмечают место положение и параметры кривых согласно выполненным расчетам. Кривые при поворотах вправо обозначают скобками выпуклостью вверх, а при поворотах влево – выпуклостью вниз; ж) по данным граф "черные отметки" и "расстояния" строят линии профиля. Высоту точек откладывают вверх от линий условного горизонта H_y , выбираемых в зависимости от минимальной черной отметки H_m , м:

$$H_y = H_m - 8. \quad (7.23)$$

Полученную отметку условного горизонта округляют до кратной 10 м. Линия условного горизонта совпадает с верхней линией сетки профиля. На профиле слева строится вертикальный масштаб, облегчающий построение. Над линией профиля показывают положение реперов с их отметками и координатами относительно трассы.

Поперечный профиль строят в одинаковых горизонтальных и вертикальных масштабах 1:500. Внизу профиля вычерчивают графы "черные отметки" и "расстояния" шириной соответственно 1,5 и 1,0 см. Горизонтальные расстояния, которые берутся из графы 2 табл. 7.1 откладываются влево и вправо от вертикального отрезка, обозначающего ось трассы. Графы поперечного профиля заполняются данными из журнала нивелирования (графа 12 табл. 7.1). Линия поверхности земли поперечного профиля строится по черным отметкам относительно условного горизонта, который принимается таким же, как и для продольного профиля. Над чертежом поперечного профиля указывается его местоположение.

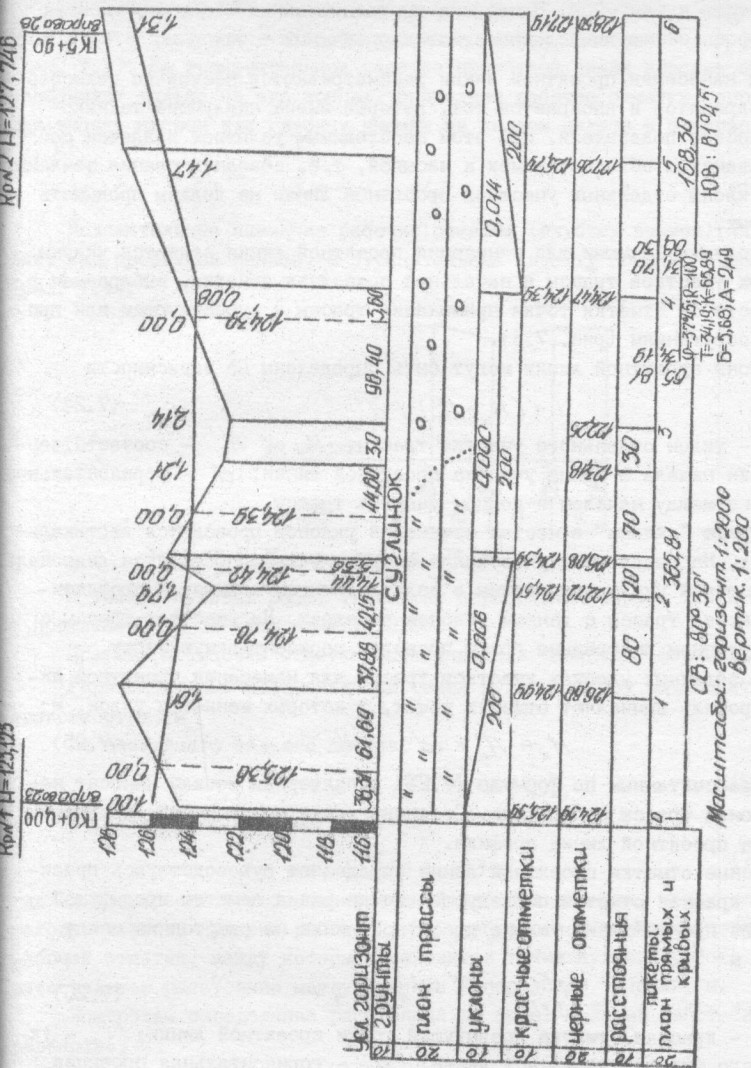


Рис. 7.3. Продольный профиль трассы линейного сооружения

7.4. Нанесение проектной линии и вычисление отметок проектных точек

При нанесении проектной линии рассматриваются несколько целесообразных вариантов и выбирается тот, который имеет наилучшие технико-экономические показатели. При этом необходимым условием является соблюдение равенства объемов выемок и насыпей, т.е. сбалансирования земляных работ. Уклоны отдельных участков проектной линии не должны превышать допустимых.

Исходными данными для нанесения проектной линии являются уклоны отдельных участков трассы и начальная проектная отметка, выбираемая в зависимости от отметки точки примыкания трассы к существующим или проектным сооружениям (рис. 7.3).

Уклоны проектной линии могут быть определены по зависимости

$$i = (H_n - H_k) / d, \quad (7.24)$$

где i – уклон отдельного участка трассы; H_n , H_k – соответственно отметки начала и конца участка проектной линии; d – горизонтальное расстояние между началом и концом участка трассы.

В графе "уклоны" в местах изменения уклонов проводится вертикальная черта. На выделенных участках в сторону уклона проводится диагональ, вверх которой указывают уклоны в долях единицы, а внизу – протяженность участка трассы с данным уклоном в метрах. На участках трассы с нулевым уклоном посередине графы проводят горизонтальную черту.

При заданных уклонах участков трассы для нанесения проектной линии на профиль вычисляют отметки точек, в которых меняется уклон, м:

$$H_k = H_n + id. \quad (7.25)$$

По рассчитанным по формуле (7.25) характерным точкам наносят начало и конец трассы на профиль. Соединив точки между собой, получают положение проектной линии профиля.

Красные отметки проектной линии определяют руководствуясь правилом, что красная отметка последующей точки равна отметке предыдущей точки плюс произведение уклона проектной линии на расстояние между точками, м:

$$H_{n+1}^k = H_n^k + i_n d_n, \quad (7.26)$$

где H_n^k – красная отметка предыдущей точки проектной линии; i_n – уклон данного участка проектной линии; d_n – горизонтальная проекция участка проектной линии между точками.

Красные отметки будут найдены верно, если в конце проектной линии с данным уклоном получим значение красной отметки, вычисленное ранее

по зависимости (7.25). Найденные по формуле (7.26) отметки округляют до 0,01 м и записывают в графу красных отметок продольного профиля (рис. 7.3). На горизонтальном участке проектной линии красные отметки записывают только на его концах. Вычисляют рабочие отметки, определяющие высоту насыпи или глубину выемки на каждом пикете и плюсовой точке, м:

$$\Delta H = H_k - H_v. \quad (7.27)$$

Положительные значения рабочих отметок (глубину выемок) записывают над проектной линией, а отрицательные (высоту насыпи) – под ней (рис. 7.4).

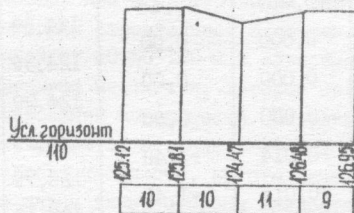


Рис. 7.4. Поперечник на ПК 4

В точках нулевых работ (в точках пересечения черной линии профиля с проектной) записывают отметки 0.00.

Красные и рабочие отметки вычисляются в табличной форме (табл. 7.2).

Горизонтальные расстояния до точек нулевых работ вычисляются по зависимостям, м:

от ближайшего заднего пикета

$$x = \alpha \Delta H_z / (\Delta H_z + \Delta H_n), \quad (7.28)$$

от ближайшего переднего пикета

$$y = \alpha \Delta H_n / (\Delta H_z + \Delta H_n), \quad (7.29)$$

где ΔH_z – абсолютное значение задней рабочей отметки, между которыми находится точка нулевых работ; ΔH_n – абсолютное значение передней рабочей отметки, между которыми находится точка нулевых работ; α – горизонтальное расстояние между задними и передними точками, м.

Контролем определения расстояния до точек нулевых работ служит равенство, м:

$$\alpha = x + y. \quad (7.30)$$

Номер пикетов	Расстояние $d, м$	Уклон i	Превышение $h = i d, м$	Отметка, м		
				$H_{кр}$	$H_{черн}$	$H_{кр} - H_{черн} = \Delta H$
1	2	3	4	5	6	7
0				125,59	124,59	+1,00
1	100,00	-0,006	-0,60	124,99	126,60	-1,61
1+80	80,00	-0,006	-0,48	124,51	122,72	+1,79
2	20,00	-0,006	-0,12	124,39	125,08	-0,69
2+70	70,00	0,000	0,00	124,39	123,18	+1,21
3	30,00	0,000	0,00	124,39	122,25	+2,14
4	100,00	0,000	0,00	124,39	124,47	-0,08
5	100,00	+0,014	+1,40	125,79	127,26	-1,47
6	100,00	+0,014	+1,40	127,19	128,50	-1,31

Отметки точек нулевых работ, м

$$H_o = H_z \pm i_n X, \quad (7.31)$$

$$H_o = H_n \pm i_n y, \quad (7.32)$$

где H_z - задняя красная отметка; H_n - передняя.

Отметки точек нулевых работ и расстояния до них записывают на продольном профиле над линией условного горизонта (рис. 7.3).

7.5. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Состав полевых работ при трассировании линейных сооружений.
2. Каков порядок работы на станции при техническом нивелировании?
3. Перечислите элементы круговой кривой?
4. Каковы состав и последовательность работ при обработке журнала технического нивелирования?
5. Каков порядок построения продольного и поперечного профилей?
6. Вычислите элементы круговой кривой и составьте пикетажный журнал.

7. По результатам нивелирования выполните обработку журнала технического нивелирования.

8. Постройте продольный и поперечный профили трассы линейного сооружения и запроектируйте профиль.

8. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

8.1. Составление топографического плана строительной площадки с использованием результатов нивелирования по квадратам

Геодезической основой при проектировании вертикальной планировки служит топографический план строительной площадки, разбиваемый на равные квадраты со стороной от 10 до 100 м в зависимости от стадии проектирования и характера рельефа местности, который получают в результате геометрического нивелирования поверхности. Нивелирование поверхности по квадратам применяют на открытой местности со слабо выраженным рельефом. В зависимости от характера местности, высоты сечения рельефа на плане, масштаба и назначения плана длина стороны квадрата составляет 10, 20 или 40 м. Разбивку квадратов на местности производят теодолитом и лентой, соблюдая принцип перехода от общего к частному. Вначале строят сеть больших квадратов со стороной 100–200 м и более, для чего по границам участка с помощью теодолита и ленты строят прямоугольник, который разбивают на основные квадраты со стороной 100–200 м. Внутри основных квадратов разбивают и закрепляют заполняющие квадраты со стороной 10, 20 или 40 м. Вершины основных квадратов закрепляют столбами, а заполняющих – деревянными колышками. По сторонам основных квадратов прокладывают теодолитно-нивелирный ход, опирающийся на пункты геодезической сети. После обработки результатов измерений получают координаты и отметки вершин основных квадратов. Одновременно с разбивкой квадратов закрепляют плюсовые точки в характерных местах рельефа с промером расстояний до вершин или сторон квадратов. После разбивки квадратов вычерчивают схему, на которой показывают все закрепленные точки, результаты съемки ситуации и характерные линии рельефа.

Порядок нивелирования зависит от размера квадрата. При квадратах 50х50 м и более каждый из них нивелируют отдельно способом из середины. Вначале нивелируют все квадраты по внешнему контуру. Внутренние квадраты нивелируют через один. Полевым контролем результатов нивелирования служит равенство сумм накрест лежащих отсчетов, полученных по вершинам смежных сторон квадратов. Допустимое отклонение не должно превышать ± 10 мм. Малые квадраты со стороной менее 50 м нивелируют с ограниченного числа станций. Выбор станций предусматривает образование в пределах

участка замкнутого нивелирного хода. Длина плеча при нивелировании не должна превышать 200 м, что и определяет число одновременно нивелируемых квадратов. Полевой контроль такой же, как и при нивелировании больших квадратов. Отсчеты берут по черной и красной сторонам рейки и записывают на схеме нивелирования в вершинах квадратов (рис. 8.1).

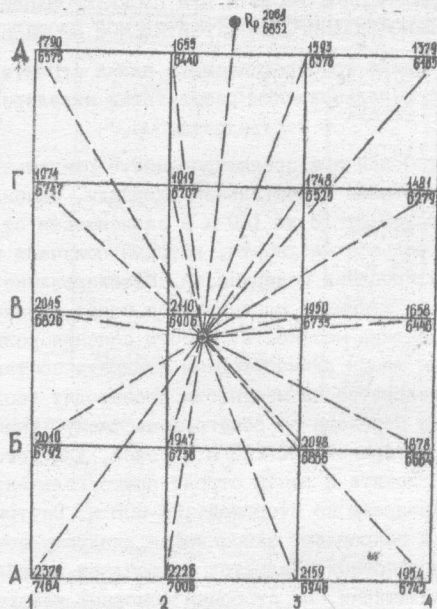


Рис. 8.1. Схема нивелирования поверхности по квадратам со стороной 20 м, М 1:500

Отметки вершин квадратов при геометрическом нивелировании способом вперед вычисляют через горизонт инструмента

$$H_v = GI_v - C_v, \quad (8.1)$$

$$H_k = GI_k - C_k, \quad (8.2)$$

где H_v и H_k — отметки вершин квадратов, вычисляемые соответственно через отсчеты по черной C_v и красной C_k сторонам рейки, м; горизонт инструмента, определяемый для черной и красной сторон рейки

$$GI_v = H_R + a_v, \quad (8.3)$$

$$\Gamma И_{\kappa} = H_{\kappa} + \alpha_{\kappa}, \quad (8.4)$$

где H_{κ} - отметка репера (в примере 150, 947 м); α_{ν} и α_{κ} - отсчеты по черной и красной сторонам рейки, установленной на репере (рис. 8.1)

$$\Gamma И_{\nu} = 150,947 + 2,069 = 153,016 \text{ м},$$

$$\Gamma И_{\kappa} = 150,947 + 6,852 = 157,799 \text{ м}.$$

Все расчеты ведут в табличной форме (табл. 8.1). Разница отметок вершин квадратов, вычисленных по отсчетам черной и красной сторон реек, не должна превышать 8 мм. Полученные отметки вершин квадратов определяют до 0,01 и записывают в графу $H_{0,01}$ (табл. 8.1).

По результатам вычисления отметок вершин квадратов составляют топографический план строительной площадки.

Таблица 8.1

Ведомость вычисления отметок вершин квадратов

Координаты вершин	Горизонт инструмента		Отметка вершин, м		
	$\Gamma И_{\nu}$	$\Gamma И_{\kappa}$	H_{ν}	H_{κ}	$H_{0,01}$
A-1	153,016	157,779	150,637	150,635	150,64
A-2			150,790	150,793	150,79
A-3			150,857	150,853	150,86
A-4			151,062	151,057	151,06
B-1			151,000	151,002	151,01
B-2			151,070	151,063	151,07
B-3			150,918	150,913	150,92
B-4			151,138	151,135	151,14
и т.д.					

Построение топографического плана строительной площадки включает нанесение на лист бумаги в масштабе 1:500 сетки квадратов, проведение горизонталей с высотой сечения рельефа через 0,25 м и нанесение существующих контуров ситуации. Сетка квадратов вычерчивается в масштабе 1:500 черной тушью. Около каждой вершины квадрата выписывают их отметки из табл. 8.1, округленные до 0,01 м (рис. 8.4). Рельеф местности изображают горизонталями. Горизонтали проводят графическим интерполированием между точками, находящимися на однородном скате, т.е. определением на плане точек, высота которых кратна принятой высоте сечения 0,25 м. Интерполируют аналитическим и графическим способами.

Сущность аналитического способа заключается в том, что по известным отметкам вершин квадратов на плане между этими точками определяют положение точек с отметками кратными принятой высоте сечения путем решения подобных треугольников (рис. 8.2, а, б).

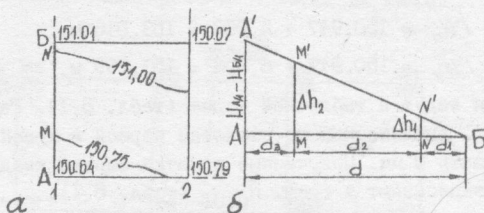


Рис. 8.2. Аналитический способ интерполирования:
а) интерполированием между вершинами квадрата;
б) определение на стороне А/І – В/І положения точек, кратных принятой высоте сечения

Местоположение горизонтали $H = 151,00$ от вершины В/І, м:

$$d_1 = d \Delta h / (H_{B/I} - H_{A/I}), \quad (8.7)$$

где d – сторона квадрата, равная 20 м; $H_{B/I}$ – отметка вершины В/І, м; $H_{A/I}$ – отметка вершины А/І, м; Δh – разница между отметкой вершины ВБ/І и горизонталью $H = 151,00$ м.

$$d_1 = \frac{151,01 - 151,00}{151,01 - 150,64} 20 = 0,54 \text{ м.}$$

Местоположение горизонтали $H = 150,75$ м от вершины В/І, м:

$$(d_1 + d_2) = d \Delta h_2 / (H_{B/I} - H_{A/I}), \quad (8.8)$$

где Δh_2 – разница между отметкой вершины ВБ/І и горизонталью $H = 150,75$ м.

$$(d_1 + d_2) = \frac{151,01 - 150,75}{151,01 - 150,64} 20 = 14,05 \text{ м.}$$

Расстояния d_1 и $(d_1 + d_2)$ откладывают в масштабе 1:500 от вершины квадрата В/І, в результате чего получают соответственно местоположение на стороне квадрата горизонталей $H = 151,00$ и $H = 150,75$ м. Аналогично интерполируют по остальным сторонам всех квадратов и их диагоналей. Через точки с одинаковыми высотами проводят одноименные горизонтالي коричневой тушью. В разрыве между горизонталями подписывают высоту горизонтали в сторону вершины.

Графический способ интерполирования основывается на формулах (8.7) и (8.8) пропорциональности элементов подобных треугольников. Для интерполирования применяют палетку, выполненную на миллиметровке или восковой.

Палетку изготавливают следующим способом. На листе восковки проводят на произвольных, но равных между собой расстояниях, наклонные линии (рис. 8.3), которые подписывают отметками, кратными высоте сечения рельефа, 0,25 м от самой малой до самой большой.

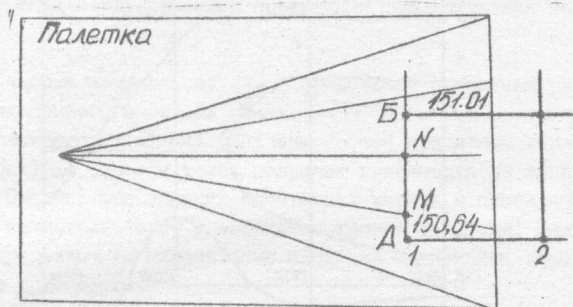


Рис. 8.3. Графический способ интерполирования

Для интерполяции по стороне квадрата АБ палетку накладывают на сетку квадратов так, чтобы точка А заняла положение между наклонными линиями восковки соответственно своей отметке $HA/I = 150,64$ м. Осторожно прокалывают восковку в намеченной точке. Удерживая острие иглы измерителя в этой точке, поворачивают восковку вокруг иглы до тех пор, пока точка Б, видимая через восковку, займет положение, соответствующее отметке $HB/I = 151,01$ м. Закрепляют палетку в этом положении. Иглой измерителя перекалывают на план точки М и N пересечения параллельных линий восковки со стороной квадрата АБ и подписывают их отметки $H_M = 150,75$ и $H = 151,00$ м. Аналогично с помощью палетки выполняют графическую интерполяцию по всем остальным сторонам квадратов строительной площадки. Плавными линиями соединяют полученные интерполированием точки с одинаковыми отметками и в результате составляют топографический план строительной площадки с горизонталями сечением 0,25 (рис. 8.4).

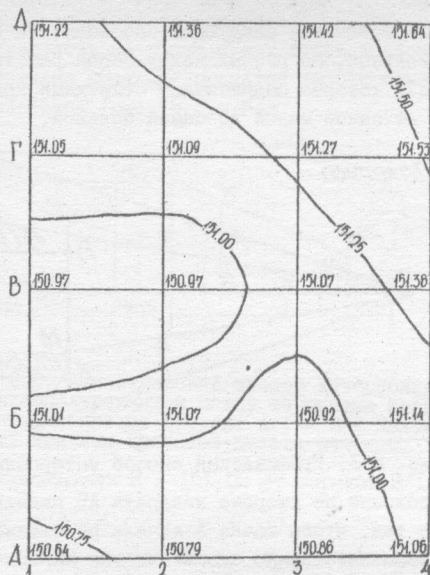


Рис. 8.4. Топографический план строй-площадки: М 1:500, сечение горизонталей через 0,25 м

8.2. Методы проектирования вертикальной планировки

В практике проектирования в зависимости от уровня инженерного оборудования и благоустройства территории применяют сплошную, выборочную и смешанную системы вертикальной планировки.

В зависимости от точности определения проектных отметок и объема расчетов проектирование выполняется графическим, аналитическим и графоаналитическим способами. Наиболее приемлем последний способ, позволяющий сочетать проектные вычисления с минимальными графическими построениями.

По принципу изображения проектного рельефа строительной площадки применяют метод профилей, проектных горизонталей, аналитический и комбинированный.

Метод проектных горизонталей заключается в изображении проектного рельефа горизонталями, который получается изменением естественного рельефа путем срезок и подсыпок. Проектные горизонталю между линиями перегибов изображаются прямыми, равностоящими параллельными линиями.

Выбрав в месте сопряжения плоскостей отметки опорных точек, производят обычную рисовку рельефа. Сечение для проектных горизонталей (0,1; 0,2) и (0,5) м выбирают в зависимости от характера естественного рельефа.

Расстояние между смежными проектными горизонталями на плане

$$\ell = h_c / i M, \quad (8.9)$$

где h_c - высота сечения, м; i - продольный проектный уклон; M - знаменатель численного масштаба плана.

На границе двух оформляющих плоскостей проектные горизонталю имеют излом. Проектные отметки точек получают графически по проектным горизонталям. Степень приближения идентичных черных и проектных горизонталей плана свидетельствует о величинах срезки и насыпи. Знак рабочей отметки определяют по направлению смещения идентичных горизонталей относительно друг друга.

Объем земляных работ

$$V = 0,5 h_c (F_1 + 2F_2 + 2F_3 + \dots + F_n), \quad (8.10)$$

где F_1 , F_2 , F_n - приведенные к местности площади участков, расположенных между идентичными горизонталями, отдельно для выемок и насыпей.

При методе профилей на плане строительной площадки разбивают сетку размером 50x20 м из профильных линий и поперечников к ним по наиболее характерным контурам проекта. Затем на профили наносят проектные отметки опорных точек. С учетом допустимых минимальных и максимальных уклонов намечают проектные линии, характеризующие высотное положение будущих сооружений. Определяют графически или по известным расстояниям и уклонам вычисляют проектные отметки характерных точек сооружений. По разности проектных и черных отметок профиля определяют рабочие отметки, а по ним - площадь выемок и насыпей грунта. Вычисляют отдельно выемки и насыпи в каждой секции между профилями

$$V = 0,5 (F_1 + F_2) \ell, \quad (8.11)$$

где ℓ - расстояние между параллельными профилями, м; F_1 , F_2 - приведенные к местности площади выемок или насыпи на соседних профилях, м².

Суммарный объем земляных работ по равноудаленным профилям

$$V = 0,5 \ell (F_1 + 2F_2 + 2F_3 + \dots + F_n), \quad (8.12)$$

где F_i - площадь насыпи или выемки, m^2 ; i - номер сечения; расстояние между начальным и конечным сечениями профилей

$$L = \sum_{i=1}^{n-1} l_i. \quad (8.13)$$

В основу аналитического метода проектирования вертикальной планировки положен принцип нахождения оптимального значения функции при заданной системе ограничений. Метод наименьших квадратов обеспечивает минимум суммы квадратов рабочих отметок

$$[h^2] = \min, \quad h = H - H_n, \quad (8.14)$$

где h - рабочая отметка; H , H_n - черная и проектная отметки.

Проектирование осуществляется на топографическом плане строительной площадки, разбиваемом на квадраты со стороной от 10 до 100 м.

При проектировании наклонной площадки по методу наименьших квадратов для получения минимума работ с нулевым балансом из системы уравнений

$$[P]H_0 + [Px]i_x + [Py]i_y - [Ph_0] = 0, \quad (8.15)$$

$$[Px]H_0 + [Px^2]i_x + [Pxy]i_y - [Pxh_0] = 0, \quad (8.16)$$

$$[Py]H_0 + [Pxy]i_x + [Py^2]i_y - [Pyh_0] = 0 \quad (8.17)$$

определяют проектную отметку H_0 начала координат и уклоны i_x и i_y вдоль осей координат.

Если начало координат помещено в центр тяжести строительной площадки, то

$$H_0 = [Ph_0] / [P], \quad (8.18)$$

$$i_x = [Pxh_0] / [Px^2], \quad (8.19)$$

$$i_y = [Pyh_0] / [Py^2], \quad (8.20)$$

где P - веса вершин сетки квадратов, принадлежащие одному, двум, трем и четырем квадратам; h_0 - условная черная отметка, м; x , y - координаты вершин квадратов относительно центра тяжести строительной площадки.

Контроль решения

$$[Ph] = 0, \quad [Pxh_0] = 0, \quad [Pyh_0] = 0. \quad (8.21)$$

В практике проектирования отметка центра тяжести оформляющей плоскости чаще всего вычисляется по формуле

$$H_0 = (\Sigma H_1 + 2\Sigma H_2 + 3\Sigma H_3 + 4\Sigma H_4) / 4n, \quad (8.22)$$

где ΣH_1 , ΣH_2 , ΣH_3 , ΣH_4 - суммы отметок вершин квадратов, принадлежащих одному, двум, трем и четырем квадратам, м; n - число квадратов сетки.

Проектные отметки

$$H_n = H_0 \pm i_x x/2 \pm i_y y/2. \quad (8.23)$$

Объемы земляных работ вычисляют по рабочим отметкам вершин квадратов h_1 , h_2 , h_3 , h_4 . При этом возможно различное сочетание знаков рабочих отметок как с плюсом, так и с минусом (рис. 8.1).

Формулы для определения объемов земляных работ при различных комбинациях знаков рабочих отметок следующие:

при равенстве знаков рабочих отметок (рис. 8.5, а)

$$V_n = 0,25 d^2 (h_1 + h_2 + h_3 + h_4), \quad (8.24)$$

где d - размер стороны квадрата, м;

при попарно разных знаках рабочих отметок (рис. 8.5, б)

$$V_n = 0,125 d^2 (h_1 + h_2) [(h_1 / (h_1 - h_4)) + h_2 / (h_2 - h_3)], \quad (8.25)$$

$$V_B = 0,125 d^2 (h_3 + h_4) [(h_4 / (h_4 - h_1)) + h_3 / (h_3 - h_2)]; \quad (8.26)$$

при одной с отличным знаком рабочей отметки (рис. 8.5, в)

$$V_n = 0,25 d^2 (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) - V_B, \quad (8.27)$$

$$V_B = 0,167 d^2 h_v^3 / [(h_v - h_1)(h_v - h_3)]; \quad (8.28)$$

при диагонально симметричным знакам рабочих отметок (рис. 8.5, г)

$$V_n = 0,125 d^2 (h_1 + h_3) [2 - (h_1^2 / (h_2 - h_1)(h_2 - h_3)) + h_v^2 / (h_v - h_1)(h_v - h_3)], \quad (8.29)$$

$$V_B = 0,167 d^2 [h_2^3 / (h_2 - h_1)(h_2 - h_3) + h_v^3 / (h_v - h_1)(h_v - h_3)]. \quad (8.30)$$

Вычисленные по зависимостям (8.24) - (8.31) объемы земляных работ выписывают на картограмме в каждом квадрате сетки. В неполных квадратах выписывают отдельно объемы насыпи и выемки. Определяют суммарные объемы выемок и насыпей. Подсчитывают баланс земляных работ в целом для строительной площадки.

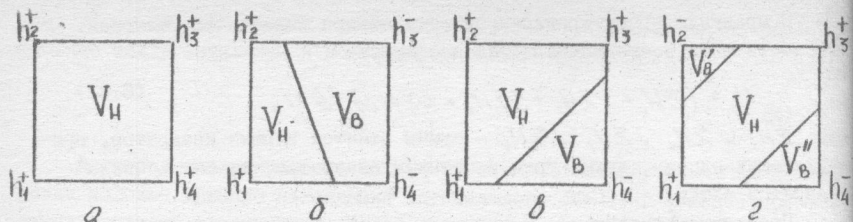


Рис. 8.5. Сочетание различных комбинаций знаков рабочих отметок

Значительно уменьшить вычислительные работы и сократить сроки подготовки технической документации по вертикальной планировке строительной площадки позволяет методика подсчета земляных масс по отметкам центров квадратов (Г.С.Ратуняк и др., 1983). Проектная отметка центра тяжести оформляющей плоскости при решении уравнений (8.15)–(8.17) через отметки центров квадратов

$$H_0 = \sum_{i=1}^n H_{ci} / n, \quad (8.31)$$

где $\sum H_{ci}$ – сумма отметок центров квадратов.

Рабочие отметки определяют по зависимости (8.14) для каждого квадрата. Объемы земляных масс подсчитываются по каждому полному и переходному квадрату раздельно для насыпи и выемки

$$V_i = h_{ci} d, \quad (8.32)$$

где h_{ci} – рабочая отметка в центре полного или переходного квадрата; d – размер стороны квадрата.

8.3. Проектирование оформляющей плоскости

Геодезические расчеты при проектировании вертикальной планировки заключаются в определении параметров, характеризующих условия создания оформляющей плоскости с требуемыми проектными поперечными и продольными уклонами. Исходными данными для вычисления проектных отметок плоскости, высоты насыпей и глубины выемок и объемов земляных работ служат отметки вершин квадратов (табл. 8.1, рис. 8.4).

Проектные отметки оформляющей плоскости с заданными проектными поперечными и продольными уклонами определяют из условия нулевого баланса земляных работ, предусматривающих равенство объемов выемок и

насыпей. Проектная отметка центра тяжести оформляющей плоскости из условия нулевого баланса земляных работ

$$H_0 = (\Sigma H_1 + 2\Sigma H_2 + 3\Sigma H_3 + 4\Sigma H_4) / 4n, \quad (8.33)$$

где ΣH_1 - сумма отметок вершин, входящих в один квадрат, м; ΣH_2 , ΣH_3 , ΣH_4 - соответственно суммы отметок вершин, общих для двух, трех и четырех квадратов, м; n - число квадратов.

$$H_0 = \frac{604,56 + 2 \cdot 1511,45 + 0 + 4 \cdot 906,32}{4 \cdot 12} = \frac{7252,74}{48} = 151,10 \text{ м.}$$

Проектная отметка вершины любого квадрата, расположенного относительно средней отметки оформляющей плоскости

$$H_n = H_0 \pm i_x d_x / 2 \pm i_y d_y / 2, \quad (8.34)$$

где i_x - продольный уклон оформляющей плоскости по направлению АД;

i_y - поперечный уклон оформляющей плоскости по направлению I-I;

d_x - расстояние по оси абсцисс; d_y - расстояние по оси ординат.

Значение уклонов устанавливаются согласно СНиП в зависимости от класса сооружений и условий строительства. Для свободно планируемой территории принимают продольный уклон оформляющей плоскости по направлению АД $i_x = 0,003$, поперечный уклон $i_y = 0,006$.

Вычисляют проектные отметки угловых вершин квадратов строительной площадки

$$H_{A/I} = H_0 + i_x \Sigma d_x / 2 - i_y \Sigma d_y / 2, \quad (8.35)$$

$$H_{A/II} = H_0 - i_x \Sigma d_x / 2 - i_y \Sigma d_y / 2, \quad (8.36)$$

$$H_{A/IV} = H_0 + i_x \Sigma d_x / 2 + i_y \Sigma d_y / 2, \quad (8.37)$$

$$H_{A/III} = H_0 - i_x \Sigma d_x / 2 + i_y \Sigma d_y / 2, \quad (8.38)$$

где Σd_x - сумма сторон квадратов по оси абсцисс, м; Σd_y - сумма сторон квадратов по оси ординат, м;

$$H_{A/I} = 151,10 + \frac{0,003 \cdot 80}{2} - \frac{0,006 \cdot 60}{2} = 151,04 \text{ м,}$$

$$H_{A/II} = 151,10 - \frac{0,003 \cdot 80}{2} - \frac{0,006 \cdot 60}{2} = 150,80 \text{ м,}$$

$$H_{A/IV} = 151,10 + \frac{0,003 \cdot 80}{2} + \frac{0,006 \cdot 60}{2} = 151,40 \text{ м,}$$

$$H_{A/III} = 151,10 - \frac{0,003 \cdot 80}{2} + \frac{0,006 \cdot 60}{2} = 151,16 \text{ м.}$$

Проектные отметки всех остальных вершин квадратов определяют из условия, м:

$$H_{nxi} = H_{A/i} - i_x dx, \quad (8.39)$$

$$H_{ny_i} = H_{A/i} - i_y dy, \quad (8.40)$$

$$H_{nB/i} = 151,04 - 0,003 \cdot 20 = 150,98 \text{ м},$$

$$H_{nA/2} = 151,04 + 0,006 \cdot 20 = 151,16 \text{ м}.$$

Рабочие отметки (глубина выемки и высота насыпи) в каждой вершине квадрата, м:

$$h = H_{\phi} - H_n, \quad (8.41)$$

где H_{ϕ} — фактическая отметка поверхности земли, м; H_n — проектная отметка, определяемая по зависимости (8.34)–(8.40), м.

Если $H_{\phi} > H_n$, требуется выемка h_{ϕ} , $H_{\phi} < H_n$ — насыпь h_n .

Все расчеты ведут в табличной форме (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Ведомость вычисления проектных отметок

Координаты вершин	Отметка поверхности земли, м		Рабочая отметка, м	
	фактическая H_{ϕ}	проектная H_n	выемки h_{ϕ}	насыпи h_n
1	2	3	4	5
A-1	150,64	151,04	—	0,40
A-2	150,79	151,16	—	0,37
A-3	150,86	151,28	—	0,42
A-4	151,06	151,40	—	0,34
B-1	151,01	150,93	0,03	—
B-2	151,07	151,10	—	0,03
B-3	150,92	151,22	—	0,30
B-4	151,14	151,34	—	0,20
B-1	150,97	150,92	0,05	—
B-2	150,90	151,04	—	0,14
B-3	151,07	151,16	—	0,09
B-4	151,96	151,28	0,08	—
Г-1	151,05	150,36	0,19	—
Г-2	151,09	150,98	0,11	—
Г-3	151,27	151,10	0,17	—
Г-4	151,53	151,22	0,21	—

1	2	3	4	5
Д-1	151,22	150,60	0,42	-
Д-2	151,36	150,92	0,44	-
Д-3	151,42	151,04	0,38	-
Д-4	151,64	151,16	0,48	-

8.4. Составление картограммы земляных работ

Картограмма представляет собой чертеж (рис. 8.7) в виде сетки квадратов со стороной 20 м в М 1:500. В углах каждого квадрата подписывают отметки естественного рельефа, проектные и рабочие отметки с соответствующими знаками. Глубина выемки указывается знаком (-), а высота насыпи знаком (+). Все отметки берут из табл. 8.2.

Положения линии нулевых работ, т.е. пересечения проектной плоскости с естественным рельефом строительной площадки, определяют в такой последовательности. Сначала находят стороны квадратов с точками нулевых работ, вершины квадратов в которых имеют отметки с противоположными знаками.

Положение точек нулевых работ на каждой из сторон квадрата от его ближайших вершин (рис. 8.6)

$$d_1 = d \cdot h_1 / (|h_1| + |h_2|), \quad (8.42)$$

$$d_2 = d \cdot |h_2| / (|h_1| + |h_2|), \quad (8.43)$$

где $|h_1|$ и $|h_2|$ - абсолютное значение рабочих отметок двух соседних вершин квадрата, м; d_1 и d_2 - расстояния до линии нулевых работ от ближайших вершин квадрата, м; d - длина стороны квадрата, равная 20 м.

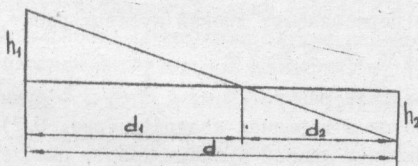


Рис. 8.6. Определение линии нулевых работ

Контролем правильности определения положения по стороне квадрата линии нулевых работ служит равенство

$$d_1 + d_2 = d. \quad (8.44)$$

Положение линии нулевых работ на стороне А/І-В/І, м :

$$d'_1 = \frac{0,03}{0,03 + 0,40} 20 = 1,40,$$

$$d'_2 = \frac{0,40}{0,03 + 0,40} 20 = 18,60.$$

Контроль: $d'_1 + d'_2 = 1,40 + 18,60 = 20$ м (табл. 8.3).

Точки положения линии нулевых работ на всех сторонах квадратов соединяют между собой и в результате на картограмме получают местоположение линии нулевых работ. Образец оформления картограммы земляных работ показан на рис. 8.7.

Таблица 8.3

Местоположение линии нулевых работ

Сторона квадрата	d'_1 , м	d'_2 , м	Контроль $d'_1 + d'_2$, м
А/І-В/І	18,60	1,40	20,00
В/І-В/2	10,00	10,00	20,00
В/І-В/2	5,26	14,74	20,00
2/В-2/Г	11,20	8,80	20,00
3 В-3/Г	6,92	13,08	20,00
В/3-В/4	10,59	9,41	20,00
4/В-4/В	14,29	5,71	20,00

8.5. Вычисление объема земляных работ

Объем земляных работ подсчитывают по каждому квадрату отдельно для насыпи и выемки, м³:

$$V = S h_c, \quad (8.45)$$

где S - площадь фигуры, м²; h_c - средняя рабочая отметка фигуры, м.

В квадратах, не пересекаемых линией нулевых работ,

$$V = d^2 \sum h_i / 4, \quad (8.46)$$

где d - сторона квадрата, равная 20 м; $\sum_{i=1}^4 h_i$ - сумма абсолютных значений рабочих отметок в вершинах квадрата (рис. 8.7), м.

Квадраты пересекаемые линией нулевых работ, расчленяют на треугольники (рис. 8.7).

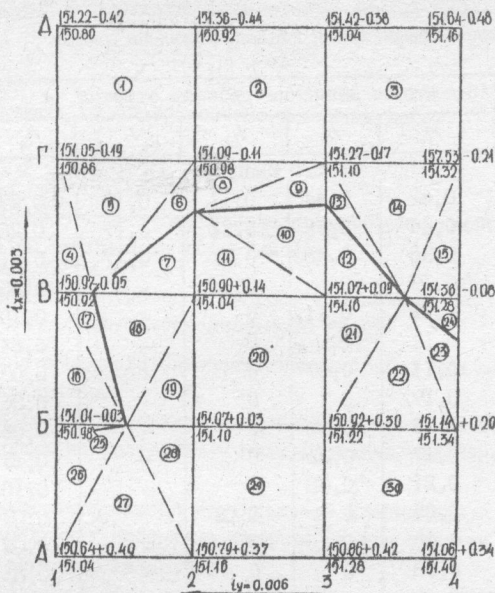


Рис. 8.7. Картограмма земляных работ, М 1:500

Объем земляной призмы, основание которой – треугольник, вычисляют по зависимости

$$V = 0,5 d_1 d_2 \sum h_i / 3, \quad (8.47)$$

где d_1 и d_2 определены по зависимостям (8.42), (8.43), м; $\sum_{i=1}^3 h_i$ – сумма абсолютных значений рабочих отметок в вершинах треугольника (рис. 8.7), м.

Все расчеты ведут в табличной форме (табл. 8.4).

Контролем правильности вычисления служит равенство суммы площадей всех фигур общей площади строительной площадки, м²:

$$\sum S_B + \sum S_N = n d^2 = 2286,2 + 2513,8 = 12 \cdot 20^2 = 4800, \quad (8.48)$$

где $\sum S_N$ – площадь фигур, где предусматривается насыпь, м²; n – количество квадратов; d – длина стороны квадрата, м.

Объем насыпи должен соответствовать объему выемки

$$\sum V_N = \sum V_B. \quad (8.49)$$

Ведомость вычисления объема земляных работ

Таблица 8.4

Номер фигу- ры	Площадь фигуры $S, \text{ м}^2$	Абсолютное значение рабочих отметок, м					Объем $V, \text{ м}^3$
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	
Выемка							
1	400	0,42	0,44	0,11	0,12	0,27	109
2	400	0,44	0,32	0,12	0,17	0,26	104
3	400	0,38	0,48	0,21	0,17	0,31	124
4	52,6	0,19	0	0,05	-	0,08	4,2
5	200	0,19	0,11	0	-	0,10	20
6	64,9	0,11	0	0	-	0,04	2,4
7	88	0,11	0,17	0	-	0,09	8,2
9	130,8	0,17	0	0	-	0,06	7,4
13	69,3	0,17	0	0	-	0,06	3,9
14	200	0,17	0,21	0	-	0,13	25,4
15	94,1	0,21	0,08	0	-	0,10	9,1
16	100	0,05	0	0,03	-	0,03	2,7
17	52,6	0,05	0	0	-	0,02	0,9
24	26,9	0,08	0	0	-	0,03	0,7
25	7	0,03	0	0	-	0,01	0,1

$\Sigma = 422$

Насыпь							
7	82,5	0	0	0,14	-	0,05	3,8
10	69,2	0	0	0,09	-	0,03	2,1
11	112	0	0,09	0,14	-	0,08	8,6
12	36,6	0	0	0,09	-	0,03	1,1
18	147,4	0	0,14	0	-	0,05	6,9
19	100	0,14	0,03	0	-	0,06	5,7
20	400	0,14	0,09	0,30	0,03	0,16	56
21	105,9	0,09	0	0,30	-	0,13	13,8
22	200	0	0,20	0,30	-	0,17	33,3
23	17,2	0	0	0,20	-	0,07	4,5
26	93	0	0	0,40	-	0,13	10,0
27	200	0	0,37	0,40	-	0,26	51,3
28	100	0	0,03	0,37	-	0,13	13,3
29	400	0,03	0,30	0,42	0,37	0,28	112
30	400	0,30	0,20	0,34	0,42	0,41	126
$\Sigma = 2513,8$							

$\Sigma = 448,4$

Относительная погрешность определения объема земляных работ

$$\Delta V = \frac{\sum V_n - \sum V_s}{\sum V_n + \sum V_s} 100\% \quad (8.50)$$

не должна превышать 5% общего объема земляных работ.

$$\Delta V = \frac{448,4 - 422,0}{448,4 + 422,0} 100\% = 3,22\%.$$

Относительная погрешность определения объема земляных работ

$\Delta V = 3,22\% \pm 5\%$, что меньше допустимого.

8.6. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения

1. Состав и последовательность полевых работ при нивелировании поверхности по квадратам.
2. Каковы состав и порядок камеральных работ при составлении топографического плана по результатам нивелирования поверхности по квадратам?
3. Методы проектирования вертикальной планировки.
4. Как определяют проектные отметки центра тяжести оформляющей плоскости и в вершинах квадратов?
5. Каков порядок составления картограммы земляных работ?
6. Как вычисляют объем земляных работ?
7. По результатам нивелирования поверхности по квадратам составьте топографический план.
8. Запроектируйте наклонную площадку с соблюдением баланса земляных работ.
9. Составьте картограмму земляных работ и вычислите объем земляных масс.

9. РАСЧЕТ РАЗБИВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ ПЕРЕНЕСЕНИЯ ОСНОВНЫХ ОСЕЙ СООРУЖЕНИЙ В НАТУРУ

9.1. Выбор оптимального способа разбивки осей зданий и сооружений

В инженерно-геодезической практике разбивка основных сетей зданий и сооружений осуществляется различными способами: линейной и створной засечки, прямоугольных и полярных координат, прямой угловой засечки и замкнутого прямоугольника.

Способ прямоугольных координат применяется при наличии на строительной площадке строительной координатной сетки или закрепленных на местности красных линий застройки (рис. 9.1).

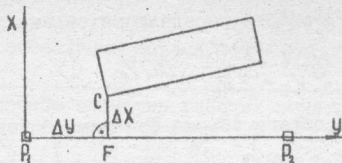


Рис. 9.1. Способ прямоугольных координат

Сущность способа. На стороне строительной координатной сетки или линии красной застройки от ближайшего пункта откладывают приращение координат ΔY . Установив теодолит в точке F , строят перпендикуляр, на котором откладывают ΔX и закрепляют полученную точку C . Перпендикуляр ΔX не должен превышать длину мерного прибора.

Приращение координат, м:

$$\Delta x = (x_c - x_{P_1}) \cos \alpha_0 + (y_c - y_{P_1}) \sin \alpha_0, \quad (9.1)$$

$$\Delta y = (y_c - y_{P_2}) \cos \alpha_0 - (x_c - x_{P_2}) \sin \alpha_0, \quad (9.2)$$

где x_c и y_c — координаты проектной точки, м; x_{P_1} , y_{P_1} — исходной точки, м; α_0 — дирекционный угол линии P_1P_2 .

Точность разбивки точки способом прямоугольных координат оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_c = \sqrt{m_n^2 + m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2 + m_{\text{цр}}^2 + m_{\text{ф}}^2 + m_{\beta}^2 \Delta x^2 / \rho^2}, \quad (9.3)$$

где m_n — средняя квадратическая погрешность определения положения опорного геодезического пункта; $m_{\Delta x}$, $m_{\Delta y}$ — средние квадратические погрешности построения на местности приращения координат; $m_{\text{цр}}$ — средняя квадратическая погрешность центрирования и редукции; $m_{\text{ф}}$ — средняя квадратическая погрешность фиксирования точки на местности; m_{β} — средняя квадратическая ошибка построения угла β ; ρ — число секунд в радиане (206275").

Способ полярных координат применяется на открытой и сравнительно ровной местности при наличии пунктов полигонометрии (рис. 9.2).

Сущность способа. Местоположение точки пересечения основных осей здания или сооружения получают путем построения теодолитом полярного угла β от направления на два геодезических пункта и откладывания

длины радиус-вектора d . Угол β строят при двух положениях вертикального круга теодолита. Полярный угол β и радиус-вектор d получают решением обратной геодезической задачи

$$\operatorname{tg} \alpha_{P,C} = (y_c - y_{P_1}) / (x_c - x_{P_1}), \quad (9.4)$$

$$d = (y_c - y_{P_1}) / \sin \alpha_{P,C} = (x_c - x_{P_1}) / \cos \alpha_{P,C}, \quad (9.5)$$

$$\beta = \alpha_{P_1 P_2} - \alpha_{P,C}, \quad (9.6)$$

где x_c, y_c - координаты проектной точки, м; x_{P_1}, y_{P_1} - координаты опорного геодезического пункта, м; $\alpha_{P,C}$ - дирекционный угол направления $P_1 C$; $\alpha_{P_1 P_2}$ - дирекционный угол стороны геодезической разбивочной сети.

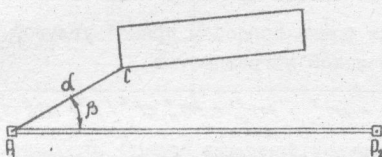


Рис. 9.2. Способ полярных координат

Точность разбивки точки способом полярных координат оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_c = \sqrt{m_n^2 + m_{\varphi_P}^2 + m_{\varphi_C}^2 + m_d^2 + m_{\rho}^2 d^2 / \rho^2}, \quad (9.7)$$

где m_d - средняя квадратическая погрешность отложения радиус-вектора d .

Способ прямой угловой засечки применяется при наличии на строительной площадке местных препятствий, когда непосредственные измерения расстояний невозможны или когда определяемые точки находятся на значительном удалении от опорной геодезической сетки и расположены на разных горизонтальных плоскостях (рис. 9.3). Такие условия встречаются в основном при строительстве гидротехнических сооружений и мостов.

Сущность способа. Положение проектной точки C на местности получают в результате одновременного построения разбивочных углов β_1 и β_2 от базиса $P_1 P_2$. Разбивочные углы

$$\beta_1 = \alpha_{P_1 P_2} - \alpha_{P_1 C}, \quad (9.8)$$

$$\beta_2 = \alpha_{P_2 P_1} - \alpha_{P_2 C}, \quad (9.9)$$

Здесь и дальше остальные обозначения в формулах по определению средних квадратических погрешностей прежние.

где $\alpha_{P_1 P_2}$ и $\alpha_{P_2 P_1}$ - прямой и обратный дирекционные углы базисной стороны; $\alpha_{P_1 C}$ и $\alpha_{P_2 C}$ - дирекционные углы сторон, вычисляемые решением обратной геодезической задачи по известным координатам пунктов P_1 и P_2 и проектным координатам точки C .

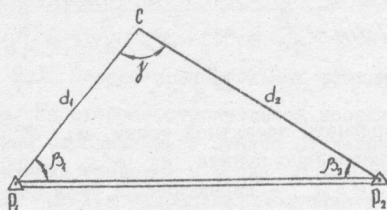


Рис. 9.3. Способ прямой угловой засечки

Точность разбивки точки способом прямой угловой засечки оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_c = \sqrt{m_n^2 + m_{np}^2 + m_\varphi^2 + m_{P_1}^2 d_1^2 / \rho^2 + m_{P_2}^2 d_2^2 / \rho^2}, \quad (9.10)$$

где m_{P_1} , m_{P_2} - средние квадратические погрешности построения разбивочных углов β_1 и β_2 ; d_1 и d_2 - разбивочные стороны.

Наибольшая точность построения точки способом прямой угловой засечки достигается при углах β_1 и β_2 , равных $30^\circ \dots 40^\circ$.

Способ линейной засечки применяется на открытой и сравнительно ровной строительной площадке, когда расстояние до проектируемой точки от двух опорных точек не превышает длины мерного прибора, а углы находятся в пределах $40^\circ \dots 140^\circ$ (рис. 9.4).

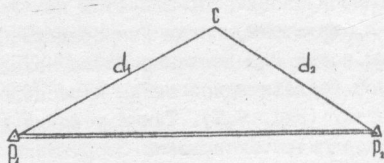


Рис. 9.4. Способ линейной засечки

Сущность способа. Положение проектной точки C на местности получают в результате пересечения двух дуг радиусами $P_1 C$ и $P_2 C$, которые получают решением обратной геодезической задачи.

Точность разбивки точки способом линейной засечки оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_c = \sqrt{m_n^2 + m_{\text{чр}}^2 + m_{\text{ф}}^2 + (m_{d_1}^2 + m_{d_2}^2) / \sin^2 \gamma}, \quad (9.11)$$

где m_{d_1} , m_{d_2} - средние квадратические погрешности построения радиусов P_1C и P_2C .

Способ створной засечки применяется при разбивке осей промышленных, гражданских и гидротехнических зданий, где оси пересекаются преимущественно под прямым углом (рис. 9.5).

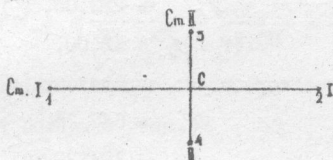


Рис. 9.5. Способ створной засечки

Сущность способа. Положение проектной точки C получают пересечением двух линий, полученных визированием по двум сторонам I-I и II-II. Створы создаются одновременно двумя теодолитами. Контроль получения точки C на местности осуществляется промерами на ранее вынесенные и закрепленные точки сооружения.

Координаты точки $C (X_c; Y_c)$ получают из уравнений

$$(x_c - x_1) / (x_2 - x_1) = (y_c - y_1) / (y_2 - y_1), \quad (9.12)$$

$$(x_c - x_3) / (x_4 - x_3) = (y_c - y_3) / (y_4 - y_3), \quad (9.13)$$

где $x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4$ - координаты концов двух пересекающихся створов.

Точность разбивки точки способом створной засечки оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_c = \sqrt{m_{\text{ст I}}^2 + m_{\text{ст II}}^2 + m_{\text{ф}}^2}, \quad (9.14)$$

где $m_{\text{фок}}$ - средние квадратические погрешности построения створов, определяемые по формуле

$$m_{\text{ст I}} = m_{\text{ст II}} = \sqrt{m_n^2 + m_{\text{д}}^2 + m_{\text{р}}^2 + m_{\text{фок}}^2 + m_{\text{в}}^2}, \quad (9.15)$$

где $m_{\text{фок}}$ - средняя квадратическая погрешность за фокусировки зрительной трубы; $m_{\text{в}}$ - средняя квадратическая погрешность визирования;

m_y - средняя квадратическая погрешность центрирования теодолита;
 m_p - средняя квадратическая погрешность редукции визирных целей.

9.2. Расчет разбивочных элементов при выносе в натуру основных осей способом полярных координат

Исходные данные для расчета получают графоаналитическим способом. Координаты точек пересечения основных осей сооружения определяют графически на топографическом плане.

Например, аналитически установлены проектные значения, м:

$$\begin{aligned} x_{P_1} &= 697,30, & x_{P_2} &= 679,50, \\ y_{P_1} &= 115,70, & y_{P_2} &= 223,05, \\ d_3 = d_4 &= 60,20, & d_5 = d_6 &= 12,00. \end{aligned}$$

Графически с топографического плана определены, м:

$$\begin{aligned} x_A &= 644,70, & x_C &= 647,25, \\ y_A &= 133,05, & y_C &= 193,20. \end{aligned}$$

Расчет разбивочных элементов, сущность которого заключается в неоднократном решении обратной геодезической задачи (рис. 9.6), ведут в такой последовательности:

а) вычисляют дирекционный угол $\alpha_{P_1 P_2}$ линии $P_1 P_2$ по координатам опорных геодезических точек

$$\text{tg } \alpha_{P_1 P_2} = \frac{y_{P_2} - y_{P_1}}{x_{P_2} - x_{P_1}} = \frac{+107,35}{-17,80} = -6,0309.$$

При этом названия румба, а следовательно, и дирекционного угла определяют по знакам приращений координат (табл. 2.2).

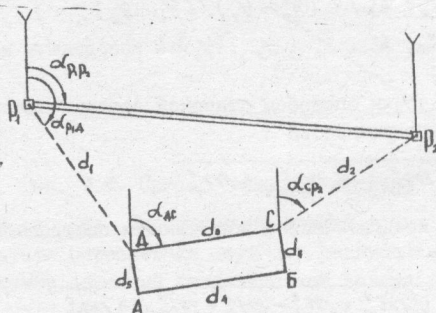


Рис. 9.6. Схема к расчету разбивочных элементов способом полярных координат

По известному значению тангенса угла определяют румб $\gamma_{P_1 P_2} = 108^\circ 80', 5853$ и дирекционный угол $\alpha_{P_1 P_2} = 99^\circ 24', 9$;

б) вычисляют дирекционные углы $\alpha_{P_1 A}$, $\alpha_{P_2 C}$ и α_{AC} линий $P_1 A$, $P_2 C$ и AC по координатам опорных геодезических точек и координатам пересечения осей сооружения

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_1 A} = \frac{y_A - y_{P_1}}{x_A - x_{P_1}} = \frac{+17,35}{-52,60} = -0,32985,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{P_2 C} = \frac{y_C - y_{P_2}}{x_C - x_{P_2}} = \frac{+29,85}{+32,35} = 0,92558,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{AC} = \frac{y_C - y_A}{x_C - x_A} = \frac{+60,15}{+2,55} = 23,58824,$$

$$\alpha_{P_1 A} = 161^\circ 44', 7 \quad \alpha_{P_2 C} = 42^\circ 47', 2 \quad \alpha_{AC} = 87^\circ 34', 3;$$

в) вычисляют полярные углы β_1 , β_2 , β_3 и β_4 как разности дирекционных углов (рис. 9.7)

$$\beta_1 = \alpha_{P_1 A} - \alpha_{P_1 P_2} = 161^\circ 44', 7 - 99^\circ 24', 9 = 62^\circ 19', 8,$$

$$\beta_2 = \alpha_{P_2 P_1} - \alpha_{P_2 C} = 279^\circ 24', 9 - 222^\circ 47', 2 = 56^\circ 37', 7,$$

$$\beta_3 = 360^\circ 00' + \alpha_{P_2 C} - \alpha_{CA} = 360^\circ 00' + 42^\circ 47', 2 - 267^\circ 34', 3 = 135^\circ 12', 9,$$

$$\beta_4 = 360^\circ 00' - \alpha_{AC} + \alpha_{AP_1} = 360^\circ 00' + 87^\circ 34', 3 - 341^\circ 44', 7 = 105^\circ 49', 6.$$

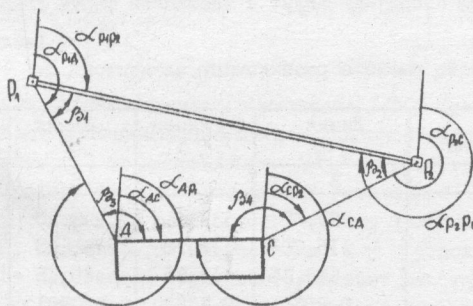


Рис. 9.7. Схема к определению полярных углов и контроля вычисления дирекционных углов

Контролем вычисления углов для замкнутого четырехугольника служит равенство их теоретической и практической сумм.

$$\sum \beta_r = 180^\circ (n-2) = 360^\circ 00',$$

$$\sum \beta_n = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 62^\circ 19',8 + 56^\circ 37',7 + 135^\circ 12',9 + 105^\circ 49',6 = 360^\circ 00',$$

$$\sum \beta_r = \sum \beta_n = 360^\circ 00';$$

г) вычисляют горизонтальные расстояния, м:

$$d'_1 = \frac{y_A - y_{P_1}}{\sin \alpha_{P_1 A}} = \frac{17,35}{0,313225} = 55,39,$$

$$d''_1 = \frac{x_A - x_{P_1}}{\cos \alpha_{P_1 A}} = \frac{52,60}{0,94967} = 55,39,$$

$$d_{1c} = \frac{d'_1 + d''_1}{2} = \frac{(55,39 + 55,39)}{2} = 55,39,$$

$$d'_2 = \frac{y_c - y_{P_2}}{\sin \alpha_{P_2 C}} = \frac{29,85}{0,67927} = 43,94,$$

$$d''_2 = \frac{x_c - x_{P_2}}{\cos \alpha_{P_2 C}} = \frac{32,25}{0,73389} = 43,94,$$

$$d_{2c} = \frac{d'_2 + d''_2}{2} = \frac{(43,94 + 43,94)}{2} = 43,94.$$

Все расчеты разбивочных элементов при выносе в натуру основных осей способом полярных координат ведут в табличной форме (табл. 9.1, 9.2).

Таблица 9.1

Ведомость расчета разбивочных элементов

Номер действия	Формула и обозначение	Линия $P_1 P_2$	Линия $P_1 A$	Линия AC	Линия $P_2 C$
1	2	3	4	5	6
1	y_2	223,05	133,05	193,20	223,05
3	y_1	115,70	115,70	133,05	193,20
5	$\Delta y = y_2 - y_1$	+107,35	+17,35	+60,15	+29,85
10	$\sin \alpha_{12}$	0,9865	0,3132	0,9991	0,6817
12	$d' = \Delta y / \sin \alpha_{12}$	108,82	55,39	60,20	43,94
2	x_2	679,50	644,70	647,25	679,50
4	x_1	697,30	697,30	644,70	647,25

I	2	3	4	5	6
6	$\Delta x = x_2 - x_1$	-17,80	-52,60	+2,55	+32,25
II	$\cos \alpha_{12}$	0,1635	0,9496	0,0423	0,7338
13	$d'' = \Delta x / \cos \alpha_{12}$	108,82	55,39	60,19	43,94
7	$tg r_{12} = \Delta y / \Delta x$	-6,0309	-0,32985	23,5882	0,9255
8	r_{12}	-30°, 5852	-18°, 2550	87°, 5724	42,7867
9	α_{12}	99°, 24', 9	161° 47', 7	87° 34', 3	42° 47', 2
14	d_c	108,82	55,39	60,20	43,94

Таблица 9.2
Ведомость расчета проектных углов

Направление	Дирекционный угол	Проектный угол	Обозначение угла
$P_1 A$	161° 44', 7	62° 19', 8	β_1
$P_1 P_2$	99° 24', 9		
$P_2 P_1$	279° 24', 9	56° 37', 7	β_2
$P_2 C$	222° 47', 2		
$C P_2$	42° 47', 2	135° 12', 9	β_3
CA	267° 34', 3		
AC	87° 34', 3	105° 49', 6	β_4
AP_1	341° 44', 7		

Контроль: $\sum \beta_n = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4 = 360^\circ 00'$.

Разбивочный чертеж строится в масштабе 1:500 (рис. 9.8). Сначала на нем показывают местоположение пунктов опорной геодезической сети P_1 и P_2 . В пункте P_1 от направления $P_1 P_2$ строят угол $\beta_1 = 62^\circ 19', 8$. На полученном радиус-векторе откладывают расстояние $d_1 = 55,39$ м. Местоположение точки С на разбивочном чертеже является пересечением осей I-I и А-А. В точке С от направления $C P_1$ строят угол $\beta_3 = 105^\circ 49', 6$. На полученном отрезке откладывают расстояние между осями I-I и П-П $d_3 = 60,00$ м. В точках С и Д строят перпендикуляры, на которых откладывают расстояния между осями А-А и В-В $d_4 = 12,00$ м. Через полученные точки проводят ось В-В. На разбивочном чертеже подписывают все оси, углы и расстояния черной тушью.

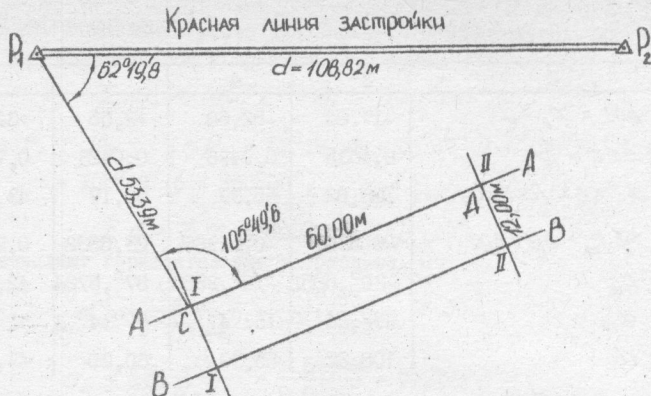


Рис. 9.8. Разбивочный чертеж, М 1:500

9.3. Определение точности разбивки осей способом полярных координат

Точность разбивка точки способом полярных координат оценивается средней квадратической погрешностью

$$m_c = \sqrt{m_n^2 + m_{\alpha P}^2 + m_{\rho}^2 + m_{d_{P,C}}^2 + m_{\beta}^2 d_{P,C}^2 / \rho^2}. \quad (9.16)$$

Средние квадратические погрешности, входящие в формулу по определению точности разбивки точки способом полярных координат, определяют согласно Руководству по расчету точности геодезических работ в промышленном строительстве (М., 1979).

Средняя квадратическая погрешность определения положения опорного пункта

$$m_n = \sqrt{(1,5 + 0,5 K^2 - K \cos \beta_1) m_{P_1}^2 + 0,5 K^2 m_{\beta}^2}, \quad (9.17)$$

где $K = \frac{d_{P_1 P_2}}{d_{P_1 C}} = \frac{55,4}{108,8} = 0,51$; m_{P_1} - средняя квадратическая погрешность положения пункта P_1 , принимаемая $m_{P_1} = \pm 0,006 \text{ м}$; m_{β} - средняя квадратическая погрешность построения угла для теодолита ТЗ0 $m_{\beta} = 1''$; $d_{P_1 P_2}$ - расстояние между пунктами (108,82), м; $d_{P_1 C}$ - расстояние

т опорного пункта до точки пересечения осей (55,39), м; β , - проектный угол ($62^{\circ} 19'$) =

$$\sqrt{(1,5 + 0,5 \cdot 0,51^2 - 0,51 \cos 62^{\circ} 19') 0,006^2 + 0,5 \cdot 0,51^2 \left(\frac{1}{3438}\right)^2} = \pm 0,003 \text{ м.}$$

Средняя квадратическая погрешность центрирования и редукции

$$m_{\text{чр}} = e \sqrt{1 + (d_{p_0}/d_{p_1 p_2})^2 + \cos \beta d_{p_0}/d_{p_1 p_2}}, \quad (9.18)$$

где e - линейный элемент центрирования и редукции.

$$m_{\text{чр}} = \pm 0,007 \text{ м.}$$

Средняя квадратическая погрешность построения радиус-вектора $P_1 C$

$$m_{d_{p_1 c}} = \pm 0,003 \sqrt{n}, \quad (9.19)$$

где n - количество мерных лент, уложенных в расстояние $P_1 C$,

$$m_{d_{p_1 c}} = 0,003 \sqrt{2,8} = 0,005 \text{ м.}$$

Средняя квадратическая погрешность фиксирования проектной отметки принимается $m_{\text{ф}} = 3 \text{ мм} = 0,003 \text{ м.}$

Средняя квадратическая погрешность разбивки осей способом полярных координат

$$m_c = \sqrt{(0,008)^2 + (0,007)^2 + (0,003)^2 + (0,005)^2 + \left(\frac{1}{3438}\right)^2 (55)^2} = \pm 0,012 \text{ м,}$$

9.4. Применение ЭВМ для расчета разбивочных элементов

Значительно ускорить, облегчить и увеличить точность расчета разбивочных элементов позволяет применение ЭВМ. Расчетам на них предшествует разработка блок-схем, алгоритмов и программ решения обратной геодезической задачи. Программа решения обратной геодезической задачи приводится в табл. 9.3, инструкции по вводу исходных данных - в табл. 9.4.

Таблица 9.3

Программа решения обратной геодезической задачи
на "Электронике МК-54"

Адрес команды	Нажимаемый клавиш	Код команды	Адрес команды	Нажимаемый клавиш	Код команды
	В/0		17	27	27
	F _{прг}		18	↔	14
00	-	11	19	$F \cos^{-1}$	1-
01	5 → П	45	20	1-1	01
02	FQ	25	21	3	03
03	-	11	22	6	06
04	4 → П	44	23	0	00
05	$F x^2$	22	24	+	10
06	П → 5	65	25	БП	51
07	x^2	22	26	24	29
08	+	10	27	↔	14
09	FV	21	28	$F \cos^{-1}$	-1
10	КНОП	54	29	С/П	50
11	С/П	50	30	-	11
12	П → 4	64	31	6	06
13	↔	14	32	0	00
14	:	13	33	X	12
15	П → 3	65	34	С/П	50
16	$FX < 0$	58		$F_{\text{авт}}$	

Таблица 9.4

Инструкция по вводу исходных данных

Исходные данные	Клавиш
x_2	В ↑
x_1	В ↑
y_2	В ↑
y_1	В/0
α	С/П
α'''	С/П
α''	
α'	С/П

9.5. Контрольные вопросы и задачи
для самостоятельного решения

1. Сущность способа прямоугольных координат.
2. Сущность способа полярных координат.
3. Сущность способа прямой угловой засечки.
4. Сущность способа линейной засечки.
5. Сущность способа створной засечки.
6. Определите разбивочные элементы и составьте разбивочный схематический чертеж для выноса в натуру основных осей способом полярных координат.
7. Рассчитайте точность разбивки осей способом полярных координат.

10. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА

10.1. Определение высоты доступного сооружения

Требуется определить высоту H доступного сооружения (рис. 10.1). Известно его местоположение. Приборы и инструменты: теодолит ТЗ0, лента ЛЗ-20, колышки и топор.

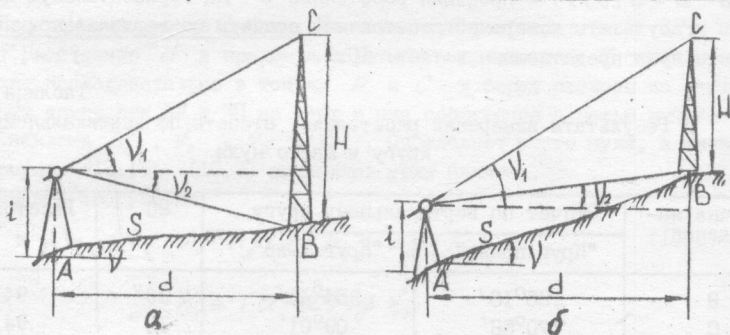


Рис. 10.1. Определение высоты доступного сооружения

Порядок выполнения работы. В точке А устанавливают теодолит и при двух положениях вертикального круга берут отсчеты по вертикальному кругу на верх C и на низ B сооружения. Мерной лентой измеряют в прямом и обратном направлениях расстояние S от точки А до сооружения и угол ее наклона V к горизонту.

Вычисляют углы наклона по отсчетам:
при "круг право"

$$V_1 = MO - R_c - 180^\circ, \quad V_2 = MO - R_B - 180^\circ, \quad (10.1)$$

при "круг лево"

$$V_1 = L_c - MO, \quad V_2 = L_s - MO, \quad (10.2)$$

где R_c, R_s - отсчеты при "круг право", соответственно на верх (точка С) и низ (точка В) сооружения; L_c, L_s - отсчеты при "круг лево"; MO - место нуля, определяемое из условия

$$MO' = \frac{R_1 + L_1 + 180^\circ}{2} = \frac{170^\circ 58' + 09^\circ 01' + 180^\circ}{2} = 30'',$$

$$MO'' = \frac{R_2 + L_2 + 180^\circ}{2} = \frac{170^\circ 43' + 109^\circ 18' + 180^\circ}{2} = 30''.$$

Высоту доступного сооружения вычисляют по зависимости расчетная схема согласно рис. 10.1, а

$$H = d(\operatorname{tg} V_1 + \operatorname{tg} V_2), \quad (10.3)$$

согласно рис. 10.1, б

$$H = d(\operatorname{tg} V_1 - \operatorname{tg} V_2), \quad (10.4)$$

где $d = S \cos V$ - проекция расстояния S на горизонтальную плоскость

Результаты измерений расстояния, отсчеты по вертикальному кругу, место нуля представлены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Результаты измерений расстояния, отсчеты по вертикальному кругу и место нуля

Точка на- ведения	Отсчет по вертикальному кругу		МО	Расстояние S , м
	"Круг право"	"Круг лево"		
В	185°18'	354°43'	30"	94,79
С	170°58'	09°01'	30"	94,71

Результаты расчетов по определению высоты доступного сооружения представлены в табл. 10.2.

Таблица 10.2

Ведомость определения высоты доступного сооружения

МО	V_1	V_2	$S, м$	V	$\cos V$	$d, м$	$\operatorname{tg} V_1$	$\operatorname{tg} V_2$	$H, м$
30"	09°00,5	05°17,5	94,75	3°15'	0,998	94,60	0,158	0,093	23,7

10.2. Определение высоты недоступного сооружения

Необходимо определить высоту H недоступного сооружения (рис. 10.2). Известно местоположение сооружения. Приборы и инструменты: теодолит Т 30, лента ЛЗ-20, кольшки и топор.

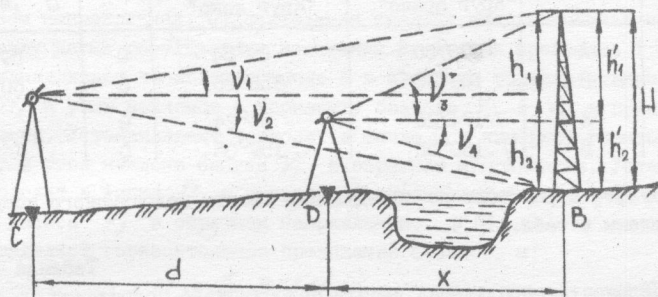


Рис. 10.2. Определение высоты недоступного сооружения

Порядок выполнения работы. На местности разбивают базис CD и измеряют расстояние d в прямом и обратном направлениях. Устанавливают теодолит последовательно в точках D и C и берут отсчеты по вертикальному кругу при КЛ и КП на верх и низ сооружения с целью вычисления углов наклона V_1, V_2, V_3, V_4 . Определяют место нуля, а затем по формулам (10.1) – (10.2) вычисляют углы наклона.

Высота сооружения

$$H = 0,5 [(h_1 + h_2) + (h'_1 + h'_2)], \quad (10.5)$$

где

$$\begin{aligned} h_1 &= (d+x) \operatorname{tg} V_1, \\ h_2 &= (d+x) \operatorname{tg} V_2, \\ h'_1 &= x \operatorname{tg} V_3, \\ h'_2 &= x \operatorname{tg} V_4. \end{aligned} \quad (10.6)$$

Значение X вычисляется по зависимости

$$X = d (\operatorname{tg} V_1 + \operatorname{tg} V_2) / (\operatorname{tg} V_3 + \operatorname{tg} V_4 - \operatorname{tg} V_1 - \operatorname{tg} V_2). \quad (10.7)$$

Результаты измерения расстояния, отсчеты по вертикальному кругу и место нуля представлены в табл. 10.3.

Результаты измерения расстояния, отсчеты
по вертикальному кругу и место нуля

Станция	Точка наведения	Отсчет по вертикальному кругу		МО	Расстояние d , м
		"Круг право"	"Круг лево"		
D	A	170°56'	09°24'	0	59,95
	B	183°35'	356°25'	0	60,05
C	A	174°26'	05°24'	0	
	B	180°55'	359°05'	0	

Результаты расчетов по определению высоты недоступного сооружения представлены в табл. 10.4.

Таблица 10.4

Ведомость определения высоты недоступного сооружения

V_1	V_2	V_3	V_4	d , м	x , м	h_1 , м	h_2 , м	h'_1 , м	h'_2 , м	H , м
05°24'	00°55'	09°24'	03°35'	60,0	56,38	11,00	1,86	9,33	3,53	12,86

10.3. Определение расстояния до недоступной точки

Требуется определить расстояние S от точки А до недоступной точки В (рис. 10.3). Известно местоположение точек А и В. Приборы и инструменты: теодолит Т-30, лента АЗ-20, вехи, колышки и топор.

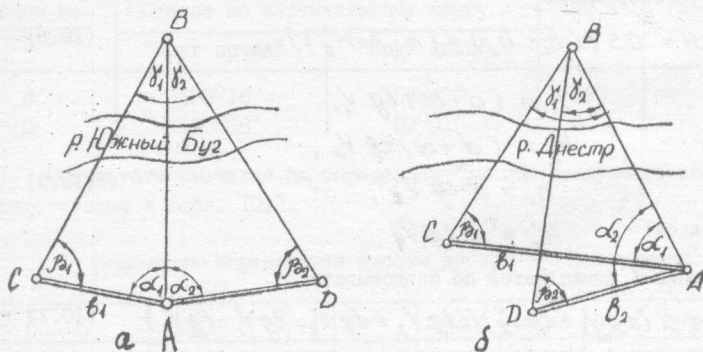


Рис. 10.3. Определение расстояния до недоступной точки:
а — разбивка базисов по обе стороны; б — разбивка базисов в одну сторону

Порядок выполнения работы. От закрепленной кольшком точки А на местности, удобной для угловых и линейных измерений, в зависимости от условий в одну или по обе стороны разбивают два базиса b_1 и b_2 . Точки С и D закрепляют кольшками. При этом данные точки и длину базисов b_1 и b_2 выбирают из условия, чтобы углы γ_1 и γ_2 при засекаемой точке В были не менее 30° . Каждый базис измеряют лентой в прямом и обратном направлениях. Относительная средняя квадратическая погрешность между двумя результатами измерений не должна превышать 1:2000.

Устанавливают теодолит в точке А и измеряют горизонтальные углы α_1 и α_2 и углы наклонов к горизонту базисов V_1 и V_2 в прямом направлении. Устанавливают теодолит в точке С и измеряют горизонтальный угол β_1 и угол наклона базиса V_1' в обратном направлении. Устанавливают теодолит в точке D и измеряют горизонтальный угол β_2 и угол наклона базиса V_2' в обратном направлении.

Определяют горизонтальные проложения базисов, м:

$$d_1 = b_1 \cos V_1, \quad (10.8)$$

$$d_2 = b_2 \cos V_2. \quad (10.9)$$

Вычисляют горизонтальные углы при засекаемой точке В

$$\gamma_1 = 180^\circ - (\alpha_1 + \beta_1), \quad (10.10)$$

$$\gamma_2 = 180^\circ - (\alpha_2 + \beta_2). \quad (10.11)$$

Расстояние S от точки А до недоступной точки В вычисляют по теореме синусов из треугольников

$\triangle ABC$

$$S' = d_1 \sin \beta_1 / \sin \gamma_1, \quad (10.12)$$

$\triangle ABD$

$$S'' = d_2 \sin \beta_2 / \sin \gamma_2. \quad (10.13)$$

Расстояние S равно среднему из двух вычисленных значений

$$S = 0,5 (S' + S'').$$

Результаты измерения длины базисов, горизонтальных углов и углов наклонов базисов представлены в табл. 10.5.

Результаты измерений

Длина базисов		Горизонтальные углы				Углы наклона	
b_1	b_2	α_1	α_2	β_1	β_2	V_1	V_2
85,0	43,0	65°32'	86°27'	82°16'	72°18'	5°21'	3°43'

Результаты расчетов по определению расстояния до недоступной точки представлены в табл. 10.6.

Таблица 10.6

Ведомость определения расстояния до недоступной точки

ΔABC		ΔABD	
Элемент формул	Значение	Элемент формул	Значение
α_1	65°32'	α_2	86°27'
β_1	82°16'	β_2	72°17'
$\alpha_1 + \beta_1$	147°48'	$\alpha_2 + \beta_2$	158°45'
γ_1	32°12'	γ_2	21°15'
$\sin \beta_1$	0,991	$\sin \beta_2$	0,953
$\sin \gamma_1$	0,533	$\sin \gamma_2$	0,262
V_1	5°21'	V_2	3°43'
$d_1 = b_1 \cos V_1$	84,7	$d_2 = b_2 \cos V_2$	42,9
$d \sin \beta_1$	82,9	$d_2 \cos \beta_2$	40,9
S_1	155,5	S_2	154,9

$$S = 0,5 (155,5 + 154,9) = 155,2 \text{ м}$$

10.4. Определение длины линии косвенным методом при наличии препятствия

Необходимо определить длину линии S , на которой построено сооружение и отсутствует непосредственная видимость между точками В и С (рис. 10.4). Известно местоположение точек В и С. Приборы и инструменты: теодолит ТЗ0, лента ЛЗ-20, вехи, колышки и топор.

Порядок выполнения работы. На местности выбирают и закрепляют колышками точку А так, чтобы образовался ΔABC , близкий к равностороннему. С точки А разбивают два базиса b_1 и b_2 , каждый измеряют лентой

в прямом и обратном направлениях. Относительная средняя квадратическая погрешность между результатами измерений не должна превышать 1:2000. Устанавливают теодолит в точке А и измеряют горизонтальный угол α и углы наклонов к горизонту базисов γ_1 и γ_2 .

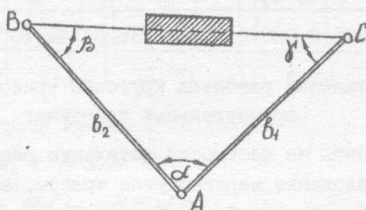


Рис. 10.4. Определение длины линии при наличии препятствия

По формулам (10.1) – (10.2) определяют горизонтальные проложения базисов b_1 и b_2 .

По формулам тригонометрии

$$(\beta + \gamma)/2 = 90^\circ - \alpha/2, \quad (10.14)$$

$$\operatorname{tg} (\beta - \gamma)/2 = [(b_1' - b_2')/(b_1' + b_2')] \operatorname{ctg} \alpha/2 \quad (10.15)$$

вычисляют углы β и γ .

Длину линии S от точки В и до невидимой точки С вычисляют дважды по теореме синусов

$$S' = b_1 \sin \alpha / \sin \beta, \quad S'' = b_2 \sin \alpha / \sin \gamma. \quad (10.16)$$

Расстояние S равно среднему из двух вычисленных значений

$$S = 0,5 (S' + S''). \quad (10.17)$$

Результаты измерений длины базисов, горизонтального угла и углов наклонов базисов представлены в табл. 10.7.

Таблица 10.7

Результаты измерений

Длина базисов, м		Углы наклона		Горизонтальный угол
b_1	b_2	γ_1	γ_2	α
92,50	87,3	6°51'	5°47'	61°38'

Результаты расчетов по определению длины линии косвенным методом при наличии препятствия приведены в табл. 10.8.

β_1'	β_2'	$\frac{(\beta_1 + \beta_2)}{2}$	$\text{ctg } \frac{\alpha}{2}$	$\frac{\beta_1' - \beta_2'}{\beta_1' + \beta_2'}$	$\text{tg } (\beta - \gamma) \frac{1}{2}$	$\frac{(\beta - \gamma)}{2}$	β_3	γ	$S', \text{м}$	$S'', \text{м}$	$S', \text{м}$
91,84	86,86	59° 11'	1,672	0,028	0,0466	2° 38'	61° 49'	56° 33'	91,68	91,60	91,6

10.5. Детальная разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат

Требуется выполнить на местности детальную разбивку круговой кривой. Известно местоположение вершины угла трассы, значение угла поворота трассы θ , шаг разбивки кривой ℓ и радиус круговой кривой R (табл. 10.9). Приборы и инструменты: теодолит ТЗ0, лента ЛЗ-20, колышки и топор. Элементы круговой кривой (рис. 10.5) тангенс T , длину кривой K , домер D и биссектрису B определяют по формулам

$$T = R \text{tg } \theta/2, \quad (10.18)$$

$$K = \pi R \theta^\circ / 180^\circ, \quad (10.19)$$

$$D = 2T - K, \quad (10.20)$$

$$B = R (\sec \theta^\circ / 2 - 1). \quad (10.21)$$

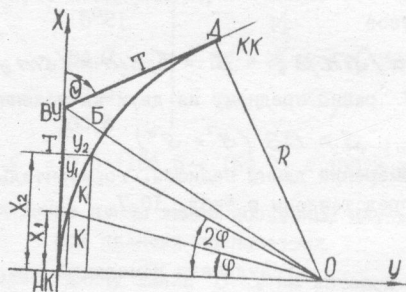


Рис. 10.5. Детальная разбивка круговой кривой

За ось абсцисс принимают тангенс, а за ось ординат — радиус кривой. Начало координат совпадает с началом кривой НК.

Таблица 10.9

Элементы круговой кривой

Угол поворота θ	Радиус, R	Тангенс T , м	Длина кривой K , м	Домер D , м	Биссектриса B , м	Шаг кривой ℓ , м
$19^{\circ}19'$	100	17,02	33,70	0,34	1,44	5,0

Координаты круговой кривой

$$x_i = R \sin \varphi, \quad (10.22)$$

$$y_i = R(1 - \cos \varphi), \quad (10.23)$$

$$x_n = R \sin n\varphi, \quad (10.24)$$

$$y_n = R(1 - \cos n\varphi), \quad (10.25)$$

где угол соответствующей шагу кривой ℓ

$$\varphi = 180^{\circ} \ell / \sqrt{R} = 180^{\circ} \cdot 5 / 3,14 \cdot 100 = 2,87,$$

 n — порядковый номер точки кривой.

Шаг кривой в зависимости от ее длины принимают равным 5 или 10 м. Результаты расчетов координат круговой кривой представлены в табл. 10.10.

После определения координат точек кривой (табл. 10.10) устанавливают теодолит в начале кривой и, проведя линию тангенсов, откладывают в их направлении абсциссы точек $X_1, X_2, X_3 \dots X$. С этих точек последовательно с помощью эскера или теодолита восстанавливают перпендикуляры, на которых откладывают соответственно ординаты $Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_n$. На концах ординат колышками фиксируют точки кривой через интервалы, равные шагу кривой ℓ .

Таблица 10.10

Координаты круговой кривой

Шаг кривой ℓ , м	Угол $n\varphi$	$\sin n\varphi$	$1 - \cos n\varphi$	Координаты, м	
				x	y
5,0	2,87	0,05	0,00125	5,0	0,12
10,0	5,74	0,10	0,00501	10,0	0,50
15,0	8,61	0,1497	0,01127	14,97	1,13
20,0	11,48	0,1990	0,02001	19,90	2,00
25,0	14,35	0,2478	0,0312	24,78	3,12
30,0	17,22	0,2960	0,0448	29,60	4,48

10.6. Перенесение в натуру проектного горизонтального угла

10.6.1. Построение горизонтального проектного угла

Требуется на местности выполнить разбивку проектного горизонтального угла. Известно местоположение вершины угла, направление одной из сторон и угол $\beta_n = 47^\circ 00'$ (рис. 10.6). Приборы и инструменты: теодолит Т30, лента ЛЗ-20, линейка и шпильки, колышек.

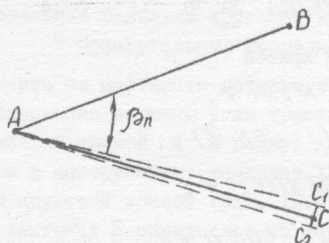


Рис. 10.6. Построение проектного горизонтального угла

Порядок выполнения работы. Устанавливают теодолит в точке А. При "круг право" визируют зрительную трубу на точку В и берут отсчет по горизонтальному кругу $\beta = 19^\circ 50'$. Предвычисляют отсчет на точку С при построении угла β_n по часовой стрелке

$$C = \beta + \beta_n = 19^\circ 50' + 47^\circ 00' = 66^\circ 50', \quad (10.25)$$

при построении угла β_n против часовой стрелки

$$C = \beta - \beta_n = 19^\circ 50' + 360^\circ + 47^\circ 00' = 332^\circ 51'.$$

Открепляют алидаду горизонтального круга. Устанавливают отсчет С и по центру сетки нитей трубы фиксируют шпилькой точку C_1 . Аналогично строят угол С при "круг лево" и фиксируют шпилькой точку C_2 . При отсутствии погрешностей инструментов и других ошибок точки C_1 и C_2 должны совпадать. Если они не совпадают, то отрезок $C_1 C_2$ с помощью линейки делят пополам и фиксируют колышком точку С. Угол ВАС принимают за проектный.

Средняя квадратическая погрешность перенесения в натуру проектного горизонтального угла

$$m_{\beta} = \sqrt{2m_{\beta}^2 + 2m_{\alpha}^2 + m_{\alpha}^2 + 2m_{\rho}^2} = \sqrt{2 \cdot 1,1^2 + 2 \cdot 30^2 + 4,1^2 + 2 \cdot 10,3^2} = 43,9'' \quad (10.26)$$

$$m_{\beta} = 20''/\nu = 20 : 18 = 1,1'', \quad (10.27)$$

где ν - увеличение зрительной трубы теодолитом Т30; погрешность отсчета по горизонтальному кругу

$$m_0 = 0,5 t = 0,5 \cdot 60 = 30'', \quad (10.28)$$

где t - точность отсчетного приспособления; погрешность центрирования

$$m_4 = \frac{\rho \sqrt{2}}{\ell} \sin \beta_n / 2 \sqrt{m_4} = \frac{206265}{40} \sqrt{2} \sin 47/2 \sqrt{2} = 4,1'', \quad (10.29)$$

где ρ - радиус, с (206265); ℓ - длина приблизительно равных сторон угла, м; m_4 - линейная погрешность центрирования, зависящая от вида центрировочного приспособления и высоты теодолита над вершиной угла (табл. 10.11).

Таблица 10.11

Линейная погрешность центрирования

Способ и условия центрирования	Погрешность, мм
Нитяной отвес: при отсутствии ветра	2
при скорости ветра до 3 м/с	3
до 5 м/с	5
Оптический центрир при высоте прибора: для I м	0,3
до 1,5 м	0,5
более 1,5 м	0,7

Погрешность фиксации угла

$$m_\varphi = m'_\varphi \rho / \ell = 2 \cdot 206265 / 40 \cdot 10^3 = 10'',3, \quad (10.30)$$

где m'_φ - линейная погрешность фиксации (табл. 10.12).

Таблица 10.12

Линейная погрешность фиксации

Способ закрепления точки	Погрешность m'_φ , мм
Насечка на металлической пластине	0,5
Карандашом на бетоне:	
на гладкой поверхности	0,5
на шероховатой	0,8
Закрепление шпилькой на поверхности земли	0,7
Закрепление деревянным колышком	2,0

10.6.2. Построение проектного горизонтального угла с заданной точностью

При известной длине стороны угла β_n погрешность положения точки С

$$m_c = m_\beta \ell / \rho. \quad (10.31)$$

Погрешность m_c не должна превышать допустимой проектной погрешности $m_c^{доп}$. Заданы проектный угол $\beta_n = 38^\circ 47' 10''$, требуемая точность построения угла $m_\beta = 10''$ и известна точность теодолита $t = 30$. Построение угла с заданной точностью осуществляется способом редуцирования в такой последовательности.

Проектный угол $\beta_n \approx 38^\circ 47' 20''$ предварительно округляют до минут $\beta'_n = 38^\circ 47'$. При одном положении горизонтального круга теодолита строят на местности угол β'_n и отмечают точку C_0 (рис. 10.7).

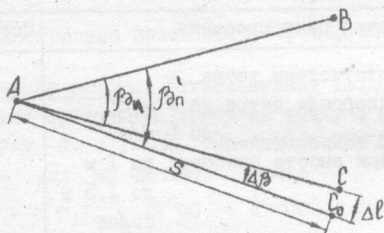


Рис. 10.7. Построение проектного угла с заданной точностью

Измеряют построенный угол β'_n многократно необходимым числом приемов

$$n = t^2 / m_\beta^2 = 30^2 / 10^2 = 9. \quad (10.32)$$

По результатам измерений угла n приемами определяют среднее значение

$$\beta_{из} = (\beta'_{n_1} + \beta'_{n_2} + \beta'_{n_3} + \dots + \beta'_{n_n}) / n. \quad (10.33)$$

Угловая поправка в измеренный угол

$$\pm \Delta \beta = \beta_{из} - \beta_n = 38^\circ 47' - 38^\circ 47' 20'' = -20''. \quad (10.34)$$

Измеряют расстояние $AC_0 = \ell = 119,47$ м и вычисляют линейную поправку $CC_0 = \Delta \ell_\beta$:

$$\pm \Delta \ell_\beta = \ell \Delta \beta / \rho = 119,47 \cdot 20 / 206265 = -12 \text{ мм}. \quad (10.35)$$

Точку С перемещают в соответствующую сторону на значение $\Delta \ell_p$ и фиксируют точку C_0 .

Результаты расчетов по оценке точности измерений угла представлены в табл. 10.13.

Таблица 10.13
Оценка точности измерений угла

Номер измерения	Измеренный угол β_i	Погрешность измерений Δ_i	Δ_i^2	Оценка точности
1	38°48'	+I	I	$m = \sqrt{[\Delta_i^2]/(n-1)} = \pm 0,87'$
2	38°47'	0	0	
3	38°46'	-I	I	
4	38°47'	0	0	
5	38°48'	+I	I	$M = m/\sqrt{n} = \pm 0,29'$
6	38°46'	-I	I	
7	38°48'	+I	I	
8	38°47'	0	0	
9	38°46'	-I	I	

$n = 9$ $\beta_{из} = 38^\circ 47'$ $[\Delta_i] = 0$ $[\Delta_i^2] = 6$

При построении проектного угла способом редуцирования его средняя квадратическая погрешность

$$m'_\beta = \sqrt{m_\beta^2 + m_{\Delta\beta}^2}, \quad (10.36)$$

где погрешность построения угла

$$m_\beta = \sqrt{(m_n^2 + m_o^2)/n + m_4^2 + m_p^2}, \quad (10.37)$$

погрешность определения угловой поправки $\Delta\beta$

$$m_{\Delta\beta} = m_{\Delta\epsilon} \rho/\epsilon. \quad (10.38)$$

10.7. Построение проектного расстояния

Требуется на местности построить проектное расстояние способом редуцирования. Известно положение начальной точки отрезка, направление и проектное значение (рис. 10.8). Приборы и инструменты: лента ЛЗ-20, теодолит Т30, термометр, топор и колышек.

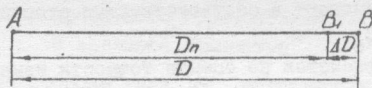


Рис. 10.8. Построение проектного отрезка

Порядок выполнения работы. От начальной точки А в заданном направлении с помощью ленты ЛЗ-20 откладывают приближенное значение проектного расстояния D_n . Временно фиксируют кольшком точку B_I . Теодолитом измеряют угол наклона между точками А и B_I и вычисляют превышение h . Измеряют температуру t_n° мерной ленты. Вычисляют поправки в отложенное расстояние.

Поправка за компарирование ленты

$$\Delta D_k = \Delta \ell_k D / \ell_0, \quad (10.39)$$

где $\Delta \ell_k$ — погрешность за компарирование в длину ленты; ℓ_0 — номинальная длина ленты ($\ell_0 = 20,00$ м);

Поправка за наклон отрезка

$$\Delta D_h = h^2 / 2D. \quad (10.40)$$

Поправку за изменение температуры ленты

$$\Delta D_t = \alpha D (t_n^\circ - t_k^\circ), \quad (10.41)$$

где α — коэффициент линейного расширения (для стали $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$); t_k — температура ленты при компарировании.

Если угол наклона не более 1° , а точность построения проектного расстояния не выше 1:2000, то поправку за наклон расстояния не учитывают.

Суммарную поправку

$$\Delta D = \Delta D_k + \Delta D_h + \Delta D_t \quad (10.42)$$

с обратным знаком вводят в расстояние AB_I . Если поправка ΔD с минусом, то расстояние AB_I удлиняют на величину суммарной поправки ΔD и фиксируют кольшком точку В. Если поправка с плюсом, то расстояние AB_I уменьшают на величину суммарной поправки ΔD .

Результаты измерений и вычисления поправок в проектное расстояние представлены в табл. 10.14.

Поправки в проектное расстояние

Проектное расстояние D	Угол наклона ν°	Пре- выше- ние	Температура, $t^\circ\text{C}$		Погрешность за компарирование $\Delta \ell_k$	Поправка, м			
			компа- риро- вания	измере- ния		компа- ниро- ния	пре- выше- ния	темпе- ратуры	сум- мар- ная
						ΔD_k	ΔD_t	ΔD_t	ΔD
194,70	4°39'	15,84	21	27	0,003	+0,029	+0,007	+0,014	+0,05

Средняя квадратическая погрешность построения проектного расстояния

$$m_D = \sqrt{(m_k^2 + m_c^2) D^2 / \ell^2 + (m_t^2 + m_h^2 + m_\phi^2) D / \ell}, \quad (10.43)$$

где m_k — погрешность компарирования 20-метровой стальной ленты нормальным метром двумя ($m_k = 0,6$ мм) и четырьмя приемами ($m_k = 0,4$ мм). Погрешность носит случайный характер, но в результате построения проектного расстояния вносит систематическую погрешность; погрешность за уложение мерного прибора в створ

$$m_c = \epsilon^2 / 2\ell, \quad (10.44)$$

где ϵ — отклонение конца мерного прибора от створа; ℓ — длина мерной ленты; погрешность за наклон мерной ленты

$$m_h = (h/\ell + h^3/2\ell^3) m'_h, \quad (10.45)$$

где h — превышение между концами мерной ленты; m'_h — погрешность за температуру мерной ленты

$$m_t = \alpha \ell m'_t, \quad (10.46)$$

где α — коэффициент линейного расширения мерной ленты длиной ℓ ; m'_t — погрешность определения температуры; погрешность за натяжение мерной ленты

$$m_\phi = m_\phi \Delta p \ell / \omega E, \quad (10.47)$$

где ω — площадь поперечного сечения полотна мерной ленты; E — модуль упругости материала мерной ленты; m_ϕ — погрешность определения натяжения; Δp — разность силы натяжения ленты при компарировании и измерении; m_ϕ — погрешность фиксации конечной точки проектного расстояния.

Погрешность m_ϕ в зависимости от способа фиксации: при фиксации ленты шпильками 1,5, а при прочерчивании карандашом на поверхности бетона или асфальта 1,0 мм.

Средняя квадратическая погрешность построения линии, мм

Компарирования, m_k	Уложения в створ m_c	Наклон ленты m_n	Темпера- тура ленты m_t	Натяже- ние лен- ты m_n	Фиксация m_ϕ	Суммарная m_D
0,6	0,5	0,2	0,5	0,1	1,5	9,3

Относительная средняя квадратическая погрешность

$$m_D / D = 1 : 20935. \quad (10.48)$$

10.8. Перенесение в натуру проектной отметки

Требуется определить на местности положение проектной отметки точки. Задача решается при вертикальной планировке, рытье котлованов и траншей, укладке фундаментов зданий, трубопроводов и рельсовых путей, установке колонн и монтаже технологического оборудования, выносе в натуру проектного контура водохранилища. Известно плановое положение точки и ее проектная отметка H_n , а также местоположение репера и его отметки H_R (рис. 10.9). Приборы и инструменты: нивелир Н-3, рейки РН-3000, топор и колышки.

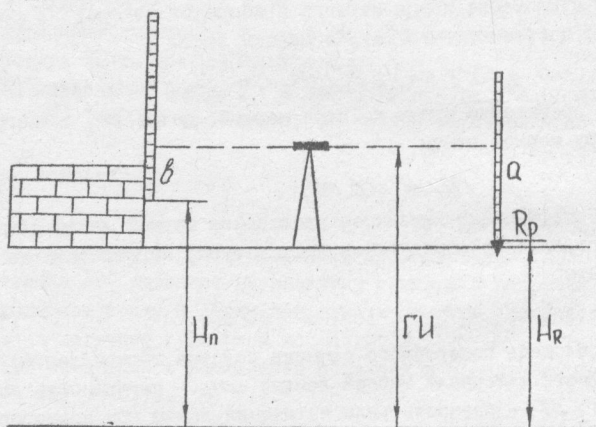


Рис. 10.9. Перенесение в натуру проектной отметки

Порядок выполнения работы. Проектные отметки переносят в натуру, как правило, геометрическим нивелированием. Высотное положение репера и исходной точки следующее:

репер и искомая точка ниже горизонта инструмента; репер ниже, а искомая точка выше горизонта инструмента; репер выше, а искомая точка ниже горизонта инструмента. Порядок работы по перенесению в натуру проектной отметки зависит от названных условий.

Если репер и искомая точка ниже горизонта инструмента $H_R < ГИ < H_n$ (рис. 10.9), то нивелир устанавливают посередине между репером и местом перенесения отметки. Берут отсчет α по рейке, установленной на репере, и вычисляют отметку горизонта инструмента

$$ГИ = H_R + \alpha. \quad (10.49)$$

Определяют отсчет по рейке, при котором заданная точка будет находиться на проектной отметке

$$B = H_n - H_R. \quad (10.50)$$

Устанавливают рейку в искомой точке на произвольной высоте и изменяют положение ее по вертикали таким образом, чтобы отсчет по рейке оказался равным вычисленному значению B . Местоположение нижней пятки рейки будет соответствовать проектному положению искомой точки. Для контроля перенесения в натуру проектной отметки производят нивелировку второго репера или при другой высоте инструмента. Если погрешность не превышает допускаемой, то проектную отметку в зависимости от условий строительства фиксируют металлическим штырем, деревянным колышком, кандалом на бетоне или насечкой на металлической пластине.

Если репер ниже, а искомая точка выше горизонта инструмента, $H_R > ГИ < H_n$, то

$$ГИ = H_R + \alpha, \quad (10.51)$$

$$B = H_n - ГИ. \quad (10.52)$$

Если репер и искомая точка находятся выше горизонта инструмента $H_R > ГИ > H_n$, то

$$ГИ = H_R - \alpha, \quad (10.53)$$

$$B = H_n - ГИ. \quad (10.54)$$

Если репер расположен выше горизонта инструмента, а искомая точка ниже ($H_R > ГИ > H_n$), то

$$ГИ = H_R - \alpha, \quad (10.55)$$

$$B = ГИ - H_n. \quad (10.56)$$

Рейку во всех случаях необходимо установить пяткой с "0" на определенной точке, так же, как и на репер.

Результаты измерений по перенесению в натуру проектной отметки для различных положений репера и искомой точки представлены в табл. I0.16

Таблица I0.16

Результаты перенесения в натуру проектной отметки

Условие	Отметка репера H_R , м	Проектная отметка H_P , м	Отсчеты по рейке на репере, мм		Горизонт инструмента, мм		Отсчеты по рейке на проектной отметке, мм	
			a_v	a_k	$ГИ_v$	$ГИ_k$	b_v	b_k
$H_k < ГИ > H_n$	239,947	239,870	1974	6757	241,921	246,704	2051	6834
$H_R < ГИ < H_n$	240,909	342,110	1083	-	241,992	-	0118	-
$H_R > ГИ < H_n$	237,261	236,950	1473	-	235,788	-	1162	-
$H_R > ГИ > H_n$	238,950	237,890	0643	-	238,307	-	0417	-

Средняя квадратическая погрешность m_n перенесения в натуру проектной отметки

$$m_n = \sqrt{m_R^2 + m_a^2 + m_b^2 + m_i^2 + m_p^2}, \quad (I0.57)$$

где m_R - средняя квадратическая погрешность исходного репера, равная 0,1 мм; m_a - отсчеты по рейке, установленной на исходном репере; m_b - установки рейки на проектный отсчет b ; m_i - превышения, обусловленная непараллельностью визирной оси трубы нивелира и оси его цилиндрического уровня; m_p - проектной отметки колышком, равная 2 мм.

Среди квадратических погрешностей m_a и m_b

$$m_a = m_b = \sqrt{m_y^2 + m_{om}^2 + m_w^2 + m_{by}^2}, \quad (I0.58)$$

где m_y - средняя квадратическая погрешность отсчета вследствие неточной установки уровня в нульпункт; m_{om} - отсчета, обусловленная неточным определением доли деления рейки; m_w - отсчета, обусловленная погрешностями нанесения делений рейки; m_{by} - отсчета, обусловленная влиянием внешних условий.

Средняя квадратическая погрешность отсчета из-за неточной установки контактного уровня в нульпункт, мм:

$$m_y = 1,573 \cdot 10^{-4}, \quad (I0.59)$$

где τ — цена деления уровня на 2 мм, которая для нивелира Н-3 равна 15"; S — расстояние от нивелира до рейки, м.

При расстоянии от нивелира Н-3 до рейки $S = 50$ м

$$m_g = 1,5 \cdot 15 \cdot 50 \cdot 10^{-4} = 0,11 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность отсчета из-за неточного определения доли деления рейки, мм:

$$m_{om} = 0,03 t + 0,25 / v, \quad (10.60)$$

где t — цена наименьшего деления рейки РН-3000, равная 10 мм;

v — увеличение зрительной трубы нивелира Н-3, равное 30 крат.

При расстоянии от нивелира Н-3 до рейки РН-3000, равном $S = 50$ м

$$m_{om} = 0,03 \cdot 10 + 0,2 \cdot 50 / 30 = 0,63 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность нанесения делений на рейку РН-3000 $m_w = 0,5$ мм.

Средняя квадратическая погрешность отсчетов, обусловленная влиянием внешних условий, может ослабиться правильной организацией работ, т.е. $m_{av} \rightarrow 0$.

Средняя квадратическая погрешность отсчетов по рейке

$$m_a = \sqrt{0,11^2 + 0,63^2 + 0,5^2} = 0,81 \text{ мм.}$$

Средняя квадратическая погрешность, обусловленная непараллельностью визирной оси трубы нивелира и его оси цилиндрического уровня, мм:

$$m_i = (S_z - S_n) i / \rho, \quad (10.61)$$

где $(S_z - S_n)$ — разность расстояний от нивелира до задней и передней реек, которая для технического нивелирования допускается $(S_z - S_n) \leq 10$ м;

i — угол между визирной осью трубы и осью цилиндрического уровня, который для технических нивелиров не превышает 10";

$$m_i = 1000 \cdot 10 / 206225 = 0,48 \text{ мм.}$$

В результате совместного действия всех перечисленных независимых погрешностей суммирующая средняя квадратическая погрешность перенесения проектной отметки

$$m_n = \sqrt{0,1^2 + 0,81^2 + 0,81^2 + 0,48^2 + 2,0^2} = 2,36 \text{ мм.}$$

10.9. Передача отметок в глубокий котлован

Требуется передать отметку на дно глубокого котлована. Задача решается путем геометрического нивелирования. Известно плановое положение и проектная отметка котлована (H_K), а также местоположение и отметка

репера (H_K) (рис. 10.10). Приборы и инструменты: один или два нивелира рейки РН-3000, лента ЛЗ-20 или подвесная рулетка, топор и колышки.

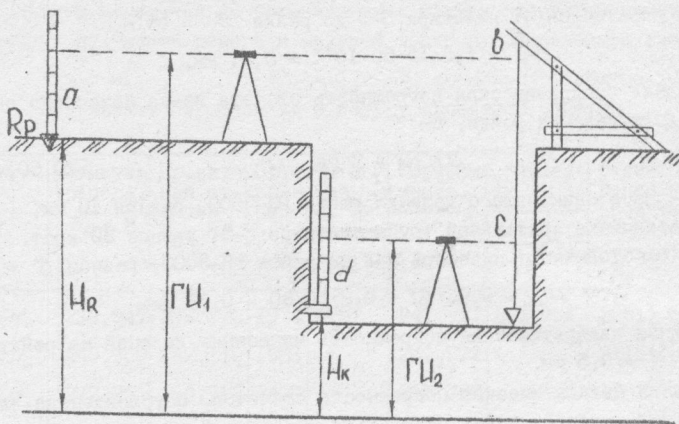


Рис. 10.10. Передача отметки в глубокий котлован

Порядок выполнения работы. Подвешивают рулетку с миллиметровыми делениями, нули вверх на кронштейне, установленном на бровке котлована. К рулетке подвешивают груз, масса которого равна массе груза при компарировании рулетки (5–10 кг), и отпускают его в сосуд с жидкостью при ветренной погоде. На противоположной бровке устанавливают первый нивелир, второй – на дне котлована. Берут отсчеты по рейке, установленной на репере a и на рулетке, а затем вычисляют отметку горизонта $\Gamma Ц_1$, первого инструмента

$$\Gamma Ц_1 = H_R + \alpha. \quad (10.62)$$

Берут отсчет вторым нивелиром, расположенным в котловане, и по рулетке, а затем вычисляют отметку его горизонта

$$\Gamma Ц_2 = \Gamma Ц_1 - (c - b), \quad (10.63)$$

где c, b – отсчеты по лентам, м.

Отсчет по рейке, установленной на дне котлована, соответствующий его проектной отметке,

$$\alpha = \Gamma Ц_2 - H_K. \quad (10.64)$$

Поднимая или опуская рейку, добиваются такого положения ее нижней пятки, чтобы отсчет в зрительной трубе нивелира был равен α .

Положение нижней пятки рейки фиксируют на дне котлована. Проектные параметры и результаты измерений по передаче отметки в глубокий котлован представлены в табл. 10.17.

Таблица 10.17

Проектные параметры и результаты измерений по передаче отметки в глубокий котлован

Отметка репера H_R	Проектная отметка котлована H_K	Отсчет по рейке на репере a	Отсчеты по рулетке		Горизонты инструментов		Отсчет по рейке в котловане
			b	c	$ГИ_1$	$ГИ_2$	
194,799	190,50	1974	0,563	5,397	196,773	191,939	1439

Средняя квадратическая погрешность передачи проектной отметки в глубоком котловане

$$m_{H_K} = \sqrt{m_R^2 + m_1^2 + m_2^2 + m_c^2 + m_{cp}^2}, \quad (10.65)$$

где m_R — средняя квадратическая погрешность исходного репера; m_{cp} — фиксации проектной отметки дна котлована; m_1 — передачи отметки от репера на рулетку; m_2 — передачи отметки с рулетки на дно котлована; m_c — длины рулетки в интервале между точками b и c .

Средние квадратические погрешности

$$m_1 = m_2 = \sqrt{m_a^2 + m_i^2 + m_p^2}, \quad (10.66)$$

где m_a — средняя квадратическая погрешность отсчета по рейке, которую определяют по формуле (10.60); m_i — обусловленная непарallelностью визирной оси трубы нивелира и оси его цилиндрического уровня, определяемая по формуле (10.61); средняя квадратическая погрешность отсчета по рулетке

$$m_p = \sqrt{m_y^2 + m_{om}^2}, \quad (10.67)$$

где m_y — средняя квадратическая погрешность отсчета вследствие неточной установки уровня в нульпункт, вычисляемая по зависимости (10.59); m_{om} — отсчета, обусловленная неточным определением доли деления рейки, установленная по формуле (10.60).

Средняя квадратическая погрешность длины рулетки

$$m_c = \sqrt{(m_K^2 + m_{ab}^2 + m_{ap}^2 + m_{omb}^2)(c-b)/c}, \quad (10.68)$$

где ℓ - длина рулетки; $(C-B)$ - длина участка рулетки между точками C и B ; m_k - средняя квадратическая погрешность компарирования рулетки, определяемая по формуле (10.44); $m_{\Delta t}$ - за температуру рулетки, вычисляемая по формуле (10.47); $m_{\Delta p}$ - натяжения рулетки; $m_{отв}$ - обусловленная несовпадением рулетки с отвесной линией.

Средняя квадратическая погрешность натяжения рулетки

$$m_{\Delta p} = m_{np} \ell / WE, \quad (10.69)$$

где W - площадь поперечного сечения рулетки; E - модуль упругости, равный для стали $E = 3 \cdot 10^6$ кг/см²; m_{np} - средняя квадратическая погрешность определения силы натяжения рулетки.

Для вычисления средней квадратической погрешности из-за несовпадения рулетки с отвесной линией используется выражение

$$m_{отв} = K^2 / 2\ell, \quad (10.70)$$

где K - горизонтальное расстояние между нижним концом рулетки и отвесной линией, проходящей через верхний конец рулетки.

10.10. Передача отметок на монтажный горизонт

Требуется передать отметку на монтажный горизонт. Задача решается путем геометрического нивелирования. Известно плановое положение и проектная отметка монтажного горизонта H_m , а также местоположение и отметка репера H_R (рис. 10.11). Приборы и инструменты: один или два нивелира Н-3, рейки РН-3000, лента ЛЗ-20 или подвесная рулетка.

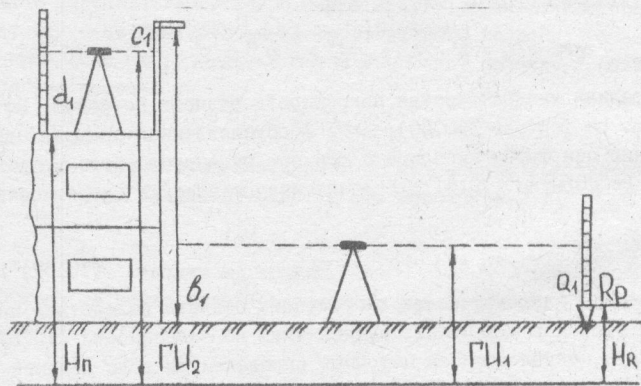


Рис. 10.11. Передача отметки на монтажный горизонт

Порядок выполнения работы. К кронштейну, установленному на монтажном горизонте, подвешивают рулетку с миллиметровым делением нулем вверх. К рулетке подвешивают груз массой 5...10 кг и опускают его в ведро с жидкостью при ветренной погоде. Один нивелир устанавливают на поверхности земли, а второй на монтажном горизонте.

Берут отсчет по рейке, установленной на репере α , и по рулетке β , и вычисляют отметку горизонта первого нивелира

$$ГН_1 = H_R + \alpha. \quad (10.71)$$

Берут отсчет вторым нивелиром на монтажном горизонте по рулетке C_1 и вычисляют отметку его горизонта

$$ГН_2 = ГН_1 + (\beta_1 - C_1). \quad (10.72)$$

Отсчет по рейке, установленной на монтажном горизонте, соответствующей его проектной отметке,

$$d_1 = ГН_2 - H_m. \quad (10.73)$$

Поднимая или опуская рейку, добиваются такого положения ее нижней пятки, чтобы отсчет в зрительной трубе нивелира был равен величине d_1 . Положение нижней пятки рейки фиксируют на монтажном горизонте.

Проектные параметры, результаты измерений по передаче отметки на монтажный горизонт представлены в табл. 10.18.

Таблица 10.18

Проектные параметры и результаты измерений по передаче отметки на монтажный горизонт

Отметка репера H_K , м	Проектная отметка монтажного горизонта H_m	Отсчет по рейке на репере α	Отсчет по рулетке, м		Горизонт инструмента, м		Отсчет по рейке на монтажном горизонте d_1
			β_1	C_1	$ГН_1$	$ГН_2$	
194,799	201,10	1983	0,536	6,517	196,782	202,763	1663

Среднюю квадратическую погрешность передачи проектной отметки на монтажный горизонт определяют по формуле (10.65) с учетом зависимостей (10.66) - (10.70).

10.11. Перенесение на местность линии заданного уклона

Требуется построить на местности линию заданного уклона в известном направлении. В зависимости от требуемой точности задача может быть решена горизонтальным или наклонным лучом визирования нивелира при небольших превышениях либо теодолита при значительных превышениях, а

также с помощью визирок. Ее практическая реализация заключается в том чтобы на местности в створе проектной линии забить ряд кольев, верхние срезы которых были бы расположены на линии заданного уклона.

10.11.1. Перенесение на местность линии заданного уклона наклонным лучом визирования в нивелир

Известны направления и длина проектной линии L_{AB} и ее уклон, местоположение и отметка H_A одной из точек (рис. 10.12). Приборы и инструменты: нивелир Н-3, две рейки РН-3000, лента ЛЗ-20, топор и колышки.

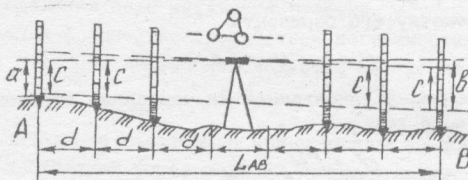


Рис. 10.12. Построение линии заданного уклона нивелированием из середины

Порядок выполнения работы. Первоначально на местность переносят проектную линию длиной L с учетом поправки за угол наклона. Затем лентой разбивают линию АВ через заданный интервал d на отдельные отрезки и закрепляют их колышками. В створе проектной линии забивают ряды кольев, чтобы их верхние срезы соответствовали линии заданного уклона. Можно построить нивелированием из середины или вперед.

1-й способ:

При построении заданного уклона нивелированием из середины (рис. 10.12) нивелир устанавливают на одинаковом расстоянии от точек А и В так, чтобы линия, проходящая через два подъемных винта нивелира была параллельная створу между точками.

Приведя нивелир в рабочее положение, берут отсчет по рейке на точке А и определяют отметку горизонта инструмента

$$HI = H_A + \alpha. \quad (10.74)$$

Вычисляют отсчет v по рейке на точке В

$$v = HI - i_{AB} L_{AB}, \quad (10.75)$$

где i_{AB} - проектный уклон; L_{AB} - расстояние между точками.

Зная отсчет B , известным способом выносят на местность отметку

$$H_B = H_A - i_{AB} L_{AB}, \quad (10.76)$$

где H_A — проектная отметка точки A .

Методом приближений добиваются одинаковых отсчетов по обеим рейкам, установленным в крайних точках. Для этого, сначала работая двумя подъемными винтами, расположенными в направлении линии визирования, наводят среднюю нить нивелира на отсчет по рейке в точке A

$$\alpha'_{cp} = 0,5 (\alpha + B). \quad (10.77)$$

Затем визируют зрительную трубу нивелира на рейку в точке B и вычисляют среднее из двух отсчетов

$$\alpha''_{cp} = 0,5 (\alpha'_{cp} + B). \quad (10.78)$$

Этот процесс повторяют до тех пор, пока отсчеты по двум рейкам не совпадут и не будут равны отсчету C . В данном положении визирная ось зрительной трубы нивелира будет параллельна линии AB , а следовательно расположена под заданным уклоном. После этого последовательно на расстоянии d устанавливают рейки и забивают колья в землю до тех пор, пока отсчеты по рейкам не будут равны отсчетам по крайним точкам C . Верхние срезы колея будут фиксировать на местности линию заданного уклона. Проектные параметры и результаты измерений по перенесению на местности линии заданного уклона наклонным лучом визирования нивелированием из середины представлены в табл. 10.19.

Таблица 10.19

Проектные параметры и результаты измерений по перенесению линии заданного уклона нивелированием из середины

Но- мер при- бли- же- ния	Отметка точки $H_A, м$	Уклон i_{AB}	Рассто- яние между точками $L_{AB}, м$	Интер- вал между коль- ями $d, м$	Отметка точки $H_B, м$	От- счет по рей- ке на точ- ке $\alpha', мм$	Отметка гори- зонта инстру- мента $H_I, м$	От- счет по рей- ке на точ- ке $B, мм$	Сред- ний отсчет $\alpha_{cp}, мм$
1	211,947	0,005	140	20	211,247	1419	213,366	1919	1669
2						1669		1729	1699
3						1699		1705	1702
4						1702		1702	1702

2-й способ:

При построении заданного уклона нивелированием вперед (рис. 10.13) нивелир устанавливают над точкой А. При этом один из подъемных винтов нивелира должен быть расположен по направлению линии АВ, а прямая, соединяющая два других винта, чтобы была перпендикулярна линии АВ.

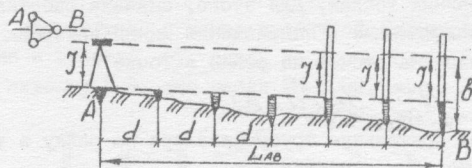


Рис. 10.13. Построение линии заданного уклона нивелированием вперед

Приведя нивелир в рабочее положение, измеряют высоту инструмента T и вычисляют отсчет по рейке, установленной в точке В, соответствующей проектному уклону i_{AB}

$$B = T + i_{AB} L_{AB} . \quad (10.79)$$

С помощью подвешного винта, расположенного на линии АВ, наклоняют зрительную трубу нивелира на отсчет по рейке B .

Наклонный визирный луч зрительной трубы нивелира займет положение, параллельное проектному уклону i_{AB} . Поднимают рейку, установленную в точке В, до тех пор, пока отсчет по средней нити не будет равен высоте инструмента T . В этом случае положение нижней пятки рейки будет соответствовать проектному значению отметки точки В. Точку В фиксируют забиванием колышка до уровня нижней пятки рейки. После этого последовательно на расстоянии устанавливают рейки и забивают колья в землю до тех пор, пока отсчеты по рейкам не будут равны высоте инструмента T . Верхние срезы кольев будут фиксировать на местности линию заданного уклона. Проектные параметры и результаты измерений по перенесению на местности линии заданного уклона наклонным лучом визирования нивелированием вперед представлены в табл. 10.20.

Проектные параметры и результаты измерений по перенесению
линии заданного уклона нивелированием вперед

Отметка точки H_A , м	Уклон i_{AB}	Рассто- яние меж- ду точ- ками L_{AB} , м	Интервал между кольями d , м	Отметка точки H_B , м	Высота ин- струмента T , м	Отсчет на точке b , мм
211,922	0,005	120	20	211,322	1,479	2079

10.11.2. Построение проектного уклона линии с помощью визирок

Известны направление и длина проектной линии, которая не должна превышать 100 м. Отметки проектных точек А и В (рис. 10.14), с помощью которых на местности обозначен уклон линии, построены известным спосо-
бом заранее. Метод применяется в том случае, когда не требуется высокая
точность. Приборы и инструменты: три равные по высоте визирки, топор и
колья.

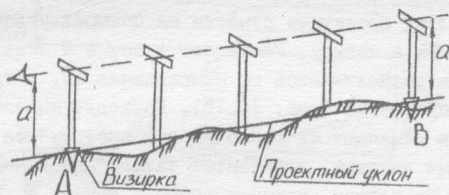


Рис. 10.14. Построение проектного уклона
с помощью визирок

Порядок выполнения работы. Устанавливают одну визирку отвесно на
кольшек в точке А, забитый на проектную высоту. Вторую визирку устанавли-
вают отвесно на кольшек в точке В, забитый также на проектную отметку.
Производящий разбивку находится в точке А у первой визирки и смотрит по
направлению второй визирки. Помощник с третьей ходовой визиркой пере-
двигается от дальней визирки к наблюдателю. Ходовая визирка опускается
вниз или подымается вверх до тех пор, пока её верх не окажется на ли-
нии визирования между закрепленными первой и второй визирками. В этом
случае основание передвижной визирки фиксирует точки линии заданного
уклона, которые закрепляются кольями.

Для осуществления проекта вертикальной планировке требуется построить на местности плоскость с продольным $i_1 = 0,005$ и поперечным $i_2 = 0,002$ уклонами. При небольших превышениях задача решается с помощью наклонного луча визирования нивелира, а при значительных превышениях — теодолитом (рис. 10.15). Приборы и инструменты: нивелир Н-3, рейки РН-3000, лента ЛЗ-20, топор и колышки.

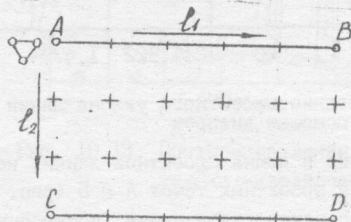


Рис. 10.15. Построение плоскости заданного уклона

Порядок выполнения работы. Для построения плоскости заданного уклона сначала вычисляют проектные отметки ее четырех угловых точек А, В, С и Д и выносят их в натуру. Размещают в точке А нивелир так, чтобы два подъемных винта расположились по направлению АВ, а третий перпендикулярно этому направлению (рис. 10.15). Приводят нивелир в горизонтальное положение и отмечают на рейке высоту инструмента $\mathcal{J}$, действуя тремя подъемными винтами, добиваются такого положения визирной оси, когда отсчеты по рейкам, установленные в точках А, В, С и Д, будут одинаковыми и равными высоте инструмента $\mathcal{J}$. При этом наклонная плоскость, проходящая через визирную ось зрительной трубы нивелира, будет параллельна заданной плоскости. Перемещают подвижную рейку в пределах плоскости так, чтобы отсчеты по ней все время были одинаковыми и равными высоте инструмента $\mathcal{J}$, получают систему необходимых точек, которые будут фиксировать проектное положение плоскости с заданным уклоном.

Проектные параметры и результаты измерений по построению плоскости заданного уклона представлены в табл. 10.21.

Таблица 10.21

Проектные параметры и результаты измерений

Расстояние, м		Уклон		Отметка точек, м				Высота инстру- мента T , мм
AB	AC	i_1	i_2	A	B	C	D	
80	60	0,005	0,002	211,95	211,55	211,83	211,43	1463

10.13. Определение продольного уклона реки

Требуется определить продольный уклон реки. Приборы и инстру-
менты: нивелир Н-3, рейки РН-3000, лента ЛЗ-20, миллиметровая линейка,
топор и колья.

Порядок выполнения работы. Вдоль берега реки прокладывают ниве-
лирный ход и закладывают репера (рис. 10.16, а). Вблизи реперов в точ-
ках уреза воды забивают колья так, чтобы их вершины выступали над во-
дой (рис. 10.16, б).

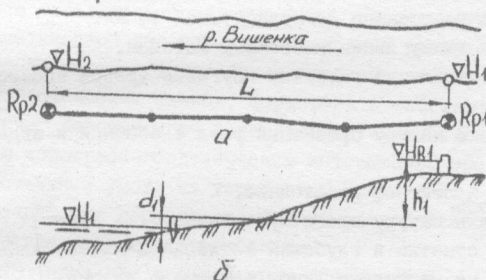


Рис. 10.16. Определение продольного уклона реки

Нивелированием определяют превышения вершин кольев h_1 и h_2 , забитых против реперов около уреза воды. В установленный момент по сверенным часам наблюдатели одновременно на обоих кольях отмечают уровни воды острым ножом или карандашом. Миллиметровой линейкой изме-
ряют расстояния отметки уровня до вершины кольешка d_1 и d_2 .

Отметки уровня воды в реке
в верхней по течению точке

$$H_1 = H_{R1} - h_1 - d_1, \quad (10.80)$$

в нижней по течению точке

$$H_2 = H_{R2} - h_2 - d_2, \quad (10.81)$$

где H_{R1} , H_{R2} - отметки первого и второго реперов соответственно.

Уклон реки на единицу

$$i = (H_1 - H_2) / L, \quad (10.82)$$

где L - расстояние между кольями, м.

Результаты измерений по определению продольного уклона реки представлены в табл. 10.22.

Таблица 10.22

Определение продольного уклона реки

Отметка репера, м		Превышение репера над колом, м		Рассто- яние между кольями	Расстояние от вершины кола до уреза воды		Отметки уровня воды, м		Уклон i
H_{R1}	H_{R2}	h_1	h_2	L	d_1	d_2	H_1	H_2	
211,950	211,039	1,974	1,983	500	0,197	0,131	209,779	208,925	

10.14. Задачи для самостоятельного решения

1. Определите высоту доступного и недоступного сооружений.
2. Определите расстояние до недоступной точки.
3. Определите длину линии косвенным методом.
4. Выполните детальную разбивку круговой кривой способом прямоугольных координат.
5. Перенесите в натуру проектный угол с обычной и заданной точностью.
6. Постройте проектное расстояние.
7. Перенесите в натуру проектную отметку.
8. Передайте отметки в глубокий котлован и на монтажный горизонт.
9. Постройте на местности линию заданного уклона.
10. Постройте плоскость заданного уклона.
11. Определите продольный уклон реки.

II. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ДЕЛОВЫХ ИГР

II.1. Особенности деловых игр и рекомендации по их применению

Деловая игра - это имитация разработки, принятие и реализация решений, основанные на комплексе взаимосвязанных ситуаций, отображающих состояния, процессы функционирования и взаимодействия сложных производственных систем. При этом деловая игра не должна моделировать само производство. Она призвана лишь отражать ход производственного процесса в соответствующей системе управления. Особенности деловых игр заключаются

в наличии имитационного моделирования и состязательных факторов, в динамизме игровой ситуации, проявляющемся в непрерывном ее изменении под воздействием решений, принимаемых участниками.

Игровые ситуации, рассматриваемые в деловой игре, могут быть типовыми, которые регулярно и многократно повторяются, и нетиповыми, конфликтными и безконфликтными. Типовые ситуации имеют алгоритм решения, нетиповые требуют выработки и принятия участниками игры самостоятельных решений. По степени полноты отражения реальных условий различают реальные, условные и абстрактные игры. По охвату изучаемого материала игры делятся на: тематические, проводимые при изучении отдельных тем предмета; предметные, цель которых – приобретение навыков и умений по вопросам изучаемого предмета; комплексные, проводимые по широкому кругу вопросов и требующие от участников знаний по нескольким предметам. По характеру игрового процесса отношения между участниками игры могут носить характер взаимодействия, соперничества или состязания.

Для закрепления знаний по инженерной геодезии и приобретения навыков взаимодействия в предстоящей работе целесообразно применять в учебном процессе тематические деловые игры. Непосредственное участие обучаемых в тематической деловой игре позволяет развивать у них способности активного обсуждения технических проблем, возникающих особенно в процессе топографических съемок, формировать собственные предложения и их аргументацию. Деловые игры позволяют научить анализировать и обобщать полученную топографо-геодезическую информацию, прогнозировать возможные недостатки и уметь их устранять. Кроме того, деловые игры способствуют сокращению периода адаптации молодого специалиста на производстве, развивают дух соревнования.

Обязательные признаки деловой игры следующие.

1. Наличие проблемы управления социально-экономической или социально-психологической системой или моделирование профессиональной деятельности специалистов.
2. Наличие общих игровых коллективов.
3. Наличие ролей и назначение на них участников игры.
4. Различие интересов участников и учет условий неопределенности.
5. Принятие и реализация в процессе игры определенной последовательности решений, каждое из которых зависит от решения, принятого данным участником на предыдущем этапе, и от действия других участников.
6. Наличие достаточно мощной системы стимулирования, реализующей три основные функции: побудить каждого из участников деловой игры действовать, "как в жизни"; подчинить в случае необходимости интересы того или иного участника игры общей цели коллектива, сделать выгодным

такое решение для этого участника; обеспечить объективную оценку личного вклада каждого участника игры в достижение общей цели, общего результата деятельности игрового коллектива.

7. Объективность оценки результатов игровой деятельности.

Разработка тематической деловой игры с целью углубленного изучения топографических съемок включает:

разработку игровой модели, характеризующей объект моделирования, состав участников игры и правила игры;

составление заданий и инструкций для участников игры, дающих представление об условиях и характере объекта, общих задачах, подлежащих решению в соответствии с учебными целями игры, необходимые сведения и конкретный справочный материал, позволяющий участникам игры принимать решения и конкретные задачи по каждому этапу игры;

разработку критериев оценки действий участников и результатов игры

разработку конструкций для преподавателя, содержащую методические рекомендации по организации и регулированию хода игры, а также ее роль и место в общей системе изучения предмета;

разработку паспорта игры;

разработку сценария игры, включающего наименование этапов, действия руководителя в ходе решения каждой задачи этапа, информацию для участников игры, действия участников игры, действия и астрономическое время для каждого этапа игры.

Этапы организации проведения деловых игр.

1. Организационный этап, включающий введение участников в игру, формирование групп, распределение ролей, изучение и обсуждение правил игры, регламентацию игры и другие организационные вопросы. При введении участников в игру разъясняются ее цели и задачи, показывается сущность и механизм всем участникам игры. Целесообразно сделать краткое теоретическое обоснование ожидаемых результатов игры. При распределении ролей должны учитываться личные качества, знания и способности каждого из участников и их психологическая совместимость. Обращается внимание на необходимость строгого соблюдения режима и дисциплины игры, объявляются меры поощрения и наказания штрафными баллами.

2. Игровые этапы, реализуемые в соответствии со сценарием. По каждому участнику в соответствии с его должностью дается характеристика реализуемых на всех этапах функций, а также преследуемые ими цели. Руководитель игры, объявив каждый очередной шаг, инструктирует участников о порядке и способах его реализации и сообщает выделяемое для этих целей время. По ходу игры подводятся промежуточные итоги. Руководитель контролируя ход игры, должен вмешиваться в ее ход при возникновении

каких-либо негативных моментов. Он выступает в качестве генератора проблемных ситуаций, отражающих вероятностный характер производства. За дисциплину и порядок во время игры отвечает лидер группы.

3. Подведение итогов, во время которого анализируется деятельность участников игры, дается оценка исполнения, разбирается оптимальный вариант. Желательно подводить итоги общей дискуссии по тематике игры. Предложения студентов, улучшающие игру, необходимо учитывать в будущем.

II.2. Методические рекомендации по проведению тематической деловой игры "Геодезист"

II.2.1. Паспорт деловой игры "Геодезист"

Потребители деловой игры: студенты инженерно-строительных факультетов.

Область применения деловой игры: в курсе инженерной геодезии при выполнении учебной практики.

Цель деловой игры: закрепить теоретические знания и привить навыки практической работы по созданию планово-высотного обоснования на участке топографической съемки, научить обосновывать и разрабатывать оптимальные решения и руководить организацией их выполнения.

Характер моделируемой ситуации: игра имитирует процесс организации и технологии производства топографо-геодезических работ на реальном участке съемки.

Характер игрового процесса: участники игры вырабатывают коллективное решение, приводя конструктивные доводы в пользу выбранных способов и методов выполнения топографо-геодезических работ, распределяют обязанности между собой согласно штатному расписанию, выполняют топографо-геодезические работы на реальном объекте, обрабатывают и анализируют полученные результаты.

Широта охвата: игра является тематической.

Степень отражения полноты реальных данных в модели: отражает фактические организационные моменты, состав и последовательность операций при выполнении топографо-геодезических работ.

Инструкция участникам деловой игры: излагаются процедуры, реализуемые участниками игры на всех этапах, методы выполнения работ и расчетов.

Материально-техническое обеспечение деловой игры: теодолит Т30, нивелир Н-3, вешки, ленты ЛЗ-20, рейки нивелирные РН-3000, журналы теодолитной съемки и нивелирования, чертежные принадлежности, нормативная и справочная литература, ЭВМ.

Правила проведения игры: раскрывают процесс игры, включающий последовательность этапов, взаимосвязь функций, реализуемых всеми участниками согласно сценарию деловой игры.

Положение об оценке действий участников игры и общих результатов деловой игры: действия участников оцениваются на каждом этапе по принципу: задание выполнено отлично, хорошо, удовлетворительно и задание не выполнено.

Ход деловой игры, оценка действия участников, их достижения в научно-методическом и организационном плане освещаются на специальном стенде - экране деловой игры.

Итоги игры оцениваются в результате заслушивания отчетов участников игры о проделанной работе. Качество решений, принимаемых тем или иным участником игры, оценивается суммой полученных оценок на каждом этапе деловой игры.

Действия участников оцениваются "отлично", если показано умение самостоятельно выполнять задания, усвоена основная и дополнительная литература, если они свободно и безошибочно работают с геодезическими приборами, на все операции затрачивают минимальное время и не имеют штрафных баллов.

Оценка "хорошо" выставляется участникам игры, успешно выполняющим предусмотренные задания, свободно работающим с геодезическими приборами, умеющим работать с литературой, укладывающимся в нормативное время и имеющим штрафные баллы.

Оценки "удовлетворительно" заслуживают участники игры, справляющиеся с заданием, но допускающие при этом отдельные ошибки, безошибочно работающие с геодезическими приборами, но перерасходующие нормативные затраты времени и имеющие штрафные баллы.

II.2.2. Сценарий деловой игры "Геодезист"

Наименование этапа	Наименование эпизода, ситуаций, задач	Учебная цель	Действие руководителей	Информация для участников игры	Действие участников игры	Время, ч	Примечание
I	2	3	4	5	6	7	8
Организационный	Решение организационных вопросов	Ознакомить участников со структурой и правилами игры	Сообщает необходимую информацию о структуре игры, производит выдачу инструкций для участия в игре, назначает на должность	Характер работы при топографо-геодезических изысканиях, условия соревнований	Изучают новую информацию и инструкцию	2,0	При организации бригады учитываются пожелания участников игры
Подготовительный I	Инструктаж по технике безопасности и охране труда при выполнении топографо-геодезических работ	Изучить правила техники безопасности и охраны труда при выполнении работ	Проводят инструктаж по технике безопасности и охране труда и принимают зачет	Основные положения по технике безопасности и охране труда	Изучают правила техники безопасности и охраны труда, сдают зачет и регистрируются в регистрационном журнале	2,0	Регистрация в журнале об инструктаже обязательна для каждого участника игры
Подготовительный II	Получение и проверка геодезических приборов и инструментов	Овладеть навыками поверок и инструментальных приборов и инструментов	Выдает комплект геодезических приборов и инструментов, общает требования к ним, проверяет качество поверок	Характеристика приборов, организация поверок в полевых условиях, требования по оформлению отчета о поверках	Получают приборы, выполняют их поверки и тестируют, составляют отчет	8,0	Приборы получают под расписку бригадир

I	2	3	4	5	6	7	8
Основ- ной I	Опреде- ление границ участка съемки, ре- когносци- ровки и за- крепление точек пла- ново-высо- тного обо- нования	Научить в конкретных условиях местности определять опорные то- чек топо- графической съемки	Конкретизируют границы участка съемки, контро- лируют правль- ность выбора и закрепления опорных геоде- зических точек	Указывается масштаб съемки, спо- собы закреп- ления точек, предельные длины сто- рон теодолит- ного хода, точность из- мерения ли- нейных рас- стояний	Проводят ре- когносциров- ку, выбирают и закрепляют на местности точки плано- во-высотного обоснования, измеряют длины сторон теодолитного хода	6,0	Каждый участ- ник закрепля- ет не менее одной точки и измеряет длину не ме- нее одной стороны
Основ- ной II	Теодолит- ная съемка	Получить навыки ра- боты с тео- долитом и ведения по- левой до- кументации	Сообщают поря- док измерения углов и ведения полевой доку- ментации	Точность из- мерения уг- лов, порядок полевого из- мерения кон- троля из- мерений	Измеряют уг- лы теодолитом, ведут журнал теодолитной съемки, осу- ществляют ре- контроль ре- зультатов измерений	6,0	Каждый участ- ник самостоя- тельно работа- ет не менее чем на одной станции
Основ- ной III	Нивелирова- ние сторон теодолитно- го хода	Получить навыки ра- боты с ни- велиром и ведения журнала нивелиро- вания	Сообщают поря- док разбивки пикетажа, рабо- ты с нивелиром и ведения жур- нала, осуще- ствляют конт- роль за каче- ством работы	Порядок раз- бивки пикета- жа, точность отче- сания между точек, контроль определения превышений, допустимая невязка	Разбивают пи- кетаж, опре- деляют превы- шения между пикетами, ведут журнал нивелирования и выполняют постраничный контроль	6,0	Каждый участ- ник самостоя- тельно рабо- тает не менее чем на одной станции
Основ- ной IV	Камераль- ная обра- ботка ре- зультатов полевых из- мерений и	Привить на- выки каме- ральной об- работки ре- зультатов полевых из-	Указывают мето- дику уравнивания и оценки точ- ности полученных результатов, осуществляют	Координаты и высоты исход- ных точек, допустимые угловые и ли- нейные невяз-	Вечисляют координаты и высоты точек планово-вы- сотного обо- нования,	6,0	Применение ЭВМ при выполнении расчетов обя- зательно

1	2	3	4	5	6	7	8
	составление схемы пла- ново-высот- ного обес- нования	мерений, научить составлять схему пла- ново-вы- сотного обоснова- ния	контроль за ходом высле- дений, объясняют порядок нане- сения точек на координатное поле	ки, форма от- четности и про- грамма работы с ЭВМ, порядок нанесения точек на координатное поле	составляют схемы пла- ново-вы- сотного обоснования	6,0	
Заклю- читель- ный	Прием за- конченных работ и оценка результатов игр	Научить составлять и защищать отчеты по топографо- геодезиче- ским рабо- там	Сообщают порядок защиты отчетов, оценивают уча- стие каждого студента, дают общий анализ игры	Состав отчета и порядок его защиты, кри- терии оценки участников игры	Оформляют отчет, за- щищают по- лученные результаты, участвуют в оценке ра- боты каждо- го студента	4,0	Каждый участ- ник игры по- лучает диф- ференцирован- ную оценку, отчет общий для бригады

1. Видуев Н.Г., Полищук Ю.В. Инженерные изыскания. - К.: Выща шк., 1979.
2. Давыдов А.Д. Гидромелиоративные и гидротехнические изыскания. - Омск, 1968.
3. Ильин В.И., Ратушняк Г.С. и др. Методика проектирования вертикальной планировки. - Винница: ЦНТИ, 1983.
4. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. - М.: Недра, 1985.
5. Инженерная геодезия / Г.В.Багратуни, В.Н.Ганьшин, Б.В.Данилевич и др. - М.: Недра, 1984.
6. Инженерная геодезия в строительстве / О.С.Разумов, В.Г.Ладонников, Н.А.Ангелова и др. - М.: Высш.шк., 1984.
7. Левчук Г.П., Новак В.Е., Лебедев Н.Н. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений. - М.: Недра, 1983.
8. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В., Белоненко Г.В. и др. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиорации степного края. - М.: Колос, 1974.
9. Неумывакин Ю.К. Практическое руководство для архитектурной службы района. - М.: Недра, 1979.
10. Величко В.А., Мовчан С.Ф., Дементьев В.Е. и др. Новая геодезическая техника и ее применение в строительстве. - М.: Недра, 1982.
11. Островский А.Л., Кметко И.Н., Литинский О.В. Рекомендации по производству высокоточного нивелирования на геодинамических полигонах и прецизионных инженерно-геодезических работах // Геодезия, картография и аэросъемка. - 1987. - Вып. 47.
12. Полищук Ю.В. Высотные разбивочные работы в строительстве. - К.: Будивальник, 1980.
13. Данилевич Б.В., Лукьянов В.Н., Хейфец Б.С. и др. Практикум по инженерной геодезии. - М.: Недра, 1987.
14. Практическое руководство по геодезическому обеспечению строительства зданий повышенной этажности / ГУГК, НИИПГ. - М.: Недра, 1984.
15. Ратушняк Г.С. Составление гидролого-климатических карт с использованием цифровой модели местности // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. - 1988. - Вып. 50.
16. Руководство по расчету точности геодезических работ в промышленном строительстве. - М.: Недра, 1979.

17. Руководство по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. Высотные сети. - М.: Недра, 1976.
18. СНиП 3.01.03-84. Геодезические работы в строительстве. - М.: Стройиздат, 1985.
19. Спиридонов А.Н., Кулагин Ю.Н., Кузьмин М.В. Поверка геодезических приборов. - М.: Недра, 1981.
20. Багратуни Г.В., Лукьянов В.Ф., Соколовский Я.А. и др. Справочник по геодезическим разбивочным работам. - М.: Недра, 1982.
21. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам / Под ред. В.Д.Большакова, Г.П.Левчука. - М.: Недра, 1981.
22. Баран П.И., Войтенко С.П., Полидук Ю.В. и др. Справочник по инженерной геодезии. - М.: Выща шк., 1978.
23. Сыроткин М.П., Сытник В.С. Справочник по геодезии для строителей. - М.: Недра, 1987.
24. Сытник В.С. Строительная геодезия. - М.: Недра, 1974.
25. Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10000. - М.: Недра, 1977.
26. Хренов Л.С. Геодезические таблицы для строителей. - М.: Недра, 1983.

1. Оценка точности измерений и назначение допусков.....	3
1.1. Единицы, средства и классификация измерений.....	4
1.2. Основные теоретические положения математической обработки результатов геодезических измерений.....	5
1.3. Решение задач по оценке точности измерений и назначению допусков.....	8
1.4. Решение задач по оценке точности измерений и назначению допусков на ЭКВМ.....	16
1.5. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	18
2. Решение задач на топографических картах и планах.....	19
2.1. Общие сведения о топографических картах и планах.....	19
2.2. Исследование точности определения длины линии между точками различными способами	20
2.3. Определение геодезических координат точки.....	22
2.4. Определение прямоугольных координат точки.....	24
2.5. Нанесение на карту пункта по известным координатам.....	25
2.6. Ориентирование направлений.....	27
2.7. Решение задач с помощью горизонталей.....	30
2.8. Исследование природных явлений с помощью тематических карт.....	35
2.9. Установление номенклатуры листа карты.....	40
2.10. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	41
3. Линейные измерения.....	42
3.1. Типы приборов для линейных измерений.....	42
3.2. Поверка приборов для измерений длин линий.....	46
3.3. Измерение длины линий лентами и рулетками.....	47
3.4. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	50
4. Угловые измерения.....	50
4.1. Типы теодолитов и их особенности.....	50
4.2. Геометрическая схема и основные части теодолита.....	52
4.3. Устройство теодолита ТЗО.....	55
4.4. Подготовка теодолита к работе.....	56

4.5. Поверки и юстировки теодолитов.....	59
4.6. Измерение углов теодолитом Т30.....	65
4.7. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	67
5. Нивелирование.....	67
5.1. Виды нивелирования.....	67
5.2. Типы нивелиров и нивелирных реек, их особенности.....	69
5.3. Устройство нивелиров.....	71
5.4. Подготовка нивелиров и нивелирных реек к работе.....	75
5.5. Поверки и юстировки нивелиров.....	78
5.6. Определение превышений при геометрическом нивелировании.....	83
5.7. Определение превышений при тригонометрическом нивелировании.....	36
5.8. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	88
6. Вычисление координат точек съёмочного обоснования и составление топографического плана строительной площадки.....	88
6.1. Полевые работы при прокладке теодолитных ходов.....	88
6.2. Обработка полевых материалов.....	90
6.3. Вычисление координат точек теодолитного полигона.....	95
6.4. Вычисление координат точек диагонального хода.....	96
6.5. Построение точек планового обоснования.....	102
6.6. Полевые работы при тахеометрической съёмке.....	108
6.7. Камеральная обработка результатов тахеометрической съёмки.....	112
6.8. Вычислительная обработка результатов измерений на ЭВМ.....	115
6.9. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	120
7. Составление профиля трассы линейного сооружения и проектирование на профиле.....	121
7.1. Полевые работы при трассировании линейных сооружений.....	121
7.2. Обработка журнала технического нивелирования.....	124
7.3. Построение продольного и поперечного профилей трассы.....	129
7.4. Нанесение проектной линии и вычисление отметок проектных точек.....	132

7.5. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	I34
8. Геодезические расчеты при проектировании вертикальной планировки строительной площадки.....	I35
8.1. Составление топографического плана строительной площадки с использованием результатов нивелирования по квадратам.....	I35
8.2. Методы проектирования вертикальной планировки.....	I40
8.3. Проектирование оформляющей плоскости.....	I44
8.4. Составление картограммы земляных работ.....	I47
8.5. Вычисление объемов земляных работ.....	
8.6. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	I51
9. Расчет разбивочных элементов для составления чертежей перенесения основных осей сооружений в натуру.....	I51
9.1. Выбор оптимального способа разбивки зданий и сооружений.....	I51
9.2. Расчет разбивочных элементов при выносе в натуру основных осей способом полярных координат.....	I56
9.3. Определение точности разбивки осей способом полярных координат.....	I60
9.4. Применение ЭВМ для расчета разбивочных элементов....	I61
9.5. Контрольные вопросы и задачи для самостоятельного решения.....	I63
10. Геодезические работы в период строительства.....	I63
10.1. Определение высоты доступного сооружения.....	I63
10.2. Определение высоты недоступного сооружения.....	I65
10.3. Определение расстояния до недоступной точки.....	I66
10.4. Определение длины линии косвенным методом при наличии препятствия.....	I68
10.5. Детальная разбивка круговой кривой способом прямоугольных координат.....	I70
10.6. Перенесение в натуру проектного горизонтального угла.....	I72
10.7. Построение проектного расстояния.....	I75
10.8. Перенесение в натуру проектной отметки.....	I78
10.9. Передача отметок в глубокий котлован.....	I81
10.10. Передача отметок на монтажный горизонт.....	I84
10.11. Перенесение на местность линии заданного уклона.....	I85

10.12. Построение плоскости заданного уклона.....	190
10.13. Определение продольного уклона реки.....	191
10.14. Задачи для самостоятельного решения.....	192
II. Организация и методика проведения деловых игр.....	192
II.1. Особенности деловых игр и рекомендации по их применению.....	192
II.2. Методические рекомендации по проведению тематической деловой игры "Геодезист".....	195

Учебное издание

Г.С.Ратушняк

Практикум по инженерной геодезии
в строительстве
Учебное пособие

Редактор В.С.Зафт
Корректоры: Н.Н.Дзёма
А.И.Мирончук

Св.темплан 1989, поз.192

Подп. к печ. 17.04.89 . Б*О 03113 . Формат 60×84^{1/16}. Бумага
тип. № 3 . Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,09. Усл. кр.-отт. 12,2
Уч.-изд. л. 11,40. Изд. № 492,0 . Тираж 1088 .
Зак. № 13943 . Цена 40 коп.

Винницкий политехнический институт
г. Винница, Хмельницкое шоссе, 133

ГП ППО «Укрвузполиграф».
252151, г. Киев, ул. Волынская, 60.

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		международное	русское
О С Н О В Н Ы Е Е Д И Н И Ц Ы С И			
Длина	метр	m	м
Масса	килограмм	kg	кг
Время	секунда	s	с
Сила электрического тока	ампер	A	А
Термодинамическая температура	кельвин	K	К
Количество вещества	моль	mol	моль
Сила света	кандела	cd	кд
Д О П О Л Н И Т Е Л Ь Н Ы Е Е Д И Н И Ц Ы С И			
Плоский угол	радиан	rad	рад
Телесный угол	стерадиан	sr	ср
ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦ СИ, ИМЕЮЩИЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ НАИМЕНОВАНИЯ			

Величина	Единица			Выражение через основ- ные и допол- нительные единицы СИ
	Наимено- вание	Обозначение		
		междуна- родное	рус- ское	
Частота	герц	Hz	Гц	с^{-1}
Сила	ньютон	N	Н	$\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Давление	паскаль	Pa	Па	$\text{м}^{-1} \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Энергия	джоуль	J	Дж	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность	ватт	W	Вт	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3}$
Количество электричества	кулон	C	Кл	$\text{с} \cdot \text{А}$
Электрическое напряжение	вольт	V	В	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Электрическая емкость	фарад	F	Ф	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^4 \cdot \text{А}^2$
Электрическое сопротивление	ом	Ω	Ом	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$
Электрическая проводимость	сименс	S	См	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^3 \cdot \text{А}^2$
Поток магнитной индукции	вебер	Wb	Вб	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Магнитная индукция	тесла	T	Тл	$\text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1}$
Индуктивность	генри	H	Гн	$\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-2}$
Световой поток	люмен	lm	лм	кд · ср
Освещенность	люкс	lx	лк	$\text{м}^{-2} \cdot \text{кд} \cdot \text{ср}$
Активность радионуклида	беккерель	Bq	Бк	с^{-1}
Поглощенная доза ионизирующего излучения	грэй	Gy	Гр	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Sv	Зв	$\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$