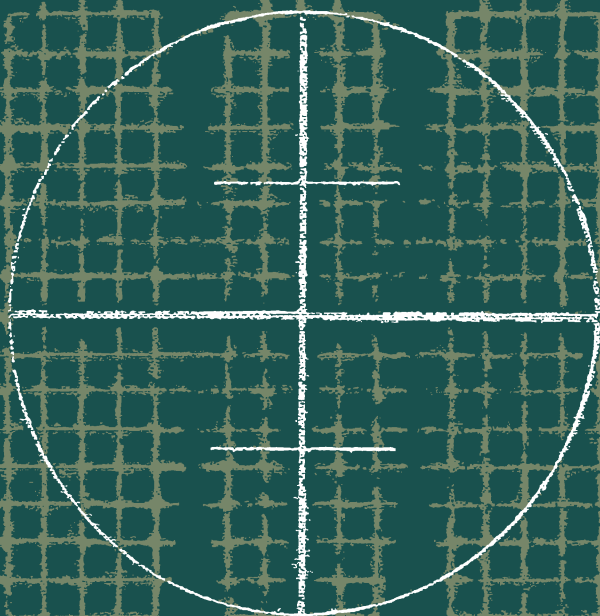


ИЕ СУББОТЕН, А.С. МАЗНІКОВ

СПРАВОЧНИК СТРОИТЕЛЯ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ



И. Е. СУББОТИН, А. С. МАЗНИЦКИЙ

СПРАВОЧНИК СТРОИТЕЛЯ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «БУДІВЕЛЬНИК»
К и е в — 1972

Субботин И. Е., Мазницкий А. С.

Справочник строителя по инженерной геодезии. Киев, «Будівельник», 1972, стр. 307.

В книге описаны основные виды топографо-геодезических работ, выполняемых при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации зданий и инженерных сооружений. Представлены сведения об основных геодезических инструментах и приборах, изложены рациональные способы выполнения геодезических работ и расчеты норм их точности по строительным допускам, требования существующих инструкций и положений с учетом применения новейших приборов и инструментов. Большое внимание в книге уделено производству геодезических разбивочных работ.

Справочник рассчитан на инженерно-технических работников геодезических служб в промышленном и гражданском строительстве. Может быть использован производителями работ в качестве практического руководства, а также быть полезным студентам инженерно-геодезических специальностей.

Рисунков 199, таблиц 52, библиография из 53 позиций.

Глава I. НЕКОТОРЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МАТЕМАТИКИ

§ 1. Площадь плоских фигур

1. Треугольник

$$S = \frac{1}{2} a \cdot h_a = \frac{1}{2} b \cdot h_b = \frac{1}{2} c \cdot h_c;$$

$$S = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}; \quad p = \frac{a+b+c}{2};$$

$$S = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \gamma = \frac{1}{2} a \cdot c \cdot \sin \beta = \frac{1}{2} b \cdot c \cdot \sin \alpha,$$

a, b, c — стороны треугольника;
 h_a, h_b, h_c — высоты на соответствующие стороны треугольника;
 α, β, γ — углы треугольника.

$$S = \frac{1}{2} [(x_1 \cdot y_2 - x_2 \cdot y_1) + (x_2 \cdot y_3 - x_3 \cdot y_2) + (x_3 \cdot y_1 - x_1 \cdot y_3)];$$

$$S = \frac{1}{2} \begin{vmatrix} x_1 & y_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & 1 \end{vmatrix}$$

$(x_1, y_1); (x_2, y_2); (x_3, y_3)$ — координаты вершин треугольника.

2. Трапеция

$$S = \frac{a+b}{2} \cdot h = m \cdot h,$$

a, b — длины параллельных сторон;
 h — высота;

$$m = \frac{a+b}{2} \text{ — средняя линия.}$$

3. Параллелограмм

$$S = a \cdot h = a \cdot b \cdot \sin \alpha,$$

α — угол между двумя непараллельными сторонами;
 h — высота.

4. Ромб

$$S = \frac{1}{2} d_1 \cdot d_2,$$

d_1, d_2 — диагонали.

5. Многоугольник

$$S = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i (y_{i-1} - y_{i+1}) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i (x_{i+1} - x_{i-1}).$$

n, x_i, y_i — число вершин многоугольника и их координаты.

Формулы справедливы при нумерации вершин по ходу часовой стрелки.

6. Круг

$$S = \pi \cdot R^2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4}.$$

7. Круговой сектор (рис. 1)

$$S = \frac{1}{2} l \cdot R = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha^\circ}{\rho^\circ} R^2,$$

l — длина дуги; α° — центральный угол в градусной мере; ρ° — число градусов в радиане; R — радиус дуги.

8. Круговой сегмент (рис. 2)

$$S = \frac{1}{2} R^2 \cdot \left(\frac{\alpha^\circ}{\rho^\circ} - \sin \alpha \right) = \frac{R(l - b) + b \cdot h}{2}.$$

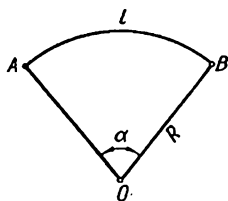


Рис. 1. Круговой сектор.

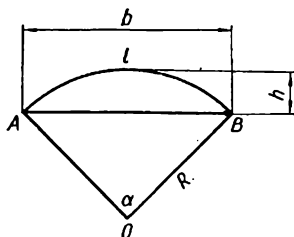


Рис. 2. Круговой сегмент.

9. Эллипс

$$S = \pi \cdot a \cdot b,$$

a, b — полуоси эллипса.

§ 2. Объемы тел

1. Прямая призма

$$V = F \cdot H,$$

F — площадь основания; H — высота.

2. Трехгранная призма с непараллельными основаниями

$$V = \frac{F}{3} (h_1 + h_2 + h_3),$$

h_1, h_2, h_3 — длины боковых (параллельных) ребер; F — площадь нормального сечения.

3. Куб

$$V = a^3,$$

a — ребро куба

4. Прямоугольный параллелепипед

$$V = a \cdot b \cdot c,$$

a, b, c — ребра параллелепипеда.

5. Пирамида и конус

$$V = \frac{1}{3} F \cdot H.$$

6. Усеченная пирамида (рис. 3)

$$V = \frac{h}{3} [F_1 + F_2 + \sqrt{F_1 \cdot F_2}] ,$$

F_1, F_2 — площади верхнего и нижнего (параллельных) оснований; h — высота.

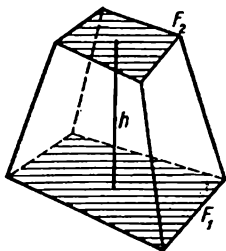


Рис. 3. Усеченная пирамида.

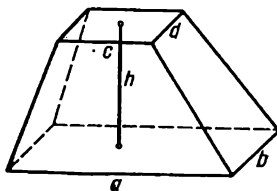


Рис. 4. Обелиск.

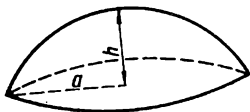


Рис. 5. Шаровой сегмент.

7. Обелиск (рис. 4). Это тело, боковые грани которого не пересекаются в одной точке, верхнее и нижнее основание — прямоугольники, лежащие в параллельных плоскостях.

$$V = \frac{h}{6} [ab + cd + (a + c)(b + d)],$$

a, b, c, d — стороны нижнего и верхнего основания; h — высота.

8. Цилиндр

$$V = F \cdot h,$$

F — площадь основания; h — высота.

9. Круговой цилиндр

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot h = \frac{\pi D^2 \cdot h}{4} .$$

10. Полый круглый цилиндр (труба)

$$V = \pi \cdot h (R^2 - r^2) = \pi \cdot h \delta (R + r) = \frac{\pi h}{4} (D^2 - d^2) = \frac{\pi h \delta}{4} (D + d),$$

R, r — радиусы; D, d — диаметры (наружный и внутренний); δ — толщина стенки; h — высота цилиндра.

11. Конус прямой круглый

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h = \frac{1}{12} \pi D^2 h = 0,2618 \cdot D^2 \cdot h.$$

12. Усеченный круглый конус

$$V = \frac{1}{3} \pi h (R^2 + r^2 + Rr) = \frac{1}{12} \pi h (D^2 + d^2 + Dd).$$

13. Шар

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 4,1888 \cdot R^3 = \frac{1}{6} \pi D^3,$$

$$R = 0,62035 \sqrt[3]{V}.$$

14. Полый шар

$$V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3) = \frac{1}{6} \pi (D^3 - d^3).$$

15. Шаровой сегмент (рис. 5)

$$V = \pi \cdot h^2 \left(R - \frac{h}{3} \right) = \frac{1}{6} \pi \cdot h (3a^2 - h^2); \quad a = \sqrt{h(2R - h)},$$

R — радиус шара; a — радиус основания сегмента; h — высота сегмента.

16. Шаровой пояс (рис. 6)

$$V = \frac{1}{6} \pi \cdot h (3r_1^2 + 3r_2^2 + h^2),$$

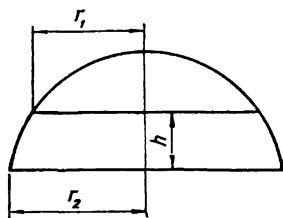


Рис. 6. Шаровой пояс.

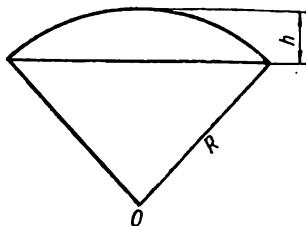


Рис. 7. Шаровой сектор.

r_1, r_2 — радиусы оснований пояса; h — высота пояса.

17. Шаровой сектор (рис. 7)

$$V = \frac{2}{3} \pi R^2 \cdot h = 2,0944 \cdot R^2 \cdot h,$$

R — радиус шара; h — высота соответствующего сегмента.

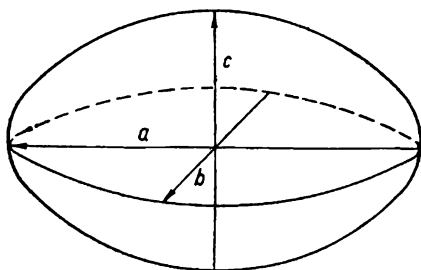


Рис. 8. Трехосный эллипсоид.

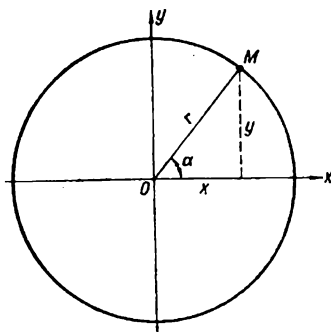


Рис. 9. Определение тригонометрических функций.

18. Трехосный эллипсоид (рис. 8)

$$V = \frac{4}{3} \pi \cdot a \cdot b \cdot c,$$

a, b, c — полуоси эллипсоида.

19. Бочка сферической формы

$$V = 0,2618 \cdot h (2D^2 + d^2),$$

d — диаметр днища; D — диаметр среднего сечения; h — высота.

§ 3. Гониметрия (рис. 9)

1. Тригонометрические функции

$$\sin \alpha = \frac{y}{r} ; \operatorname{cosec} \alpha = \frac{r}{y} ;$$

$$\cos \alpha = \frac{x}{r} ; \sec \alpha = \frac{r}{x} ;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y}{x} ; \operatorname{ctg} \alpha = \frac{x}{y} .$$

2. Знаки тригонометрических функций углов разных квадрантов (четвертей)

Квадрант α	I 0—90°	II 90—180°	III 180—270°	IV 270—360°
$\sin \alpha$	+	+	—	—
$\cos \alpha$	+	—	—	+
$\operatorname{tg} \alpha$	+	—	+	—
$\operatorname{ctg} \alpha$	+	—	+	—
$\sec \alpha$	+	—	—	+
$\operatorname{cosec} \alpha$	+	+	—	—

3. Тригонометрические функции отрицательных углов

$$\sin (-\alpha) = -\sin \alpha ; \cos (-\alpha) = +\cos \alpha ;$$

$$\operatorname{tg} (-\alpha) = -\operatorname{tg} \alpha ; \operatorname{ctg} (-\alpha) = -\operatorname{ctg} \alpha ;$$

$$\sec (-\alpha) = +\sec \alpha ; \operatorname{cosec} (-\alpha) = -\operatorname{cosec} \alpha .$$

4. Формулы приведения тригонометрических функций

Угол	$\sin$	$\cos$	tg	ctg	$\sec$	cosec
α	$+\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\operatorname{tg} \alpha$	$+\operatorname{ctg} \alpha$	$+\sec \alpha$	$+\operatorname{cosec} \alpha$
$90^\circ - \alpha$	$+\cos \alpha$	$+\sin \alpha$	$+\operatorname{ctg} \alpha$	$+\operatorname{tg} \alpha$	$+\operatorname{cosec} \alpha$	$+\sec \alpha$
$90^\circ + \alpha$	$+\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{cosec} \alpha$	$+\sec \alpha$
$180^\circ - \alpha$	$+\sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$-\sec \alpha$	$+\operatorname{cosec} \alpha$
$180^\circ + \alpha$	$-\sin \alpha$	$-\cos \alpha$	$+\operatorname{tg} \alpha$	$+\operatorname{ctg} \alpha$	$-\sec \alpha$	$-\operatorname{cosec} \alpha$
$270^\circ - \alpha$	$-\cos \alpha$	$-\sin \alpha$	$+\operatorname{ctg} \alpha$	$+\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{cosec} \alpha$	$-\sec \alpha$
$270^\circ + \alpha$	$-\cos \alpha$	$+\sin \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$+\operatorname{cosec} \alpha$	$-\sec \alpha$
$360^\circ - \alpha$	$-\sin \alpha$	$+\cos \alpha$	$-\operatorname{tg} \alpha$	$-\operatorname{ctg} \alpha$	$+\sec \alpha$	$-\operatorname{cosec} \alpha$

5. Основные формулы

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}; \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}; \quad 1 + \operatorname{tg}^2 \alpha = \sec^2 \alpha;$$

$$1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha = \operatorname{cosec}^2 \alpha; \quad \sin \alpha \cdot \operatorname{cosec} \alpha = 1; \quad \cos \alpha \cdot \sec \alpha = 1; \quad \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \alpha = 1.$$

6. Выражение одной функции через другие

$$\sin \alpha = \frac{1}{\operatorname{cosec} \alpha} = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}} = \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} =$$

$$= \frac{\sqrt{\sec^2 \alpha - 1}}{\sec \alpha};$$

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sec \alpha} = \sqrt{1 - \sin^2 \alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha}} = \frac{\operatorname{ctg} \alpha}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha}} = \frac{\sqrt{\operatorname{cosec}^2 \alpha - 1}}{\operatorname{cosec} \alpha};$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha} = \sqrt{\sec^2 \alpha - 1} = \frac{1}{\sqrt{\operatorname{cosec}^2 \alpha - 1}} = \frac{\sin \alpha}{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}} = \frac{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}}{\cos \alpha};$$

$$\operatorname{ctg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = \sqrt{\operatorname{cosec}^2 \alpha - 1} = \frac{1}{\sqrt{\sec^2 \alpha - 1}} = \frac{\cos \alpha}{\sqrt{1 - \cos^2 \alpha}} = \frac{\sqrt{1 - \sin^2 \alpha}}{\sin \alpha}.$$

7. Функции двойного угла

$$\sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{2 \operatorname{ctg} \alpha}{1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha} = \frac{2}{\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{ctg} \alpha};$$

$$\cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 1 - 2 \sin^2 \alpha = 2 \cos^2 \alpha - 1 = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha};$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha} = \frac{2 \operatorname{ctg} \alpha}{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1} = \frac{2}{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha};$$

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha} = \frac{\operatorname{ctg}^2 \alpha - 1}{2 \operatorname{ctg} \alpha} = \frac{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \alpha}{2}.$$

8. Функции половины угла

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + \sin \alpha} - \frac{1}{2} \sqrt{1 - \sin \alpha};$$

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{1 + \sin \alpha} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - \sin \alpha};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{1 + \cos \alpha}} = \frac{\sin \alpha}{1 + \cos \alpha} = \frac{1 - \cos \alpha}{\sin \alpha};$$

$$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}} = \frac{\sin \alpha}{1 - \cos \alpha} = \frac{1 + \cos \alpha}{\sin \alpha}.$$

9. Функции суммы и разности углов

$$\sin (\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta;$$

$$\cos (\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \pm \sin \alpha \cdot \sin \beta;$$

$$\operatorname{ctg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{ctg} \alpha \cdot \operatorname{ctg} \beta \pm 1}{\operatorname{ctg} \beta \pm \operatorname{ctg} \alpha};$$

$$\operatorname{tg}(\alpha \pm \beta) = \frac{\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta}{1 \pm \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}.$$

10. Сумма и разность двух функций

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$\sin \alpha - \sin \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$\cos \alpha + \cos \beta = 2 \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$\cos \alpha - \cos \beta = -2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \sin \frac{\alpha - \beta}{2};$$

$$\operatorname{tg} \alpha \pm \operatorname{tg} \beta = \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\cos \alpha \cdot \cos \beta};$$

$$\operatorname{ctg} \alpha \pm \operatorname{ctg} \beta = \pm \frac{\sin(\alpha \pm \beta)}{\sin \alpha \cdot \sin \beta}.$$

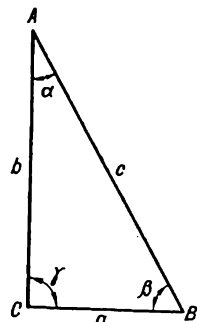


Рис. 10. Прямоугольный плоский треугольник.

11. Некоторые зависимости между функциями углов треугольника

Если $\alpha + \beta + \gamma = 180^\circ$, то

$$\sin \alpha + \sin \beta + \sin \gamma = 4 \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\beta}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2};$$

$$\cos \alpha + \cos \beta + \cos \gamma = 1 + 4 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\beta}{2} \cdot \sin \frac{\gamma}{2};$$

$$\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta + \operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{tg} \gamma;$$

$$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} = \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}.$$

§ 4. Плоская тригонометрия

1. Основные формулы прямоугольного плоского треугольника (рис. 10)

$$a^2 + b^2 = c^2; \quad \alpha + \beta = \gamma = 90^\circ;$$

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}; \quad \cos \alpha = \frac{b}{c}; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b};$$

$$\sin \beta = \frac{b}{c}; \quad \cos \beta = \frac{a}{c}; \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{b}{a};$$

$$F = \frac{a \cdot b}{2} = \frac{a \cdot c \cdot \sin \beta}{2} = \frac{b \cdot c \cdot \sin \alpha}{2} = \frac{a \cdot c \cdot \cos \alpha}{2} = \frac{b \cdot c \cdot \cos \beta}{2}.$$

2. Решение плоских прямоугольных треугольников

Дано	Найти	Решение	Дано	Найти	Решение
a	β	$\beta = 90^\circ - \alpha$	a	α	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}; \quad \beta = 90^\circ - \alpha$
	b	$b = a \cdot \operatorname{ctg} \alpha$		β	$\operatorname{tg} \beta = \frac{b}{a}; \quad \alpha = 90^\circ - \beta$
	c	$c = \frac{a}{\sin \alpha}$		c	$c = \sqrt{a^2 + b^2} =$ $= \frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\cos \alpha}$
α	F	$F = \frac{a^2}{2} \operatorname{ctg} \alpha$	b	F	$F = \frac{1}{2} a \cdot b$
b	β	$\beta = 90^\circ - \alpha$		α	$\sin \alpha = \frac{a}{c}; \quad \beta = 90^\circ - \alpha$
	a	$a = b \cdot \operatorname{tg} \alpha$		β	$\operatorname{tg} \beta = \sqrt{\frac{c-a}{c+a}}$
	c	$c = \frac{b}{\cos \alpha}$	a	b	$b = \sqrt{c^2 - a^2} =$ $= c \cdot \cos \alpha = c \cdot \sin \beta$
α	F	$F = \frac{b^2}{2} \cdot \operatorname{tg} \alpha$		F	$F = \frac{1}{2} a \cdot c \cdot \sin \beta$
c	β	$\beta = 90^\circ - \alpha$	c	α	$\sin \alpha = \frac{a}{c}; \quad \beta = 90^\circ - \alpha$
	a	$a = c \cdot \sin \alpha$		β	$\operatorname{tg} \beta = \sqrt{\frac{c-a}{c+a}}$
	b	$b = c \cdot \cos \alpha$		b	$b = \sqrt{c^2 - a^2} =$ $= c \cdot \cos \alpha = c \cdot \sin \beta$
α	F	$F = \frac{c^2}{2} \sin \alpha \cdot \cos \alpha$	c	F	$F = \frac{1}{2} a \cdot c \cdot \sin \beta$

3. Основные формулы косоугольного треугольника:

$$\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma} = 2R \quad (\text{формула синусов});$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos \alpha \quad (\text{формула косинуса});$$

$$F = \frac{a \cdot b \cdot \sin \gamma}{2}; \quad a = b \cdot \cos \gamma + c \cdot \cos \beta.$$

4. Решение косоугольных треугольников

Первый случай. Даны: a, α_1, β . Найти γ, b, c, F .

$$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta); \quad b = \frac{a \cdot \sin \beta}{\sin \alpha};$$

$$c = \frac{a \cdot \sin \gamma}{\sin \alpha}; \quad F = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \gamma.$$

Второй случай. Даны: a, b, γ . Найти α, β, c, F .

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha - \beta}{2} = \frac{a - b}{a + b} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}; \quad \frac{\alpha + \beta}{2} = 90^\circ - \frac{\gamma}{2}.$$

α, β находят совместным решением двух последних уравнений

$$c = \frac{a \cdot \sin \gamma}{\sin \alpha}; \quad F = \frac{1}{2} ab \cdot \sin \gamma.$$

Третий случай. Даны: a, b, α . Найти β, γ, c, F .

$$\sin \beta = \frac{b \cdot \sin \alpha}{a}.$$

Если $a > b$, то $\beta < 90^\circ$ и имеет одно значение.

Если $a < b$, то

1) β имеет два значения: β и $180^\circ - \beta$

2) при $b \cdot \sin \alpha = a, \beta = 90^\circ$;

3) при $b \cdot \sin \alpha > a$ треугольник невозможен.

$$\gamma = 180^\circ - (\alpha + \beta); \quad c = \frac{a \cdot \sin \gamma}{\sin \alpha}; \quad F = \frac{1}{2} ab \cdot \sin \gamma.$$

Четвертый случай. Даны: a, b, c . Найти α, β, γ, F .

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{p(p-a)}}; \quad \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-c)}{p(p-b)}};$$

$$\operatorname{tg} \frac{\gamma}{2} = \sqrt{\frac{(p-a)(p-b)}{p(p-c)}}; \quad F = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}; \quad \alpha + \beta + \gamma = 180^\circ.$$

§ 5. Аналитическая геометрия на плоскости

1. Расстояние между двумя точками

$$l = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}.$$

2. Преобразование координат

1. При параллельном перенесении осей (преобразование к новому началу координат x_0, y_0)

$$x_1 = x - x_0; \quad y_1 = y - y_0.$$

x, y — координаты точек в старой системе;

x_0, y_0 — то же, нового начала в старой системе;

x_1, y_1 — » точек в новой системе.

2) При повороте осей на угол θ :

$$x_1 = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta;$$

$$y_1 = y \cdot \cos \theta - x \cdot \sin \theta.$$

3) При повороте осей на угол θ и перенесении начала координат

$$x_1 = x \cdot \cos \theta + y \cdot \sin \theta - x_0;$$

$$y_1 = y \cdot \cos \theta - x \cdot \sin \theta - y_0.$$

3. Прямая линия

Нормальное уравнение прямой

$$-x \cdot \cos \theta - y \cdot \sin \theta + p = 0 \quad (p > 0).$$

θ — угол от положительного направления оси абсцисс до перпендикуляра, опущенного на прямую из начала координат;

p — длина перпендикуляра.

Общее уравнение прямой:

$$Ax + By + C = 0.$$

Общее уравнение прямой приводят к нормальному умножением на нормирующий множитель

$$N = \pm \frac{1}{\sqrt{A^2 + B^2}}.$$

Расстояние от точки x_k, y_k до прямой

$$d = -x_k \cdot \cos \theta - y_k \cdot \sin \theta + p.$$

Уравнение прямой с угловым коэффициентом:

$$y = kx + b;$$

$$k = \operatorname{tg} \alpha,$$

где α — угол от положительного направления оси абсцисс до направления прямой;

b — отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат.

Угол между двумя прямыми (рис. 11)

$$\operatorname{tg} \varphi_{1,2} = \frac{k_2 - k_1}{1 + k_1 \cdot k_2};$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{2,1} = \frac{k_1 - k_2}{1 + k_1 \cdot k_2},$$

k_1, k_2 — угловые коэффициенты прямых.

Если прямые заданы уравнениями

$$A_1x + B_1y + C_1 = 0;$$

$$A_2x + B_2y + C_2 = 0,$$

то

$$\operatorname{tg} \varphi_{1,2} = \frac{-A_1B_2 + A_2B_1}{A_1A_2 + B_1B_2}.$$

Уравнение прямой, проходящей через данную точку (x_1, y_1) :

$$y - y_1 = k(x - x_1);$$

$$A(x - x_1) + B(y - y_1) = 0$$

Уравнение прямой, проходящей через две данные точки,

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2) : \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}.$$

Определение координат точки пересечения двух прямых, заданных уравнениями

$$A_1x + B_1y + C_1 = 0;$$

$$A_2x + B_2y + C_2 = 0,$$

производится совместным решением этих уравнений.

4. Окружность

Уравнение окружности:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2.$$

x_0, y_0 — координаты центра; R — радиус.

5. Эллипс

Уравнение эллипса:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1,$$

a — большая полуось; b — то же, малая.

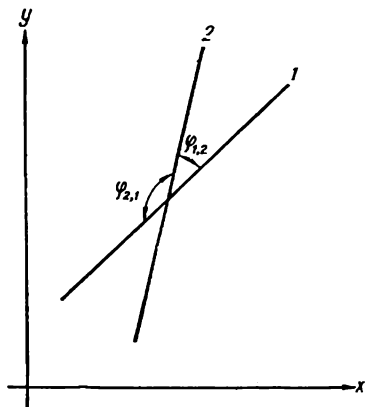


Рис. 11. Угол между двумя прямыми.

Уравнение касательной к эллипсу в точке $M_0 (x_0, y_0)$

$$\frac{x \cdot x_0}{a^2} + \frac{y \cdot y_0}{b^2} = 1.$$

§ 6. Аналитическая геометрия в пространстве

1. Расстояние между двумя точками

$$L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}.$$

2. Плоскость. Общее уравнение плоскости:

$$Ax + By + Cz + D = 0.$$

Нормальное уравнение плоскости:

$$x \cdot \cos \alpha + y \cdot \cos \beta + z \cdot \cos \gamma - p = 0,$$

α, β, γ — углы, составляемые перпендикуляром, опущенным из начала координат на плоскость, с координатными осями; p — длина этого перпендикуляра.

Уравнение плоскостей, проходящих через данную точку:

$$M(x_0, y_0, z_0);$$

$$A(x - x_0) + B(y - y_0) + C(z - z_0) = 0.$$

Угол между двумя плоскостями:

$$\cos \varphi = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2 + C_1 C_2}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2} \cdot \sqrt{A_2^2 + B_2^2 + C_2^2}}.$$

3. Прямая. В пространстве она задается уравнениями двух плоскостей:

$$A_1 x + B_1 y + C_1 z + D_1 = 0;$$

$$A_2 x + B_2 y + C_2 z + D_2 = 0.$$

Уравнение прямой, проходящей через две точки:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{z - z_1}{z_2 - z_1}.$$

Уравнение прямой в нормальном (каноническом) виде:

$$\frac{x - x_0}{m} = \frac{y - y_0}{n} = \frac{z - z_0}{p},$$

x_0, y_0, z_0 — координаты одной из точек прямой; m, n, p — коэффициенты, пропорциональные косинусам углов $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$, образуемых прямой с координатными осями.

Угол между двумя прямыми в пространстве:

$$\cos \gamma = \frac{m_1 \cdot m_2 + n_1 \cdot n_2 + p_1 \cdot p_2}{\sqrt{m_1^2 + n_1^2 + p_1^2} \cdot \sqrt{m_2^2 + n_2^2 + p_2^2}}.$$

4. Эллипсоид. Уравнение трехосного эллипсоида

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1.$$

a, b, c — полуоси эллипсоида.

§ 7. Дифференциальное исчисление

1. Некоторые пределы

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{\sin x}{x} = 1;$$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = e = 2,7182; \quad \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{x}{n}\right)^n = e^x.$$

2. Геометрическая интерпретация производной

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \alpha,$$

где α — угол наклона касательной к оси x .

3. Основные формулы дифференцирования

$$\frac{dc}{dx} = 0; \quad \frac{dx}{dx} = 1;$$

$$\frac{d}{dx} (u + v - w) = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dx} - \frac{dw}{dx};$$

$$\frac{d}{dx} (u \cdot v) = \frac{du}{dx} \cdot v + u \cdot \frac{dv}{dx}; \quad \frac{d}{dx} (c \cdot v) = c \cdot \frac{dv}{dx};$$

$$\frac{d}{dx} \left(\frac{u}{v} \right) = \frac{\frac{du}{dx} \cdot v - u \cdot \frac{dv}{dx}}{v^2}; \quad \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{v} \right) = - \frac{\frac{dv}{dx}}{v^2};$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{1}{\frac{dx}{dy}}; \quad \frac{de^v}{dx} = e^v \frac{dv}{dx};$$

$$\frac{d(A^u)}{dx} = A^u \cdot \ln A \cdot \frac{du}{dx}; \quad \frac{du^v}{dx} = v \cdot u^{v-1} \frac{du}{dx} + u^v \cdot \ln u \frac{dv}{dx};$$

$$\frac{d \ln u}{dx} = \frac{\frac{du}{dx}}{u}; \quad \frac{d \lg_A u}{dx} = \lg_A e \frac{\frac{du}{dx}}{u};$$

$$\frac{d(u^A)}{dx} = A u^{A-1} \cdot \frac{du}{dx}; \quad \frac{dx^n}{dx} = n \cdot x^{n-1};$$

$$\frac{d \cdot \sin u}{dx} = \cos u \frac{du}{dx}; \quad \frac{d \cos u}{dx} = - \sin u \frac{du}{dx};$$

$$\frac{d \operatorname{tg} u}{dx} = \frac{1}{\cos^2 u} \cdot \frac{du}{dx}; \quad \frac{d \operatorname{ctg} u}{dx} = - \frac{1}{\sin^2 u} \cdot \frac{du}{dx};$$

$$\frac{d \sec u}{dx} = \frac{\sin u}{\cos^2 u} \cdot \frac{du}{dx}; \quad \frac{d \operatorname{cosec} u}{dx} = - \frac{\cos u}{\sin^2 u} \cdot \frac{du}{dx};$$

$$\frac{d \arcsin u}{dx} = \frac{\frac{du}{dx}}{\sqrt{1-u^2}}; \quad \frac{d \arccos u}{dx} = -\frac{\frac{du}{dx}}{\sqrt{1-u^2}};$$

$$\frac{d \operatorname{arctg} u}{dx} = \frac{\frac{du}{dx}}{1+u^2}; \quad \frac{d \operatorname{arctg} u}{dx} = -\frac{\frac{du}{dx}}{1+u^2}.$$

4. **Ряды.** Формула Тейлора:

$$f(x) = f(a) + \frac{x-a}{1} \cdot f'(a) + \frac{(x-a)^2}{1 \cdot 2} \cdot f''(a) + \dots +$$

$$+ \frac{(x-a)^{n-1}}{(n-1)!} \cdot f^{n-1}(a) + R_n;$$

$$f(a+h) = f(a) + \frac{h}{1} \cdot f'(a) + \frac{h^2}{2!} \cdot f''(a) + \dots + \frac{h^{n-1}}{(n-1)!} \cdot f^{n-1}(a) +$$

$$+ \frac{h^n}{n \cdot 1} \cdot f^n(a + \theta h);$$

$$R_n = \frac{(x-a)^n}{n!} \cdot f^n(\xi), \text{ где } a < \xi_n < x.$$

Формула Маклорена:

$$f(x) = f(0) + \frac{x}{1} f'(0) + \frac{x^2}{1 \cdot 2} \cdot f''(0) + \dots + \frac{x^{n-1}}{(n-1)!} \cdot f^{(n-1)}(0) + R_n;$$

$$R_n = \frac{x^n}{n!} \cdot f^n(\xi_n), \text{ где } 0 < \xi_n < x.$$

Некоторые ряды:

$$e^x = 1 + \frac{x}{1} + \frac{x^2}{1 \cdot 2} + \frac{x^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} + \dots;$$

$$\ln(1+x) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} + \dots;$$

$$\ln(1-x) = -x - \frac{x^2}{2} - \frac{x^3}{3} - \frac{x^4}{4} - \dots;$$

$$\ln x = 2 \left[\frac{x-1}{x+1} + \frac{1}{3} \left(\frac{x-1}{x+1} \right)^3 + \frac{1}{5} \left(\frac{x-1}{x+1} \right)^5 + \dots \right];$$

$$\frac{1}{1-x} = (1-x)^{-1} = 1 + x + x^2 + x^3 + x^4 + \dots;$$

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \frac{x^7}{7!} + \dots;$$

$$\cos x = 1 - \frac{x^2}{2!} + \frac{x^4}{4!} - \frac{x^6}{6!} + \dots;$$

$$\begin{aligned}\operatorname{tg} x &= x + \frac{2x^3}{3!} + \frac{16 \cdot x^5}{5!} + \frac{272x^7}{7!} + \dots; \\ \lg \sin x &= \lg x - \frac{x^2}{6} - \frac{x^4}{2 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 5} - \frac{x^6}{3 \cdot 3 \cdot 5 \cdot 7 \cdot 9} - \dots; \\ \lg \cos x &= -\frac{x^2}{2} - \frac{x^4}{3 \cdot 4} - \frac{x^6}{5 \cdot 9} - \frac{17 \cdot x^8}{5 \cdot 7 \cdot 8 \cdot 9} - \dots; \\ \lg \operatorname{tg} x &= \lg x + \frac{x^2}{3} + \frac{7x^4}{9 \cdot 10} + \frac{62 \cdot x^6}{5 \cdot 7 \cdot 9 \cdot 9} + \dots\end{aligned}$$

§ 8. Интегральное исчисление

1. Основная таблица неопределенных интегралов

$$\begin{aligned}\int x^n dx &= \frac{x^{n+1}}{n+1} + C; & \int \sin x dx &= -\cos x + C; \\ \int \frac{dx}{x} &= \ln x + C; & \int \cos x dx &= \sin x + C; \\ \int e^x dx &= e^x + C; & \int \frac{dx}{\cos^2 x} &= \operatorname{tg} x + C; \\ \int a^x dx &= \frac{a^x}{\ln a} + C; & \int \frac{dx}{\sin^2 x} &= -\operatorname{ctg} x + C; \\ \int \frac{dx}{a^2 + x^2} &= \frac{1}{a} \arctg \frac{x}{a} + C; & \int \operatorname{tg} x \cdot dx &= -\ln \cos x + C; \\ \int \frac{dx}{a^2 - x^2} &= \frac{1}{2a} \ln \frac{a+x}{a-x} + C; & \int \operatorname{ctg} x \cdot dx &= \ln |\sin x| + C; \\ \int \frac{dx}{\sqrt{x^2 \pm a^2}} &= \ln (x + \sqrt{x^2 \pm a^2}) + C.\end{aligned}$$

2. Интегралы от некоторых трансцендентных функций

$$\begin{aligned}\int x^n \cdot e^{ax} \cdot dx &= \frac{1}{a} x^n e^{ax} - n \int x^{n-1} \cdot e^{ax} dx + C; \\ \int x^n \cdot \ln x \cdot dx &= x^{n+1} \left[\frac{\ln x}{n+1} - \frac{1}{(n+1)^2} \right] + C; \\ \int \sin^2 x \cdot dx &= \frac{1}{2} x - \frac{1}{4} \sin 2x + C; \\ \int \cos^2 x \cdot dx &= \frac{1}{2} x + \frac{1}{4} \sin 2x + C.\end{aligned}$$

3. Определенный интеграл. Исходная формула:

$$\int_a^b f(x) dx = \Big|_a^b F(x) = F(b) - F(a).$$

§ 9. Некоторые переводные множители для перехода от английских, американских и старых русских единиц к единицам системы СИ

Наименование единицы	Сокращенное обозначение	Значение в единицах системы СИ
----------------------	-------------------------	--------------------------------

1. Единицы длины

Икс — единица	<i>x</i>	$1,00206 \cdot 10^{-13} \text{ м}$
Ярд (Брит.)	<i>yd (UK)</i>	$0,9143984 \text{ м}$
Ярд (США)	<i>yd (US)</i>	$0,9144018 \text{ м}$
Ярд	<i>yd</i>	$0,9144 \text{ м (точно)}$
Фут	<i>ft</i>	$0,3048 \text{ м (точно)}$
Дюйм	<i>in</i>	$0,0254 \text{ м (точно)}$
Чейн (мерная цепь)	—	$20,1168 \text{ м (точно)}$
Фарлонг	—	$201,168 \text{ м (точно)}$
Миля	<i>mile</i>	$1609,344 \text{ м (точно)}$
		$\approx 1,609 \text{ км}$
Миля морская	<i>n · mile</i>	$1852 \text{ м (точно)} = 1,852 \text{ км}$
Кабельтов	—	$185,2 \text{ м (точно)}$
Фатом	—	$1,8288 \text{ м (точно)}$
Аршин	—	$0,711 \text{ м}$
Сажень	—	$2,133 \text{ м}$
Верста	—	$1066,5 \text{ м} = 1,0665 \text{ км}$

2. Единицы площади

Квадратный дюйм	<i>in²</i>	$6,4516 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \text{ (точно)}$
Квадратный фут	<i>ft²</i>	$0,0929030 \text{ м}^2$
Квадратный ярд	<i>yd²</i>	$0,836127 \text{ м}^2$
Квадратная миля	<i>Sq · mile</i>	$2,58999 \cdot 10^6 \text{ м}^2 = 640 \text{ акров}$
Акр	—	$4046,86 \text{ м}^2$
Барн	—	$1 \cdot 10^{-28} \text{ м}^2$
Квадратный сажень	—	$4,550 \text{ м}^2$
Десятина	—	$10920 \text{ м}^2 = 2400 \text{ квадрат-ных саженей}$

3. Единицы объема

Кубический ярд	<i>yd³</i>	$0,764555 \text{ м}^3$
Кубический фут	<i>ft³</i>	$0,0283168 \text{ м}^3$
Кубический дюйм	<i>in³</i>	$16,3871 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$
Галлон (Брит.)	<i>gal (UK)</i>	$4,54609 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Галлон (США)	<i>gal (US)</i>	$3,78543 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Пинта (Брит.)	<i>pt (UK)</i>	$0,568261 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Жидкая унция (Брит.)	<i>fl · oz (UK)</i>	$28,4130 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$
Бушель (Брит.)	—	$36,3687 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Бушель (США)	<i>bu (US)</i>	$35,2393 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Баррель (США) для бен-зина	—	$158,988 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Корабельная тонна	<i>Sh · ton</i>	$1,13 \text{ м}^3$
Бутылка	—	$0,615 \text{ л} \approx 0,615 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Кружка (штоф)	—	$1,23 \text{ л} \approx 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Ведро	—	$12,3 \text{ л} \approx 12,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Бочка	—	$492 \text{ л} \approx 0,492 \text{ м}^3$
Чарка	—	$0,123 \text{ л} \approx 0,123 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
Кубический фут на фунт-моль	—	$0,062428 \text{ м}^3/\text{кмоль}$

Продолжение

Наименование единицы	Сокращенное обозначение	Значение в единицах системы СИ
----------------------	-------------------------	--------------------------------

4. Единицы массы

Гран	<i>gr</i>	$64,79891 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$
Фунт (торговый)	<i>lb</i>	$0,45359237 \text{ кг}$
Фунт (Брит.)	<i>lb (UK)</i>	$0,4535592338 \text{ кг}$
Фунт (США)	<i>lb (US)</i>	$0,4535924277 \text{ кг}$
Слэг	<i>Slug</i>	$14,5939 \text{ кг}$
Унция	<i>oz</i>	$28,3495 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$
Тонна (Брит.)	<i>ton</i>	$1016,05 \text{ кг}$
Аптека́рская у́нция	<i>oz·apoth</i>	$31,1035 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$
Скрупул	<i>scr</i>	$1,29598 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$

Глава II. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

§ 10. Использование планов и карт

В проектно-изыскательских работах используют топографические карты и планы различных масштабов. Мелкомасштабные карты применяют для технико-экономического обоснования проектов, транспортных и гидротехнических сооружений. По топографическим картам среднего масштаба производят предварительные изыскания и проектирование этих сооружений. Планы крупных масштабов являются топографической основой для разработки проектов городов, промышленных предприятий, гидроузлов, туннелей и других сооружений.

В решении изыскательских и проектных задач большую роль играют государственные топографические карты. Однако, для детального проектирования производят дополнительные инженерно-топографические съемки и составляют изыскательские крупномасштабные планы, которые имеют свои особенности.

Уровень современных геодезических знаний строителя должен позволять ему правильно решать ряд геодезических задач на картах и планах, а именно: определять прямоугольные и географические координаты точки, измерять длину линии, горизонтальные углы, отметки точек, осуществлять выбор направлений инженерных коммуникаций и т. д. На основании этих требований приводим некоторые сведения о применяемой системе координат и номенклатуре карт и планов.

1. Система координат, применяемая в геодезии. В СССР общегосударственная система координат принята в проекции Гаусса—Крюгера.

Точки земной поверхности проектируют на цилиндр, который затем разворачивают на плоскость.

Такой метод дал возможность разделить всю поверхность Земли на равновеликие по площади участки, ограниченные меридианами и имеющие протяжение по широте от северного полюса до южного. Вопрос о размерах таких участков по долготе был решен в зависимости от масштабов топографических съемок. Эти участки стали называть зонами (рис. 12).

При топографических съемках в масштабе 1 : 10 000 и мельче приняты зоны с размерами по долготе в шесть градусов, а при съемках в масштабе 1 : 5000 и крупнее — в три градуса.

Для определения положения точек, а также участков съемки на поверхности Земли, шестиградусные зоны пронумерованы, начиная от гринвичского меридиана, по направлению на восток. Так, между меридианами 0 и 6° расположена 1-я зона, между меридианами 6 и 12° — 2-я и т. д.

Территория СССР расположена в 29 шестиградусных зонах, от номера 4 на западе до номера 32 на востоке (рис. 13).

Зная номер зоны, легко определить долготу среднего или, как принято называть, осевого меридиана данной зоны по формуле

$$\lambda_0 = 6^\circ n - 3^\circ, \quad (1)$$

где λ_0 — долгота осевого меридиана шестиградусной зоны;

n — номер зоны.

Для сохранения подобия в изображении контуров местности, полученных на плоскости при таком методе проектирования, в горизонтальные проложения измеренных на местности линий вводят поправки по формуле

$$\Delta l = + \frac{l \cdot y_m^2}{2 \cdot R_m^2}, \quad (2)$$

где Δl — поправка в горизонтальное проложение измеренной линии l , m (вводится со знаком плюс);

y_m — средняя величина удаления линии от осевого меридиана зоны, $км$;

R_m — радиус земного эллипсоида, среднее значение которого принято равным 6371 $км$.

Под плоскими прямоугольными координатами Гаусса

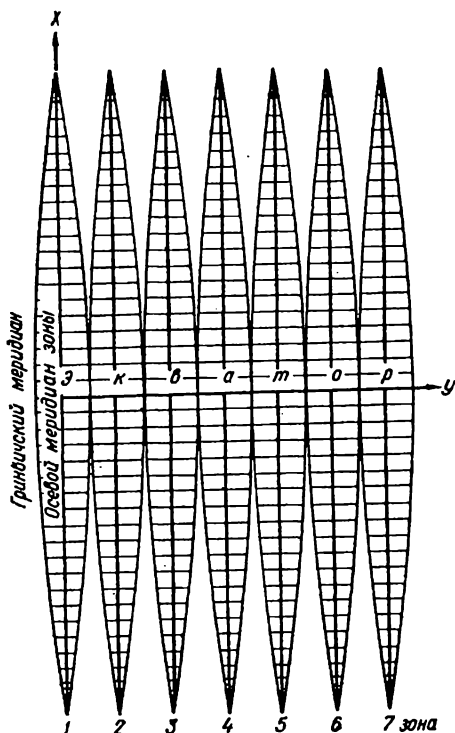


Рис. 12. Изображение координатных зон на плоскости.

ним их ординат слева приписывают номер зоны; такие значения ординат точек называют условными.

Пример 1. Даны географические координаты точки M (пригородная зона Ленинграда): $\varphi = 60^\circ$; $\lambda = 30^\circ$. Вычислить прямоугольные координаты Гаусса для этой точки.

Находим номер зоны и долготу осевого меридиана, для чего долготу (30°) делим на 6. Частное от деления даст номер зоны 5. Зона с этим номером расположена к западу от точки M . Восточная зона будет с номером 6 (точка M — на границе двух зон).

Длину дуги меридиана в один градус примем за 111 $км$; длина дуги параллели в один градус на широте 60° равна примерно 55 $км$.

По этим величинам определим действительные координаты точки M :

$$X_M = 111 \times 60 = 6660 \text{ км} = 6\,660\,000 \text{ м};$$

понимают систему прямоугольных координат, в которой за начало координат в шестиградусной или трехградусной зонах принята точка пересечения изображения дуги осевого меридиана зоны с дугой экватора; за ось абсцисс X принято изображение дуги осевого меридиана, за ось ординат Y — изображение дуги экватора.

Счет абсцисс ведут от экватора по направлениям к северу и югу, северное направление считают положительным, южное — отрицательным.

Для территории СССР, находящейся в северном полушарии, абсциссы всегда положительны, поэтому знак перед ними не ставят.

Счет ординат ведут от осевого меридиана зоны по направлению к западу и востоку от него, восточное направление считают положительным, западное — отрицательным.

Чтобы не указывать знаки ординат, осевой меридиан шестиградусной зоны считают не нулевым, а равным 500 000 $м$; при этом исходят из предельных удалений точек экватора от осевого меридиана на краях зоны; эти точки удалены на 333 330 $м$ (длина градуса дуги экватора принята равной 111,11 $км$).

Для определения положения точек на земной поверхности к значе-

$$Y_M = 55 \times 3 = 165 \text{ км} = 165\,000 \text{ м.}$$

Условное значение:

$$Y_M = 165\,000 + 500\,000 \text{ и слева номер зоны } 5 = 5\,665\,000 \text{ м.}$$

В соседней зоне с номером 6 координаты точки *М* будут иметь следующие значения:

$$X_M = 6\,660\,000 \text{ м;}$$

$$Y_M = 6\,335\,000 \text{ м; } (-165\,000 + 500\,000 \text{ и слева номер зоны } 6).$$

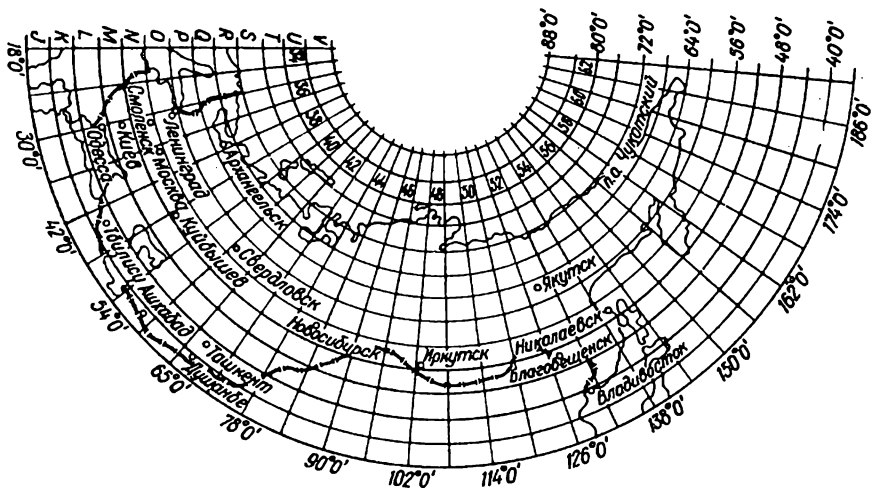


Рис. 13. Схема листов карты масштаба 1 : 1 000 000.

Пример II. Точка *М* находится в шестой зоне.

Действительные значения ее прямоугольных координат равны:

$$X_M = 6\,545\,327,21 \text{ м; } Y_M = -87\,864,78 \text{ м.}$$

Определить условное значение ординаты этой точки.

$$Y_M = -87\,864,78 + 500\,000 \text{ и слева номер зоны } 6 = 6\,412\,135,22 \text{ м.}$$

Переход от географических координат на сфере к плоским прямоугольным производят по специальным формулам.

В настоящее время прямоугольные координаты пунктов геодезических сетей даются в каталогах, поэтому нет необходимости географические координаты перевычислять в прямоугольные.

С разрешения Государственного геодезического надзора применяется условная система координат. На территории изыскательских работ или недалеко от нее за начало координат принимается пункт местной сети или Государственного геодезического обоснования.

При развитии местной (свободной) сети в принятых зонах на проекции Гаусса последнюю привязывают к Госгеосети.

2. **Пересчет системы координат.** В процессе инженерных изысканий возникает необходимость переориентирования условной системы координат, принятой для съемочных работ, в систему Гаусса или какую-либо другую. Такие случаи бывают при разбивке строительной сетки, направление осей которой выбирают параллельно основным осям проектируемых сооружений (корпусов промышленных предприятий или жилых зданий). При расположении соору-

жений руководствуются физико-географическими условиями местности (направлением водотоков, рельефом местности, направлением господствующих ветров, солнечным освещением и др.).

Возможны следующие случаи пересчета координат:

параллельное смещение координатных осей (рис. 14, а)

$$\begin{aligned} X_r &= X_y + a; \\ Y_r &= Y_y + b; \end{aligned} \quad (3)$$

угловое смещение координатных осей (рис. 14, б)

$$\begin{aligned} X_r &= X_y \cdot \cos r - Y_y \cdot \sin r; \\ Y_r &= Y_y \cdot \sin r + X_y \cdot \cos r; \end{aligned} \quad (4)$$

одновременное параллельное и угловое смещения координатных осей (рис. 14, в)

$$\begin{aligned} X_r &= X_y \cdot \cos r - \\ &\quad - Y_y \cdot \sin r + a; \\ Y_r &= X_y \cdot \sin r + \\ &\quad + Y_y \cdot \cos r + b; \end{aligned} \quad (5)$$

обратный переход от координатных осей Гаусса к условным (рис. 14, г)

$$\begin{aligned} X_y &= (X_r - a) \cdot \cos r + \\ &\quad + (Y_r - b) \cdot \sin r; \\ Y_y &= (Y_r - b) \cdot \cos r - \\ &\quad - (X_r - a) \cdot \sin r. \end{aligned} \quad (6)$$

3. Планы и масштабы. Уменьшенное, закономерно искаженное изображение на плоскости всей земной поверхности или значительной ее части, построенное с учетом кривизны Земли, называют к а р т о й.

Рис. 14. Переход от одной системы координат к другой.

Уменьшенное подробное изображение на плоскости горизонтального участка земной поверхности, для которого можно не учитывать кривизну Земли, называют п л а н о м (рис. 15).

Если на поверхности Земли взять дугу длиной 20 км, то она будет меньше длины отрезка касательной к средней точке дуги на 1,64 см, что составляет в относительной мере 1 : 1 220 000.

Современные геодезические инструменты и способы, применяемые для измерения расстояний на местности, обеспечивают точность линейных измерений с ошибкой, не превышающей одной миллионной доли измеряемого расстояния. Поэтому участок земной поверхности с радиусом в 10 км рассматривают как плоский, т. е. кривизну Земли не учитывают.

Участки земной поверхности изображают на бумаге в определенном уменьшении. Степень уменьшения называют м а ш т а б о м, который обозначают или отвлеченным дробным числом, или линейным отрезком; в первом случае говорят о ч и с л е н н о м, во втором — о л и н е й н о м масштабах.

Ч и с л е н н ы м м а ш т а б о м называют отношение длины линии на плане или карте к длине горизонтального проложения соответствующей линии на местности и выражают в виде дроби с числителем, равным единице.

Так, например, масштаб 1/10 000 или 1 : 10 000 показывает, что горизонтальное проложение каждой линии на местности уменьшено на плане в 10 000 раз. Численный масштаб — величина отвлеченная, поэтому, если известен масштаб, то измерения на плане можно производить в любых линейных мерах.

При сравнении более крупным называют тот масштаб, у которого знаменатель дроби меньше.

Для удобства измерений на плане расстояний применяют линейный масштаб, который является графическим выражением численного.

Для повышения точности графических измерений применяют нормальный поперечный масштаб.

Масштабы съемок устанавливают в зависимости от вида и стадии проектирования, природных условий, характера застройки, степени благоустройства и густоты инженерных сетей.

Человек с нормальным зрением может различить на плане точку размером не менее 0,1 мм. Поэтому расстояние на местности, соответствующее 0,1 мм на плане, называют графической точностью масштаба или просто точностью масштаба.

Зная графическую точность масштаба, легко решить вопрос: в каком масштабе составить план, чтобы на нем показать предметы местности в своих размерах.

1 : 200	0,02
1 : 500	0,05
1 : 1000	0,10
1 : 2000	0,20 и т. д.

Из этого следует, что, например, на плане масштаба 1 : 1000 изобразить местный предмет размером 0,05 м практически невозможно, так как линии контуров будут сливаться. Для изображения таких предметов необходимо съемку местности производить в масштабе 1:500 и крупнее. При невозможности нанесения местных предметов на план контурами их изображают внесмачными условными знаками.

4. Номенклатура листов карт и планов. Систему обозначения отдельных листов топографических планов и карт называют номенклатурой.

В основу номенклатуры карт (планов) различных масштабов в СССР положена Государственная карта масштаба 1:1 000 000 (миллионная карта), размеры листов которой во всех странах приняты одинаковыми — 4° по широте и 6° по долготе.

Пояса листов миллионной карты, образованные параллелями (см. рис.-13), обозначают заглавными буквами латинского алфавита в направлении от экватора к полюсам.

Колонны листов этой карты, ограниченные меридианами, обозначают арабскими цифрами в направлении с запада на восток, порядковый счет которых ведут от меридиана с долготой 180°.

Например, лист миллионной карты, на котором находится Ленинград, имеет номенклатуру О-36; лист карты, на котором обозначена Москва: N-37.

Между нумерацией шестиградусных зон в проекции Гаусса и нумерацией миллионных листов карт существует постоянная зависимость по долготу.

Номер миллионного листа карты на 30 номеров больше номера зоны, в которой он расположен. Так, для листа с номенклатурой О-36 зона будет с номером 6, а для N-37 с номером 7 и т. д.

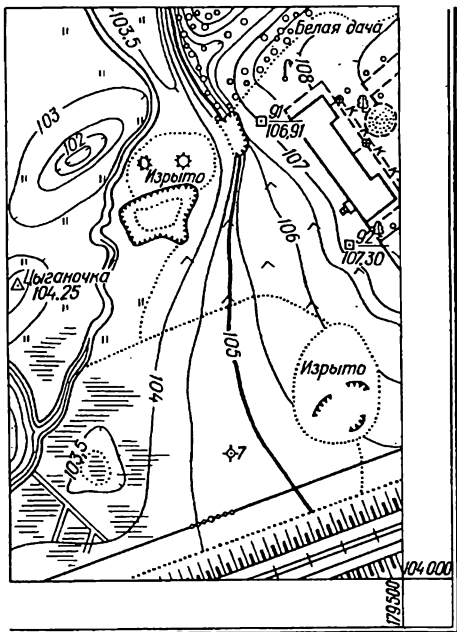


Рис. 15. Образец плана масштаба 1:1000.

В каждом листе карты масштаба 1 : 1 000 000 содержится целое число листов топографических карт более крупного масштаба.

Номенклатура карт разного масштаба и их взаимная зависимость показаны в табл. 1.

Таблица 1

Разграфка листа миллионной карты

Масштаб карты или плана	Число листов в карте $\frac{1:10^6}{1:10^5}$	Номенклатура последнего листа для N-37	Размеры рамки карты	
			по широте	по долготе
1 : 1 000 000	1	N-37	4°	6°
1 : 500 000	4	N-37-Г	2°	3°
1 : 300 000	9	N-37-IX	1°20'	2°
1 : 200 000	36	N-37-XXXVI	40'	1°
1 : 100 000	144	N-37-144	20'	30'
1 : 50 000	4	N-37-144-Г	10'	15'
1 : 25 000	16	N-37-144-Г-г	5'	7'30"
1 : 10 000	64	N-37-144-Г-г-4	2'30"	3'45"
1 : 5000	256	N-37-144-(256)	1'15"	1'52",5
1 : 2000	2304	N-37-144-(256-н)	0'25"	0'37",5

Лист карты масштаба 1 : 100 000 служит основанием для разграфки и номенклатуры карт и планов крупных масштабов. Листы карт масштабов 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000 получают делением на 4 части листа карты следующего масштаба. Лист карты масштаба 1 : 100 000 делят на 256 листов плана масштаба 1 : 5000, а последний — на 9 листов плана масштаба 1 : 2000.

Для определения номенклатуры листов карты различных масштабов пользуются таблицами или картограммами. Для определения прямоугольных координат углов рамок съемочных трапеций используют специальные таблицы.

В основу квадратной разграфки планов рекомендуется принимать планшет в масштабе 1 : 5000 и обозначать его арабской цифрой. При этом для получения планшета в масштабе 1 : 2000 планшет масштаба 1 : 5000 делят на четыре части, обозначаемые заглавными буквами А, Б, В и Г; для получения планшета в масштабе 1 : 1000 планшет масштаба 1 : 2000 делят на четыре части, обозначаемые римскими цифрами I, II, III и IV, а для получения планшета в масштабе 1 : 500 планшет масштаба 1 : 2000 делят на шестнадцать частей, обозначаемых арабскими цифрами от 1 до 16.

Например, номенклатуру планшета масштаба 1 : 1000 обозначают 2-А-IV, а масштаба 1 : 500 — 2-А-14.

Порядок нумерации планшетов масштаба 1 : 5000 устанавливают организации, выдающие разрешения на производство топографо-геодезических работ.

5. Координатные сетки на картах. Положение любой точки на поверхности Земли определяют географическими координатами: широтой и долготой.

Значения географических координат углов рамок съемочных трапеций надписывают у каждого угла рамки. На картах масштабов от 1 : 10 000 до 1 : 200 000 интервалы по рамкам дают в угловых значениях минут с заливкой через интервал.

Для определения географических координат точек по карте одноименные минутные интервалы на противоположных сторонах рамок соединяют линиями и от этих линий определяют значения географических координат точек. Доли минут при этом оценивают на глаз или определяют графически.

Для определения прямоугольных координат точки по карте на ней строят сетку. Для этого через определенные интервалы проводят прямые, параллельные осям координат (линии осевого меридиана зоны и линии экватора).

Величину интервала между координатными линиями сетки принимают в соответствии с масштабами съемок согласно данным, приведенным в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Расстояния на картах между линиями координатной сетки

Масштаб	Расстояние на карте, см	Расстояние на местности, км	Масштаб	Расстояние на карте, см	Расстояние на местности, км
1 : 200 000	5	10	1 : 10 000	10	1
1 : 100 000	2	2	1 : 5 000	10	0,5
1 : 50 000	2	1	1 : 2 000	10	0,2
1 : 25 000	4	1			

Эти линии называют километровыми, а образуемую ими сетку квадратов — километровой сеткой. На внешних сторонах рамок надписывают значения координат числами, выражающими их расстояния в километрах от соответствующих осей координат. Обозначения на горизонтальных линиях выражают их расстояние от экватора, а на вертикальных линиях — от осевого меридиана (при этом необходимо учитывать условность значений ординат). Ближайшие к углам рамки километровые линии обозначают полностью; остальные километровые линии — только двумя последними цифрами.

Основными материалами, на которых разрабатываются инженерные сооружения и трассы инженерных сетей большого протяжения в камеральных и полевых условиях, являются топографические карты, по которым можно установить главные характеристики проектируемой площадки или проектируемой трассы.

Карты, используемые для камеральных и полевых работ при изысканиях по масштабам подразделяются на следующие группы: 1) мелкие 1 : 1 000 000 — 1 : 200 000; 2) средние 1 : 100 000 — 1 : 50 000; 3) крупные 1 : 25 000 — 1 : 5 000.

На основании изучения и использования карт перечисленных масштабов, переходя от одной стадии проектирования к другой производят дополнительные топографические съемки и составляют крупномасштабные планы (изыскательские) с учетом особенностей проектирования данного вида инженерного сооружения.

Масштаб изыскательского плана определяется рядом факторов: стадией проектирования; проектными задачами, решаемыми на плане; сложностью ситуации и рельефа местности; условиями использования существующей застройки в проекте и др.

При этом учитываются точность плана, детальность и полнота информации о местности, метод и точность проектирования и перенесения проекта в натуру, наглядность и удобочитаемость проектных решений.

Как известно, проектирование производится по стадиям путем последовательного уточнения и детализации принятых в проекте решений.

В соответствии с этим от стадии к стадии повышаются требования к топографической основе, укрупняется масштаб съемки.

На всех стадиях проектирования топографический план служит основой для составления генерального плана строительства. Он используется для решения общей компоновки генплана, детального размещения его основных элементов, разработки технологических схем сооружений.

При проектировании сооружений с учетом существующей капитальной застройки, сети дорог, воздушных линий, подземных коммуникаций требования к топографической основе повышаются.

Здесь для составления технического проекта используют планы масштаба 1 : 1000 — 1 : 2000 и для рабочих чертежей — наиболее крупный масштаб съемки 1 : 500.

В практике проектно-изыскательских работ планы составляют в следующих масштабах:

а) план 1 : 10 000 с сечением рельефа через 1—2 м в равнинной и через 5 м в горной местностях для детальной укладки трасс и выбора местоположения строительных площадок, составления ситуационных планов района строительства, определения площадей и объемов водохранилищ предварительного проектирования;

б) план 1 : 5000 с высотой сечения рельефа через 1 м в равнинной местности и через 2 м в горной для составления опорных и генеральных планов городов и промышленных предприятий, разработки проектов инженерной подготовки территории и первоочередной застройки, проектирования линейных сооружений;

в) план 1 : 2000 с высотой сечения рельефа через 1—0,5 м для разработки технических проектов промышленных, гидротехнических, транспортных сооружений, проектов инженерных сетей, составления генпланов поселков, проектов детальной планировки городов, разработки планов красных линий;

г) план 1 : 1000 с высотой сечения через 0,5 м для составления рабочих чертежей на незастроенных или малозастроенных строительных площадках, разработки детальных проектов подземных коммуникаций;

д) план 1 : 500 с высотой сечения 0,5 м (на спланированной территории с малыми уклонами — через 0,25 м) для составления рабочих чертежей городских промышленных территорий с капитальной застройкой и густой сетью коммуникаций.

Так как для принятия проектных решений и детализации проектов в ряде случаев требуется не столько точность плана, сколько его наглядность и крупный масштаб чертежа, допускают производство съемок в масштабах 1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000 при точности развития обоснования соответственно для масштабов 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000.

§ 11. Геодезические измерения для составления крупномасштабных изыскательских планов

1. Основные сведения о геодезических измерениях. Измерения — процесс сравнения какой-либо величины с другой одноименной, принимаемой за единицу.

Геодезические измерения позволяют определять относительное взаимное расположение отдельных точек земной поверхности. Они бывают линейные, угловые и высотные.

Линейные измерения. В зависимости от необходимой точности расстояния определяют непосредственно, дальномерами и косвенно.

Непосредственные линейные измерения производят при помощи мерных приборов: рулеток, лент и проволок. Стальными мерными приборами расстояния измеряют с относительной ошибкой порядка $1 : 1000 \div 1 : 25\,000$, а инварными — $1 : 25\,000 \div 1 : 1\,000\,000$.

Для определения расстояний применяют оптические дальномеры (нитяные и двойных изображений) свето- и радиодальномеры. Относительные ошибки расстояний, определенных оптическими дальномерами, будут порядка 1 : 200—1 : 5000, а свето- и радиодальномерами — 1 : 10 000—1 : 400 000.

Сущность косвенных способов заключается в измерении базиса и углов геометрического построения, связывающего базис с определяемым расстоянием.

Длину последнего вычисляют по формулам тригонометрии. Относительная ошибка косвенного определения расстояния может быть от 1 : 1000 до 1 : 25 000.

Общий принцип косвенного определения расстояния и взаимного положения точек на земной поверхности координат заключается в следующем.

На местности строятся связанные между собой геометрические фигуры. Их вершины выбирают так, чтобы некоторые элементы были удобны для непосредственных измерений. Элементов фигур должно быть столько, чтобы

можно было определить все другие элементы, пользуясь существующими между ними зависимостями.

Угловые измерения необходимы для развития триангуляционных сетей, продолжения теодолитных и высотных ходов, выполнения топографических съемок и решения многих геодезических задач в строительстве.

Работа по измерению углов на станции выполняется в следующем порядке:

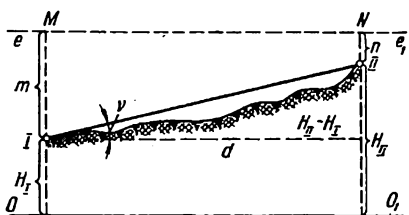


Рис. 16. Схема геометрического и тригонометрического нивелирования.

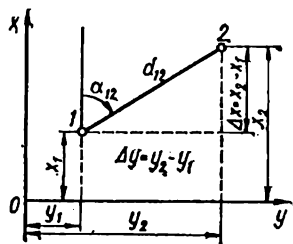


Рис. 17. Прямая и обратная геодезическая задачи на плоскости.

1) установка теодолита в рабочее положение: а) центрирование; б) приведение оси в отвесное положение (нивелирование); в) установка трубы для визирования;

2) измерение горизонтальных углов (направлений); обработка журнала наблюдений и контроль измерений на станции.

Для измерения горизонтальных углов применяются преимущественно такие способы: приемов (для измерения одного угла); круговых приемов (при измерении углов между тремя направлениями и более); способ повторений.

Способы измерений углов детально изложены в разделе IV.

Нивелирование. Геометрическое нивелирование осуществляется горизонтальным лучом.

При нивелировании горизонтальным лучом используется следующая схема. Пусть на рис. 16 ee' — горизонтальный луч, параллельный отсчетной поверхности OO_1 . Измерив расстояния от горизонтального луча до точек земли I и II, т. е. $I \cdot M = m$ и $II \cdot N = n$, найдем

$$H_{II} - H_I = m - n; \quad (8)$$

$$H_{II} = H_I + (m - n),$$

где H_I, H_{II} — абсолютные высоты пунктов I и II;

OO_1 — отсчетная поверхность (уровень моря);

I — исходный пункт с заданной высотой H

Если между двумя точками местности измерить вертикальный угол, то, зная расстояние между ними, по формуле (9) получим разность высот двух данных точек. Этот метод называется тригонометрическим (геодезическим) нивелированием.

Согласно рис. 16 разность высот точек II и I определится по формуле

$$H_{II} - H_I = d \cdot \operatorname{tg} v \quad (9)$$

или

$$H_{II} = H_I + d \cdot \operatorname{tg} v,$$

где v — угол наклона;

d — проекция на плоскость измеренного расстояния между пунктами I и II.

Съемочное геодезическое обоснование. Съемочное геодезическое обоснование подразделяется на плановое и высотное.

Развитие съемочного обоснования имеет цель:

сгущения геодезической сети до густоты, необходимой для производства топографической съемки в заданном масштабе;

создания геодезической основы для выполнения инженерно-геодезических работ различного характера и назначения — изысканий, перенесения на местность проектов сооружений, определения уклонов рек, границ землепользования и т. д.

Съемочное обоснование развивается на основе пунктов государственной геодезической сети и сетей местного значения. В отдельных случаях, при решении частных инженерно-геодезических задач, не связанных с получением топографических планов, или при съемке незначительных участков, съемочное обоснование может развиваться самостоятельно в местной системе координат без привязки к сетям высших классов.

Точки съемочного обоснования на местности получают путем проложения микротриангуляций, теодолитных ходов и др. методами. Если одновременно производится определение высот пунктов ходов, то такие ходы называются **высотными теодолитными**.

Для определения отметок пунктов высотного съемочного обоснования могут применяться методы геометрического и тригонометрического нивелирования.

При проложении теодолитных ходов и аналитических сетей производятся угловые и линейные измерения, а координаты x и y пунктов съемочного обоснования вычисляются по формулам, приведенным ниже.

а) Вычисление дирекционных углов сторон теодолитного хода.

Введем обозначение: α_0 — дирекционный угол исходной стороны I—M; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ — дирекционные углы с пунктов I, II, III, ..., n — на последующие пункты и $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_n$ — измеренные правые или левые по ходу углы.

Тогда дирекционные углы остальных сторон хода могут быть получены по одной из формул:

$$\text{для правых углов } \alpha_n = \alpha_0 + 180^\circ \cdot n - \sum_{i=1}^n \beta_i;$$

$$\text{для левых углов } \alpha_n = \alpha_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i - 180^\circ \cdot n. \quad (10)$$

б) Вычисление координат теодолитного хода. Зная координаты x_1, y_1 , точки I, дирекционный угол $\alpha_{1,2}$ на точку 2 и расстояние $d_{1,2}$ до нее, найти координаты x_2, y_2 точки 2.

Из рис. 17 имеем

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + (x_2 - x_1) = x_1 + \Delta x; \\ y_2 &= y_1 + (y_2 - y_1) = y_1 + \Delta y. \end{aligned} \quad (11)$$

Разности координат Δx и Δy , называемые **приращениями** (рис. 17), определяются так:

$$\begin{aligned} x_2 - x_1 &= \Delta x = d_{1,2} \cdot \cos \alpha_{1,2}; \\ y_2 - y_1 &= \Delta y = d_{1,2} \cdot \sin \alpha_{1,2}. \end{aligned} \quad (12)$$

Это решение прямой геодезической задачи. Вычисление координат пунктов теодолитного хода сводится к последовательному решению прямых геодезических задач, начиная от исходного пункта.

§ 12. Ошибки измерений

Практика выполнения измерений показывает, что как бы тщательно не производились измерения с применением самых точных инструментов, при многократном их повторении все численные значения измеряемых величин будут разные, отличные друг от друга, так как каждая измеренная величина содержит ошибку.

Неизбежные (случайные) ошибки измерений обычно малы и их накопление подчиняется определенным статистическим закономерностям на основании которых можно установить наиболее вероятное значение измеряемых величин.

Величины погрешностей геодезических и астрономических измерений и способы их подсчета определяются условиями, в которых производятся измерения. Поэтому они характеризуют не только точность измерений, но и определяют условия, при которых могут быть получены результаты измерений с необходимой точностью. Вот почему при рассмотрении вопросов, связанных с определением необходимой точности геодезической и топографической основы при проведении изыскательских работ, необходимо знать способы подсчета ошибок измерений и определять условия их возникновения, при которых измерения могут быть выполнены с заданной точностью и с наименьшими затратами.

Учет погрешностей производится на основании теории ошибок измерения. Уменьшение влияния этих погрешностей на конечный результат достигается в процессе увязки или уравнивания.

Различают три вида ошибок: систематические, случайные и грубые.

Систематические — это такие ошибки, которые знаком и величиной повторяются однообразно в многократных измерениях. Их источниками могут быть: неисправность используемых инструментов, неточное центрирование, личные физиологические особенности наблюдателя, влияние внешних факторов и т. д.

В практике геодезических измерений к систематическим ошибкам относят, например, изменение длины мерного прибора при колебаниях температуры, ошибки делений лимбов, ошибки определения коэффициента дальномера и т. д.

Систематические ошибки должны учитываться, а измерения организовываться так, чтобы их влияние на результаты было минимальным.

Случайные ошибки — это такие, размер и характер влияния которых на каждый отдельный результат измерений остается неизвестным. Величину и знак случайной ошибки установить нельзя. Их накопление подчинено определенным закономерностям, изучение которых дает возможность получить наиболее надежный результат из совокупности измерений и оценить его точность.

К грубым ошибкам относятся промахи и просчеты, которые устраняются путем повторных измерений.

В теории ошибок рассматриваются вопросы, связанные лишь со случайными ошибками измерений. Систематические ошибки изучаются в ней лишь в той мере, в какой это необходимо для учета их влияния на результаты измерений.

Ряды случайных ошибок обладают такими свойствами:

для конкретных условий измерений они не могут превосходить по абсолютной величине известного предела;

малые по абсолютной величине ошибки встречаются чаще больших;

положительные ошибки встречаются так же часто, как и равные им по абсолютной величине отрицательные;

среднее арифметическое из случайных ошибок одинаковой точности измерений одной и той же величины стремится к нулю с увеличением числа измерений.

При достаточно большом ряде измерений на основании третьего свойства можно ожидать, что в сумме случайных ошибок $\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n$ такого ряда положительные ошибки будут компенсироваться отрицательными. Эта сумма будет всегда оставаться конечной величиной, тем более близкой к нулю, чем больше число измерений, а в пределе, когда $n \rightarrow \infty$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \dots + \Delta_n}{n} = 0 \quad (13)$$

На свойствах случайных ошибок построена оценка точности измерений. Эти свойства служат основой для определения надежных значений из данного ряда измерений.

Наблюдения называются равноточными, если величина была измерена многократно одним и тем же наблюдателем, в одних и тех же условиях, одним и тем же инструментом.

На основании четвертого свойства случайных ошибок можно утверждать, что среднее арифметическое из равноточных многократных измерений одной и той же величины стремится к наиболее точному (надежному) значению этой величины.

При n конечном среднее арифметическое значение $\bar{x}$ отличается от точного значения x на величину δ , которая называется ошибкой арифметической середины.

Из сравнения отдельных результатов измерений данного ряда можно судить о точности произведенных измерений. Чем больше будут рассеяны в данном ряду полученные результаты, или, как принято говорить, чем больше дисперсия ряда, тем менее точны измерения.

Величина дисперсии — критерий для оценки точности — определяется различно.

Лучшим критерием будет тот, который не зависит от знаков случайных ошибок данного ряда и на котором влияние больших по абсолютной величине ошибок скажется более значительно. Этим требованиям удовлетворяет средняя квадратическая ошибка из всей совокупности ошибок данного ряда.

Значение средней квадратической ошибки m определяется по формуле

$$m = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}}$$

или

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}}, \quad (14)$$

где n — число измерений; Δ — средняя случайная ошибка одного измерения.

Чем меньше m , тем точнее ряд измерений.

Таким образом, установив для данных условий измерений среднюю квадратическую ошибку, можно отнести ее к любому отдельному измерению, выполненному в тех же условиях.

Средняя квадратическая ошибка при некотором значении n приобретает устойчивость, т. е. почти не меняется с увеличением числа наблюдений.

Даже из сравнительно небольшого числа измерений можно вычислить m с удовлетворительной степенью точности. Так, десять измерений дают возможность определить среднюю квадратическую ошибку m с точностью 20—30% ее величины.

В теории вероятностей доказывается, что действительная ошибка измерений может быть больше средней квадратической в 32 случаях из 100, больше удвоенной только в 5 случаях из 100 и больше утроенной в 3 случаях из 100. Таким образом, почти невозможен случай, когда действительная ошибка будет больше утроенной средней квадратической. Поэтому утроенную среднюю квадратическую ошибку называют предельной:

$$\Delta_{\text{пред}} = 3 \cdot m. \quad (15)$$

На практике за предельную принимают удвоенную среднюю квадратическую ошибку.

Если расположить случайные ошибки данного ряда наблюдений в возрастающем порядке их абсолютных величин, то вероятная ошибка будет в середине этого ряда.

Ее можно вычислить по формуле

$$r \approx 0,6745 \cdot m$$

или

$$r = \frac{2}{3} \cdot m. \quad (16)$$

Для оценки точности результатов измерений можно использовать и вероятнейшую ошибку. Однако для этой цели чаще всего используется средняя квадратическая.

Оценку результатов измерений можно производить и по полученным значениям абсолютных и относительных ошибок. Абсолютная выражает разность между принятым значением измеряемой величины и средним, измеренным ее значением. К абсолютным относят среднюю квадратическую, среднюю, вероятную и предельную ошибки.

Относительная ошибка является отношением значения абсолютной ошибки к среднему значению измеренной величины. Если для подсчета относительной ошибки используется средняя квадратическая, средняя, вероятная или предельная ошибки, то она именуется соответственно средней квадратической относительной, средней относительной, вероятной относительной и предельной относительной.

Относительная ошибка выражается дробью, числитель которой равен единице, а знаменатель округляется до десятков, сотен и тысяч, если его значение выражается соответственно десятками, сотнями, тысячами или десятками тысяч единиц.

При геодезических измерениях всегда возникает необходимость оценить результат измерения какой-либо величины (функции) по полученным ошибкам в результатах измерения (аргументах), из которых складывается общий результат измерений, или же, наоборот, при заданной величине ошибки функции установить допустимые ошибки при измерении величин, составляющих ее значение (аргументов).

Для решения этих задач в теории ошибок применяется формула

$$m_z^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot m_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot m_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \cdot m_n \right)^2, \quad (17)$$

которая позволяет оценить точность функции вида

$$z = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n),$$

где величины $x_1, x_2, \dots, x_n$ измерены со средними квадратическими ошибками соответственно

$$m_1, m_2, \dots, m_n.$$

Пример. Определить превышение и среднюю квадратическую ошибку превышения

$$h = S \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

при $S = 150 \text{ м}$; $\alpha = 2^\circ 30'$; $h = +0,66 \text{ м}$; $m_S = \pm 0,5 \text{ м}$ и $m_\alpha = \pm 1'$.

Решение:

$$m_h = \sqrt{m_S^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{S^2}{\cos^4 \alpha} \cdot \frac{m_\alpha^2}{\rho^2}};$$

$$m_h = \pm 4,9 \cdot 10^{-2};$$

$$m_h = \pm 0,049 \text{ м};$$

$$h = +0,66 \text{ м} \pm 0,05 \text{ м}.$$

Формула (17) применима к функциям другого, более простого вида.

1. Средняя квадратическая ошибка произведения постоянного k на измеренное значение аргумента пропорциональна его значению. Эта зависимость выражается функцией

$$z = k \cdot x, \quad (18)$$

а ошибка ее

$$m_z = k \cdot m_x. \quad (19)$$

Пример. Радиус окружности определен с ошибкой 0,20 мм. Найти среднюю квадратическую ошибку вычисленного значения длины окружности

$$S = 2\pi R;$$

$$m_R = \pm 0,29 \text{ мм};$$

$$m_S = \pm 6,28 \cdot 0,29 = \pm 1,82 \text{ мм}.$$

2. Средняя квадратическая ошибка алгебраической суммы двух или нескольких величин.

Дана функция

$$z = x \pm y. \quad (20)$$

x и y измерены со средними квадратическими ошибками m_x и m_y .

$$m_z^2 = m_x^2 + m_y^2. \quad (21)$$

Пример. Превышение получено из геометрического нивелирования как разность двух взглядов (взгляд на заднюю рейку минус взгляд на переднюю) со средней квадратической ошибкой ± 4 мм.

Какова средняя квадратическая ошибка одного взгляда? Обозначим $m_h' = \pm 4$ м, $m_3 = m_n$, тогда

$$m_h^2 = m_3^2 + m_n^2 = 2m_3^2;$$

$$m = \frac{m_h}{\sqrt{2}};$$

$$m = \frac{\pm 4}{\sqrt{2}} = \pm 2,8 \text{ мм}.$$

Здесь надо отметить, что при вычислении ошибки функции по разности значений ошибок аргументов, при близком значении m_{x_1} и m_{x_2} , оценка точности определения функции будет ненадежна.

3. Квадрат средней квадратической ошибки функции вида равен сумме

$$Z = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n \quad (22)$$

квадратов средних квадратических ошибок $m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}$ этих аргументов или

$$m_z^2 = m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2 + \dots + m_{x_n}^2. \quad (23)$$

Если измерения выполнены равноточно,
то

$$m_{x_1}^2 = m_{x_2}^2 = \dots = m_{x_n}^2,$$

а

$$m_z^2 = m \sqrt{n}. \quad (24)$$

Пример. Линия измерена по частям со следующими результатами измерений:

	S_i	
1 часть	200 м	$m_1 = \pm 4,5 \text{ см}$
2 "	200 "	$m_2 = \pm 6,2 \text{ "}$
3 "	250 "	$m_3 = \pm 6,0 \text{ "}$
4 "	250 "	$m_4 = \pm 7,0 \text{ "}$

$$m_S^2 = (4,5)^2 + (6,2)^2 + (6,0)^2 + (7,0)^2;$$

$$m_S = \sqrt{143,94};$$

$$m_S = \pm 12,0 \text{ см}; \quad \frac{m_S}{S} = \frac{1}{7500}.$$

4. Средняя квадратическая ошибка линейной функции вида

$$z = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \pm \dots \pm k_n x_n; \quad (25)$$

$$m_z^2 = k_1^2 \cdot m_{x_1}^2 + k_2^2 \cdot m_{x_2}^2 + \dots + k_n^2 \cdot m_{x_n}^2, \quad (26)$$

где $k_1, k_2, \dots, k_n$ — постоянные числа, а $x_1, x_2, \dots, x_n$ — независимые аргументы с соответствующими средними квадратическими ошибками.

Если положить $k_1 = k_2 = \dots = k_n = 1$, то эта функция принимает вид

$$m_z^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2.$$

В табл. 3 приводятся основные формулы зависимости средней квадратической ошибки функции от ошибок аргумента.

Таблица 3

Основные формулы зависимости ошибок

Функция	Соотношение между случайными ошибками	Соотношение между средними квадратическими ошибками
$z = k \cdot x$	$\Delta z = k \cdot \Delta x$	$m_z = k \cdot m_x$
$z = x \pm y$	$\Delta z = \Delta x \pm \Delta y$	$m_z = m_x^2 + m_y^2$
$z = x_1 \pm x_2 \pm \dots \pm x_n$	$\Delta z = \Delta x_1 \pm \Delta x_2 \pm \dots \pm \Delta x_n$	$m_z^2 = m_{x_1}^2 + m_{x_2}^2 + \dots + m_{x_n}^2$
$z = k_1 x_1 \pm k_2 x_2 \pm \dots \pm k_n x_n$	при $m_1 = m_2 = \dots = m_n$	$m_z = m \sqrt{n}$
		$m_z^2 = k_1^2 \cdot m_1^2 + k_2^2 \cdot m_2^2 + \dots + k_n^2 \cdot m_n^2$
$z = f(x_1 y_1 \dots \omega)$	$\Delta z = \pm \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \pm \frac{\partial f}{\partial y} \Delta y \pm \dots \pm \frac{\partial f}{\partial \omega} \Delta \omega$	$m_z^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_0^2 \cdot m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)_0^2 \cdot m_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega} \right)_0^2 \cdot m_\omega^2$

Относительная ошибка функции.

$$\frac{m_z}{z} = \frac{1}{\left(\frac{z}{m_z} \right)}.$$

Величина физического объекта может быть определена из одного измерения, которое называется *необходимым*. Но одного измерения для полу-

чения представления о том, с какой точностью или ошибкой произведено измерение и определена физическая величина недостаточно. Поэтому выполняют не одно, а несколько измерений, и по приведенным формулам определяют точность и вероятнейшее значение измеренной величины.

Если физическая величина измерена неоднократно и результаты отдельных измерений ее $l_1, l_2, \dots, l_n$ независимы, то наиболее вероятным значением измеряемой величины будет ее среднее вычисленное по формуле

$$l_{\text{ср}} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{n} = \frac{[l]}{n}, \quad (27)$$

где n — число измерений.

Арифметическая средина имеет следующие свойства:

1) при неограниченном увеличении числа измерений ее значение становится наиболее близким к истинному значению измеряемой величины;

2) сумма отклонений δ каждого измерения от арифметической средины при отсутствии округлений последней равно 0:

$$[\delta] = 0;$$

3) если отдельные измерения свободны от систематических ошибок, то и арифметическая средина также свободна от них;

4) средняя квадратическая ошибка арифметической средины

$$M^2 = \frac{1}{n} m^2 + \frac{1}{n} m^2 + \dots + \frac{1}{n} m^2 = \frac{m^2}{n}, \quad (28)$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Следовательно, арифметическая средина представляет собой наиболее вероятный результат измерений для случая равноточных наблюдений;

5) сумма квадратов уклонений $[\delta\delta]$ каждого измерения от арифметической средины является наименьшим значением по сравнению с суммой квадратов уклонений от любого другого значения измеренной величины.

Формула Бесселя служит для определения средней квадратической ошибки отдельного измерения. Она имеет вид:

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}, \quad (29)$$

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \sqrt{\frac{[\delta\delta]}{n(n-1)}}. \quad (30)$$

Формула Петерса устанавливает соотношение между средней ошибкой θ и вероятнейшим значением средней квадратической ошибки m .

Если средняя ошибка $\theta = \frac{[|\Delta|]}{n}$, то, при выражении ее через значения вероятнейших ошибок, она примет вид

$$\theta = \frac{[|\delta|]}{\sqrt{n(n-1)}}. \quad (31)$$

При нормальном распределении ошибок измерений устанавливается соотношение

$$m = 1,253\theta. \quad (32)$$

Для контроля может служить формула

$$m = 1,253 \frac{[|\delta|]}{n - \frac{1}{2}}. \quad (33)$$

Для оценки точности средней квадратической ошибки одного измерения используется формула

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2 \cdot n}}, \quad (34)$$

которая называется средней квадратической ошибкой средней квадратической ошибки одного измерения.

$$m_M = \frac{m_m}{\sqrt{n}} \quad (35)$$

Формула (35) является средней квадратической ошибкой средней квадратической ошибки арифметической середины.

Двойные измерения. В практике геодезических измерений часто используют двойные измерения одной и той же величины.

Если взять два ряда равноточных измерений

$$\begin{aligned} a_1, a_2, \dots, a_n; \\ a'_1, a'_2, \dots, a'_n, \end{aligned}$$

то можно составить разности

$$a_1 - a'_1 = d_1;$$

$$a_2 - a'_2 = d_2;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$a_n - a'_n = d_n.$$

Ряд ошибок $d_1, d_2, \dots, d_n$ содержит ошибки одинаково точных результатов измерений, поэтому среднюю квадратическую ошибку разности измерений, поэтому среднюю квадратическую ошибку разности измерений можно определять по формуле

$$m_d = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}. \quad (36)$$

Тогда для двойных измерений она примет вид

$$m_d = m_a \sqrt{2},$$

а m_a будет средней квадратической ошибкой одного измерения

$$m_a = \frac{m_d}{\sqrt{2}}$$

или

$$m_a = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}. \quad (37)$$

Эта формула справедлива для случая, когда в измерениях отсутствуют систематические ошибки.

Если исключить систематическое влияние

$$\Delta d_1 = d_1 - d_0;$$

$$\Delta d_2 = d_2 - d_0;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\Delta d_n = d_n - d_0.$$

где $d_0 = \frac{[d]}{n}$, то получим

$$m_d = \sqrt{\frac{[\Delta d^2]}{n-1}}, \quad (38)$$

а

$$m_a = \frac{m_d}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{[\Delta d^2]}{2(n-1)}}. \quad (39)$$

Пример. Найти среднюю квадратическую ошибку измерения из двойных (a' и a'') равноточных измерений шести линий (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Определение средней квадратической ошибки

$a'_1, \text{ м}$	$a''_2, \text{ м}$	$d_1 = \frac{a'_1 - a''_1}{\text{см}}$	dd	$\Delta d (d_1 - d_0)$	Δd^2
200,76	201,01	—25	625	—18	324
436,20	436,50	—30	900	—23	529
401,02	399,92	+10	100	+17	289
508,46	508,51	—0,5	25	+02	4
196,08	196,19	—11	121	—04	16
315,21	315,03	+18	324	+25	625
—	—	$[d] - 43$	2095	—	1787

$$d_0 = \frac{[d]}{n} = \frac{-43}{6} = -7;$$

$$m = \pm \sqrt{\frac{[d^2]}{2 \cdot (n-1)}} = \pm \sqrt{\frac{1787}{10}} = \pm \sqrt{179} = \pm 13,3 \text{ м.}$$

Иногда возникает необходимость установить надежность средней квадратической ошибки m_m одного измерения и средней квадратической ошибки арифметической середины M .

Для этого по формуле определяют среднюю квадратическую ошибку средней квадратической ошибки одного измерения и среднюю квадратическую ошибку средней квадратической ошибки арифметической середины.

В практике геодезических работ измерения часто производятся в неодинаковых условиях. В этих случаях средняя квадратическая ошибка может дать правильное представление о точности результатов измерений лишь в том случае, когда условия измерений физических объектов можно сопоставить и установить влияние каждого из них на общий или средний результат.

В теории ошибок для этой цели введено понятие в е с а.

За вес измерения может быть принята произвольная величина, определяющая условия измерений (одно или несколько).

Обычно вес измерений принято определять величиной, обратно пропорциональной квадрату средней квадратической ошибки

$$p = \frac{1}{m^2}. \quad (40)$$

В практике полевых работ за вес часто принимают величину

$$p = \frac{1}{k}, \quad (41)$$

где k — любое относительное число, характеризующее условия измерений (число приемов, направлений, штативов, линий, километров и т. д.).

Примеры. 1. Угол получен как разность двух равноточно измеренных направлений. Определить вес угла и направления.

Решение. Предположим, что средняя квадратическая ошибка направления равна m . Тогда средняя квадратическая ошибка угла равна $m\sqrt{2}$. Обозначив вес направления через p_n , а вес угла через p_y , получим

$$\frac{p_n}{p_y} = \frac{(m\sqrt{2})^2}{m^2} = 2.$$

Если принять $p_y = 1$, то вес направления будет равен $p_n = 2$.

2. Углы измерены со средними квадратическими ошибками 2, 6 и 10". Найдите веса p_2 , p_6 и p_{10} .

Приняв за единицу веса ошибку $M=2$, получим веса остальных углов:

$$p_6 = \left(\frac{2}{6}\right)^2 = \frac{1}{9};$$

$$p_{10} = \left(\frac{2}{10}\right)^2 = \frac{1}{25}.$$

Средняя квадратическая ошибка единицы веса (средняя квадратическая ошибка m результата измерения, вес p которого равен 1) вычисляется по формуле

$$\mu = m\sqrt{p}.$$

Если принять $p=1$, то $\mu=m$, а это значит, что μ — средняя квадратическая ошибка результата измерения с весом, равным 1.

Если в формуле $p = \frac{\mu^2}{m^2}$ принять $\mu^2 = c$, где c — произвольная постоянная, то формула примет общий вид

$$p = \frac{c}{m^2}.$$

По этой формуле и вычисляют веса.

3. Наблюдение, выполненное со средней квадратической ошибкой μ , имеет вес p .

Какова средняя квадратическая ошибка μ наблюдения, имеющего вес, равный единице?

Решение:

$$\frac{\mu^2}{m^2} = \frac{p}{1};$$

$$\mu = \pm m\sqrt{p}.$$

Значит, средняя квадратическая ошибка единицы веса в $\sqrt{p}$ раз больше средней квадратической ошибки наблюдения, вес которого равен p .

Общая арифметическая средина вычисляется по формуле

$$l_0 = \frac{l_1 p_1 + l_2 p_2 + \dots + l_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{[lp]}{[p]}, \quad (42)$$

где $l_1, l_2, \dots, l_n$ — ряд однородных неравноточных измерений, а $p_1, p_2, \dots, p_n$ — соответственно их веса.

Если принять $p_1=p_2=\dots=p_n$, то получим формулу простой арифметической середины

$$x_0 = \frac{[l]}{n}. \quad (43)$$

Составив разности

$$v_1 = l_1 - x_0;$$

$$v_2 = l_2 - x_0;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$v_n = l_n - x_0,$$

можно легко установить, что алгебраическая сумма произведений

$$[vp] = 0.$$

При неравноточных измерениях наиболее надежным результатом является значение общей арифметической середины.

Средняя квадратическая ошибка единицы веса μ может быть вычислена по одной из следующих формул:

$$\mu = \sqrt{\frac{[m^2p]}{n}}, \quad (44)$$

где m — средние квадратические ошибки каждого измерения, а p — их вес;

$$\mu = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta p]}{n}}. \quad (45)$$

Если неизвестны истинные значения измеряемых величин, то

$$\mu = \sqrt{\frac{[\delta^2 p]}{n-1}}, \quad (46)$$

где δ — вероятнейшие ошибки измеренных величин, а средняя квадратическая ошибка общей арифметической середины, определяемая по вероятнейшим ошибкам, вычисляется по формуле

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \sqrt{\frac{[v^2 p]}{(n-1)[p]}}. \quad (47)$$

Пример. Проложено три высотно-теодолитных хода (табл. 5). Найти вероятнейшее значение высоты узловой точки.

$$x = 200,01 + \frac{13,3}{3,43} = 200,049 \approx 200,05;$$

$$\mu = \sqrt{\frac{917,5}{2}}; \quad \mu = \pm 21,4 \text{ см};$$

$$M = \frac{\pm 21,4}{\sqrt{3,43}}; \quad M = \pm 11,6 \text{ см};$$

$$x = 200,05 \pm 11,6 \text{ см}.$$

Из определения веса следует, что:

- 1) вес результата измерений тем больше, чем больше точность измерения;
- 2) вес может быть числом относительным, условным, которое должно характеризовать и определять условия измерения величин;
- 3) вес арифметической середины равен сумме весов результатов измерений, из которых определено ее значение;

Таблица 5

Определение значения узловой точки

Номер хода	Длина хода, км	Полученные отметки узловой точки	p_1 веса	$l_1 - x_0 = v$, см	p_2	δ_1	δp	$\delta^2 p$
1	2,7	200,17	1,70	+16	+27,2	+12	+20,4	707,5
2	4,1	199,82	0,73	-19	+13,9	-23	-16,8	206,0
3	3,5	200,01	1,00	0	0	-4	-4,0	4,0
Принимаем $x_0 = 200,01$			3,43	—	+13,3	—	-0,4	917,5

4) непрерывная функция вида

$$y = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n \quad (48)$$

имеет вес, равный

$$\frac{1}{p_y} = \frac{c_1^2}{p_1} + \frac{c_2^2}{p_2} + \dots + \frac{c_n^2}{p_n}; \quad (49)$$

5) вес непрерывной функции (дифференцируемой) определяется формулой

$$\frac{1}{p_y} = \left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \right)^2 \cdot \frac{1}{p_1} + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \right)^2 \cdot \frac{1}{p_2} + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \right)^2 \cdot \frac{1}{p_n}. \quad (50)$$

Двойные неравноточные измерения. Если проведены два ряда измерений однородных величин и ряды измерений неравноточны

$$l_1, l_2, \dots, l_n;$$

$$l'_1, l'_2, \dots, l'_n,$$

а вес измерений соответственно равен

$$p_1, p_2, \dots, p_n,$$

то средняя квадратическая ошибка единицы веса вычисляется по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[d^2 p]}{2n}}, \quad (51)$$

где $l_1 - l'_1 = d_1$ и т. д., а n — число измерений.

После исключения систематических ошибок, вычисляемых по формуле

$$\theta = \frac{[dp]}{[p]}, \quad (52)$$

значение

$$M = \sqrt{\frac{[\Delta d^2 p]}{2(n-1)}}, \quad (53)$$

где $\Delta d_1 = d_1 - \theta$.**Пример.** Даны разности превышений прямых и обратных ходов нивелирования и число штативов (станций) в ходах (табл. 6).

Таблица 6

Определение средней квадратической ошибки μ

Номер хода	Разности превышений, мм	Число штативов хода, K	Вес p	Δh^2	$p\Delta h^2$
1	+18	21	0,33	324	106,9
2	+16	30	0,23	256	58,9
3	--12	42	0,17	144	24,5
4	-20	26	0,27	400	104,0
—	+2	—	—	—	294,3

Определить среднюю квадратическую ошибку μ 1 км одинарного и двойного ходов (приблизительно 7 шт.). Предположим, что $c=7$.

$$\mu_7 = \sqrt{\frac{298}{2 \times 4}}; \mu_7 = \pm 6,1 \text{ мм.}$$

$$\text{и для двойного хода } \mu = \frac{\pm 6,1}{2} \approx \pm 3,1 \text{ мм.}$$

В табл. 7 приводится сводка основных формул, где величина l измерена n раз.

§ 13. Создание опорных геодезических сетей

Геодезическая сеть является главной геодезической основой топографических съемок всех масштабов и должна удовлетворять требованиям народного хозяйства и обороны страны при решении соответствующих научных и инженерно-геодезических задач.

Существует два способа определения координат точек опорной сети — астрономический и геодезический.

Астрономический способ дает возможность определять местоположение точек земной поверхности из наблюдений небесных светил. Способ удобен тем, что координаты точек определяются независимо друг от друга, но точность их определения составляет около 16 м. Астрономические пункты используют для обоснования топографических съемок масштабы 1 : 100 000 и мельче при съемках мало обжитых и труднодоступных заболоченных и горных районов.

Геодезический способ дает возможность определять координаты точек земной поверхности с помощью угловых и линейных измерений на местности. Они выполняются геодезическими инструментами и приборами методами триангуляции, трилатерации, полигонометрии и их сочетаниями. В зависимости от размеров территории геодезические сети развивают согласно данным, приведенным в табл. 8.

Геодезические сети СССР подразделяются на государственную, местного значения и съемочные.

Государственная геодезическая сеть СССР в свою очередь подразделяется на сети триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1, 2, 3 и 4-го классов; нивелирные сети 1, 2, 3 и 4-го классов.

Геодезические сети местного значения являются основой для выполнения топографических съемок масштабов 1 : 5000—1 : 500 и инженерных работ, проводимых в городах, рабочих поселках, на площадках промышленного

Основные формулы определения ошибок при многократных и двойных измерениях

Равноточные	Неравноточные
$l_1, l_2, \dots, l_n$ Вероятнейшее значение измеренной величины есть среднее арифметическое (простая арифметическая середина) $l = \frac{[l]}{n}$ Оценка точности измерений посредством средней квадратической ошибки наблюдения $m = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}},$ где $\Delta_i = x - l_i,$ а по вероятнейшим ошибкам измеренной величины $m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}$ Средняя квадратическая ошибка арифметической середины $M = \frac{m}{\sqrt{n}},$ через вероятнейшие ошибки $M = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}$	$l_1, l_2, \dots, l_n$ с весами $p_1, p_2, \dots, p_n,$ Вероятнейшее значение измеренной величины (общая арифметическая середина) $l_0 = \frac{[lp]}{[p]}$ Оценка точности измерений посредством средней квадратической ошибки единицы веса $\mu = \sqrt{\frac{[p\Delta\Delta]}{n}},$ где $\Delta_i = x - l_i,$ а по вероятнейшим ошибкам измеренных величин $\mu = \sqrt{\frac{[p\delta^2]}{n-1}}$ Средняя квадратическая ошибка общей арифметической середины $M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \sqrt{\frac{[p\delta^2]}{(n-1)[p]}}$

Двойные измерения

Средняя квадратическая ошибка одного измерения

$$m = \frac{m_d}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}},$$

где

$$m_d = \sqrt{\frac{[dd]}{n}};$$

после исключения систематической ошибки

$$m = \frac{m_d}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{[\Delta d^2]}{2(n-1)}},$$

Средняя квадратическая ошибка единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{[ddp]}{2n}},$$

а по вероятнейшим значениям (без влияния систематических ошибок)

$$\mu = \sqrt{\frac{[\Delta d^2 p]}{2(n-1)}}$$

Равноточные	Неравноточные
где $m_d = \sqrt{\frac{[\Delta\delta^2]}{n-1}},$ а $\Delta d_1 = d_1 - d_0$ (систематическое влияние)	

Веса функций

Средняя квадратическая ошибка произведения аргумента на постоянный множитель

$$z = kx$$

$$m_z = k \cdot m_x$$

$$\frac{1}{p_z} = \frac{k^2}{p_x}.$$

Средняя квадратическая ошибка алгебраической суммы двух (нескольких) величин $z = x \pm y$.

$$m_z = \sqrt{m_x^2 \pm m_y^2}$$

$$\frac{1}{p_z} = \frac{1}{p_x} + \frac{1}{p_y}$$

$$z = x \pm y \pm \dots \pm \omega$$

$$m_z = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + \dots + m_\omega^2}$$

$$\frac{1}{p_z} = \frac{1}{p_x} + \frac{1}{p_y} + \dots + \frac{1}{p_\omega}.$$

Линейная функция

$$z = k_1x \pm k_2y \pm \dots \pm k_n \cdot \omega$$

$$m_z = \sqrt{k_1^2 \cdot m_x^2 + k_2^2 \cdot m_y^2 + \dots + k_n^2 \cdot m_\omega^2}$$

$$\frac{1}{p_z} = \frac{k_1^2}{p_x} + \frac{k_2^2}{p_y} + \dots + \frac{k_n^2}{p_\omega}.$$

Функция общего вида

$$z = f(x, y, \dots, \omega)$$

$$m_z = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_0^2 \cdot m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)_0^2 \cdot m_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega} \right)_0^2 \cdot m_\omega^2$$

$$\frac{1}{p_z} = \left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)_0^2 \cdot \frac{1}{p_x} + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)_0^2 \cdot \frac{1}{p_y} + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial \omega} \right)_0^2 \cdot \frac{1}{p_\omega}.$$

Таблица 8

Классы и разряды геодезических сетей

Территория предполагаемой съемки, км ²	Государственные сети: триангуляция, полигонометрия (класс)	Сети местного значения: полигонометрия, аналитические сети (разряд)	Съемочные сети	Высотное обоснование (нивелирование, класс)
200 и более	2, 3, 4	I, II	—	II, III, IV
50—200	3, 4	I, II	—	II, III, IV
25—50	4	I, II	—	III, IV
5—25	—	I, II	—	IV
2,5—5	—	II	—	IV
до 2,5	—	—	Теодолитные ходы	IV

и гидроэнергетического строительства, при строительстве подземных коммуникаций, в маркшейдерском деле и т. п.

Геодезические сети местного значения создаются развитием аналитических сетей I и 2-го разрядов и полигонометрических I и 2-го разрядов. Высотной основой при этом являются ходы нивелирования IV класса и технического нивелирования.

Плано-высотные съемочные сети служат непосредственной основой для производства топографических съемок всех масштабов.

Развитие триангуляционных сетей. Технические характеристики государственной геодезической сети СССР и геодезической сети местного значения приведены в табл. 9.

Таблица 9

Характеристика геодезической сети

Класс триангуляции	Допустимая относительная ошибка выходных сторон	Средние длины сторон, км	Средние квадратические ошибки измерения углов, сек	Максимальная угловая невязка в треугольниках, сек	Минимальная величина угла в треугольниках, град	Примечание
--------------------	---	--------------------------	--	---	---	------------

Государственные сети триангуляции

1	1:400 000	20—25	0,7	2,5	40	
2	1:300 000	7—20	1,0	3,5	30	
3	1:200 000	5—8	1,5	5	25	
4	1:150 000	2—5	2,0	7	30	

Геодезические сети местного значения

Аналитические сети 1-го разряда	1:50 000	2—5	5	20	30—20	Минимальные величины углов допускаются до 30°
То же, 2-го разряда	1:25 000	0,5—3	10	40	30—20	То же, в сплошной сети до 20°

Основные технические характеристики государственной полигонометрии и полигонометрии местного значения приведены в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Характеристика полигонометрических ходов

Класс полигонометрии	Предельная длина хода	Средняя длина главных ходов	Средняя квадратическая ошибка	
	<i>км</i>		углов, изме- ренных на пунктах поли- гонометрии, <i>сек</i>	длин измеренных сторон

Государственная полигонометрия

1	250	20—25	0,4	1 : 300 000
2	200	15	1,0	1 : 250 000
3	50	3	1,5	1 : 200 000
4	35	2	2,0	1 : 150 000

Полигонометрия местного значения

Полигонометрические се- ти 1-го разряда	2,5—4	0,4	5	1 : 10 000
То же, 2-го разряда	1,5—2,5	0,2	10	1 : 5000

Развитие опорной геодезической сети и съёмочного обоснования. Создавая опорную геодезическую сеть и съёмочное обоснование, следует руководствоваться соображениями, чтобы сети триангуляции и нивелирования всех классов, а также полигонометрии и аналитические 1-го разряда повышенной точности, 1 и 2-го разрядов строились с учетом возможности их сгущения для съемки в масштабе 1 : 500 и разбивочных работ, когда это в дальнейшем понадобится.

Сгущение до необходимой плотности пунктов существующей государственной геодезической сети осуществляется триангуляцией (или полигонометрией) 4-го класса путем вставки жестких систем или отдельных пунктов.

При отсутствии в пределах снимаемой территории или в непосредственной близости от нее пунктов государственной геодезической сети создается самостоятельная опорная геодезическая сеть триангуляции (полигонометрии) 4-го класса, которая в дальнейшем включается в государственную геодезическую сеть. Прокладывая самостоятельные сети 4-го класса, стараются строить их в виде типовых фигур (центральная система, геодезический четырехугольник, цепь треугольников между двумя базисами и т. д.), что упрощает последующее их уравнивание. Точно так же при вставке одиночных пунктов в существующую сеть следует создавать типовые фигуры (вставка пункта в треугольник, вставка пункта между сторонами угла и т. д.).

Триангуляционная сеть на местности создается в соответствии с проектом, который включает: схему ранее исполненной и проектируемой сети; характеристику ранее выполненных работ и исходных данных; техническое обоснование количества запроектированных пунктов; расчеты ожидаемых ошибок; сметную стоимость работ по проекту.

Измерение направлений на пунктах триангуляции 4-го класса в зависимости от применяемых инструментов производится в соответствии с требованиями, приведенными в табл. 11.

Пункты плановой геодезической основы закрепляются центрами, приведенными на рис. 20, 21.

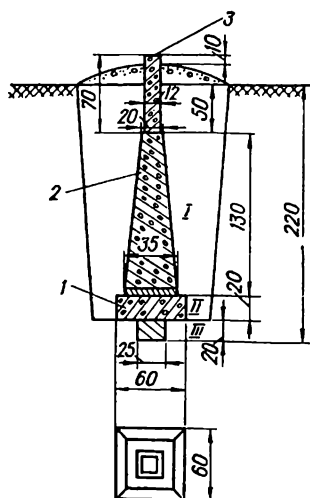


Рис. 20. Центр геодезического пункта для районов неглубокого промерзания грунта:

1 — бетонная плита; 2 — бетонный знак с маркой; 3 — опознавательный столб.

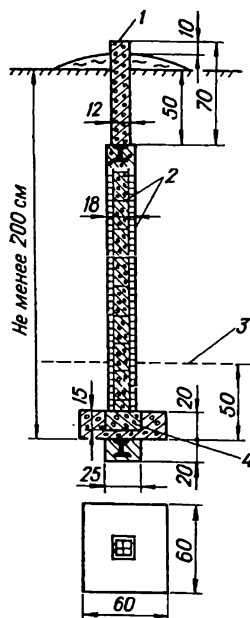


Рис. 21. Центр геодезического пункта для районов глубокого промерзания грунта:

1 — опознавательный столб; 2 — арматурная проволока; 3 — наибольшая глубина промерзания грунта; 4 — соединение на цементном растворе.

Развитие нивелирных сетей. Для обеспечения инженерно-геодезических работ опорными высотными сетями производится нивелирование II, III и IV классов. Данные, характеризующие нивелирование этих классов, приведены в табл. 12.

§ 14. Виды съемок, выполняемых на территории строительства

Процесс планово-высотных геодезических измерений, выполняемых на местности для составления планов и карт, называется *съемкой*.

Съемка, в результате которой получают только ситуационный план, называется горизонтальной или контурной, а дающая план с ситуацией и рельефом — топографической.

Основными видами съемок являются: контурно-комбинированная, тахеометрическая, мензульная, фототеодолитная и съемка поверхности по квадратам.

На строительных площадках, как правило, применяются мензульные и тахеометрические съемки. Они включают такие основные этапы работ:

подготовительный — сбор исходных геодезических данных и картографического материала для района съемки; рекогносцировка местности, в процессе ко-

Таблица 12

Характеристика классов точности нивелирования

Класс	Наибольшая длина хода, мм	Нивелиры		Расстояние от нивелира до рейки, м		Способ установки реек	Рейки		Ошибка на 1 км		
		цена деления уровня, сек	крат- ность увеличе- ния тру- бы	нор- мальное	предель- ное		длина, мм	деления	Случайная		Систе- мати- ческая
									сред- няя	пре- дель- ная	
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	600—1200	3—5	44	50	—	На башмаках по уровню	3	Двухсторонние инварные (0,5 см) штриховые	±1	±2	±0,2
II	500—600	4—8	35—40	65	75	То же	3	Двухсторонние штриховые (0,5 см) или штриховые ин- варные	±2	±4	±0,4
III	200	10—15	30	75	100	На башмаках или костылях по уров- ню	3	Двухсторонние шашечные (1 см)	±4	±8	±0,8
IV	100	20—25	25—30	100	150	На башмаках, ко- стылях или кольях	3	То же	±10	±20	±2
Техниче- ский	15—25	25	25—30	100	200	То же	4	Двухсторонние (1 см), односто- ронние шашечные	±20	±40	±4

Примечание. Закрепление пунктов нивелирования осуществляется постоянными марками, грунтовыми и стенными реперами из долговечных материалов, а временные реперы — деревянными столбами, костылями.

торой выявляются характер ситуации и рельефа, сохранность опорных пунктов геодезических сетей;

измерительный — в процессе которого с помощью геодезических инструментов и приборов выполняются все полевые линейно-угловые измерения;

камеральный — при котором производятся все вычисления и графические построения.

Съемка ситуации местности

Съемка ситуации (контуров и предметов) местности заключается в привязке посредством тех или иных способов ситуации к сторонам и вершинам опорного теодолитного хода. Применяются такие способы съемки ситуации: перпендикуляров (прямоугольных координат), полярных координат (полярный), биполярных координат (засечек), обхода, промеров с вехи на веху (способ створов).

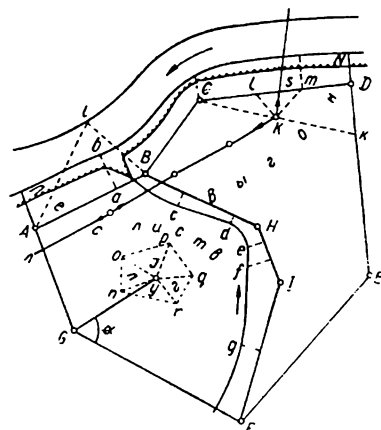


Рис. 22. Способы съемки ситуации.

Способ перпендикуляров (прямоугольных координат). Перпендикуляры опускают из снимаемых точек контура или предмета местности на стороны теодолитного хода. Положение снимаемой точки, например b (рис. 22), расположенной на бровке приречной поймы, на плане определится длиной перпендикуляра ab и длиной Aa — части горизонтальной проекции стороны AB теодолитного хода.

Съемку способом перпендикуляров ведут следующим образом. По направлению стороны теодолитного хода протягивают и закрепляют ленту и на нее проектируют по перпендикулярам все снимаемые точки местности, расположенные около ленты. Длину перпендикуляра измеряют рулеткой.

При съемке городских проездов и фасадов зданий, в зависимости от масштабов съемки, длины перпендикуляров ограничены размерами, представленными в табл. 13.

Таблица 13

Допустимые длины перпендикуляров

№ п.п	Масштаб съемки	Длина перпендикуляра, м		
		min	max	при построении угла эккером max
1	1 : 500	0,25	4,0	20
2	1 : 1000	0,50	6,0	40
3	1 : 2000	1,00	8,0	60

Способ полярных координат (полярный). Определим положение точки K и примем ее за полюс, линию CD — за полярную ось. Тогда полярными координатами точки K будут полярный угол KCD и радиус-вектор CK (см. рис. 22).

Полярный угол измеряется теодолитом, радиус-вектор — мерной лентой, рулеткой или дальномером.

Точка K строится на плане с помощью циркуля-измерителя и транспортира.

Способ биполярных координат (засечек). Положение недоступной точки i выгодно определять угловой засечкой с базиса AB , измерив теодолитом в точках A и B углы BAi и ABi , прилежающие к базису.

Угол при определяемой точке не должен быть менее 40° и более 140° . Точка i получится как вершина треугольника, построенного по стороне и прилежащим к ней углам этого треугольника.

Способ обхода. На участке имеется контур, который затруднительно снять с помощью изложенных выше способов. Положение этого контура можно определить, проложив по нему съёмочный ход и привязав две точки его к опорной сети.

Способ створов. Проведем через точки C и K линию до пересечения с линией DE в точке k .

Тогда определяемая k будет находиться на местности в створе Ck — в вертикальной плоскости, проходящей через точки C и K . Для построения точки k на плане надо измерить на местности два отрезка Dk или Ek и Ck или Kk .

Способ применяется в открытой ровной местности при наличии взаимной видимости между точками C и k и D и E .

В процессе съёмки ситуации на местности от руки составляется схематический чертёж, называемый *а б р и с о м*.

Съёмка рельефа участка, расположенного в горной или холмистой местности, выполняется методом тахеометрической или мензульной съёмки. На равнинной местности для съёмки рельефа разбивается сетка квадратов; отметки их вершин, а также плюсовых точек определяются из геометрического нивелирования, после чего на основании отметок проводятся горизонтали на плане.

Теодолитной съёмкой называется метод горизонтальной съёмки местности, при которой углы измеряются теодолитом, а линии — мерной стальной рулеткой или оптическими дальномерами соответствующей точности.

Точность измерений линий в теодолитных ходах должна быть не ниже $1:1500$ — $1:2000$.

Горизонтальная съёмка застроенных и незастроенных территорий должна производиться в строгом соответствии с государственными инструкциями [25].

При выполнении теодолитной съёмки на территории площадки ведут журнал, содержащий записи результатов угловых и линейных измерений при съёмке опорных точек и ситуации.

Особенности съёмки застроенной территории. Горизонтальная съёмка застроенной территории производится в масштабах $1:500$, $1:1000$, $1:2000$.

При двухсторонней застройке проезда съёмочные ходы прокладывают по обоим тротуарам вблизи линий фасадов, не ближе 2 м от них. Закрепленные точки привязывают к трем постоянным предметам местности. Длины линий ходов измеряют мерной лентой, а углы — полным приемом. Визировать рекомендуется на шпильку от ленты.

Съёмка ситуации проезда ведется, как правило, способом перпендикуляров. Иногда применяют способы линейной засечки и полярный. Эккером допускается построение перпендикуляров длиной 60 , 40 и 20 м, соответственно для масштабов $1:2000$, $1:1000$ и $1:500$.

Перпендикуляры не более 8 , 6 и 4 м соответственно этим масштабам могут быть построены без помощи эккера следующим образом: нулевой штрих рулетки совмещают со снимаемой точкой; тогда основание перпендикуляра, опускаемого из этой точки, определится при минимальном отсчете по натянутой рулетке в месте ее пересечения с мерной лентой.

Линии засечки не должны быть больше длины мерного прибора. Радиусы-векторы при съёмке твердых контуров в масштабах $1:2000$, $1:1000$, $1:500$ не должны превышать: при измерении мерной лентой — соответственно 250 , 180 и 120 м; нитяным дальномером 100 , 70 , 40 м; оптическим дальномером — 180 , 120 и 80 м.

Для контроля производится промер фасадных линий проезда (рис. 23).

Тахеометрическая съёмка. При тахеометрической съёмке полярным способом снимается ситуация и рельеф.

Для определения положения точки местности относительно пункта геодезического обоснования на нее с пункта наблюдения берут три отсчета — по дальномеру, вертикальному и горизонтальному кругам теодолита-тахеометра, поз-

воляющим перейти к пространственным полярным координатам точки, а именно: дирекционному углу линии, ее горизонтальному проложению и превышению. Тахеометрическая съемка ведется в масштабе 1 : 5000 и крупнее.

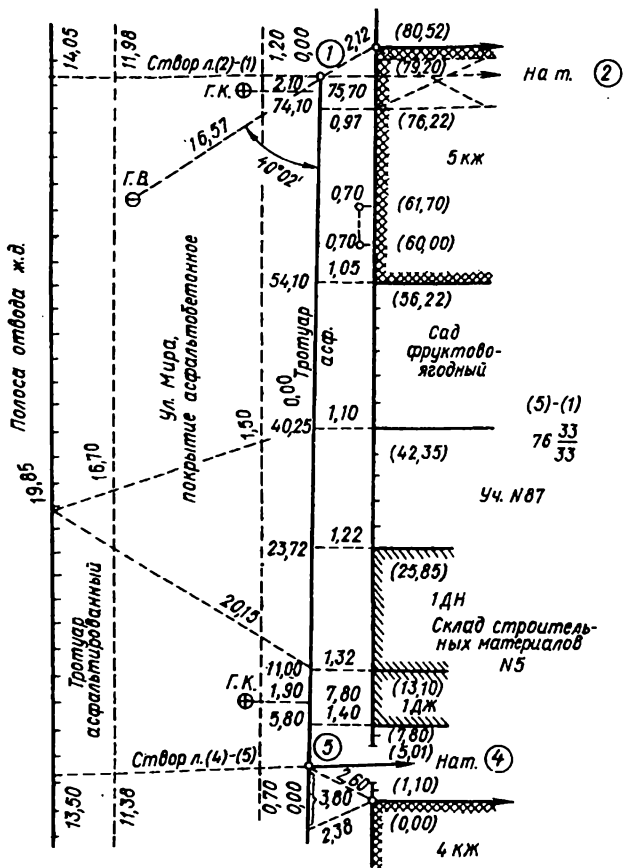


Рис. 23. Абрис крупномасштабной съемки проезда.

Съемочные ходы прокладывают замкнутые или маршрутные. Съемка ведется одновременно с проложением ходов или после.

Опорные точки, с которых производится съемка, называются **с т а н ц и я м и**, а точки ситуации и рельефа местности, снимаемые со станции, — **реечными точками** или **пикетами**.

В процессе выполнения съемки ведут к р о к и' (схематический набросок топографического плана местности с указанием набранных пикетов) и тахеометрический журнал.

Дальномерные определения значительных расстояний производятся с помощью тахеометрических реек, имеющих двух- или пятисантиметровые деления. Если расстояния до снимаемых точек менее 150 м, пользуются обычными нивелирными рейками.

Для определения отметки точки местности вертикальным кругом тахеометра измеряют угол наклона γ (рис. 24) и по формуле тригонометрического нивелирования вычисляют превышение

$$h = d \cdot \operatorname{tg} \nu + i - v + f, \quad (54)$$

где $d = D \cdot \cos^2 \nu$ — горизонтальное положение;

$D = C \cdot l + c$ — расстояние, измеренное дальномером;

C — коэффициент дальномера;

c — постоянное слагаемое дальномера;

l — дальномерный отсчет по рейке;

i — высота инструмента;

ν — высота визирования;

f — поправка за кривизну Земли и рефракцию (можно не принимать в расчет, так как D не превышает 300 м).

Для выполнения тахеометрической съемки используются тахеометры-автоматы ТА, ТП и ТВ (СССР), BRT-06, «Редта» (ГДР) и др., позволяющие получать автоматически, как превышения между точками, так и горизонтальные проложения измеряемых дальномером расстояний.

Для съемки незастроенной территории рекомендуется на 1 км² иметь следующее количество опорных геодезических пунктов: М 1:1000 — 16; М 1:2000 — 12; М 1:5000 — 4.

Порядок работы на станции при производстве тахеометрической съемки (одновременно с проложением тахеометрического хода).

Сначала определяют направление, горизонтальное проложение и превышение с точки стояния тахеометра на предыдущую и последующие станции; для этого измеряют полным приемом правый по ходу горизонтальный угол, при обоих положениях вертикального круга берут отсчеты по вертикальному кругу и отсчитывают расстояние по рейке.

Во втором полуприеме ориентируют лимб по дирекционному направлению или по направлению на переднюю, реже на заднюю точку.

Пусть нам известен дирекционный угол α со станции I на станцию II, на которой установлен инструмент. Чтобы ориентировать лимб на станции II по дирекционному направлению при положении круга КП или КЛ, первый верньер алидады горизонтального круга устанавливают на отсчет $\alpha \pm 180^\circ$.

Открыв лимб, ориентируют его на вежу I и закрепляют. Если теперь, освободив алидаду, навести трубу на любую точку, то отсчет по первому верньеру дает значение дирекционного угла направления со станции II на эту точку.

Для ориентирования лимба по направлению на переднюю точку III надо нуль первого верньера установить на отсчет $0^\circ 0' 00''$ и движением лимба направить трубу на вежу III. Тогда лимб будет ориентирован по линии II—III. Отсчет по горизонтальному кругу при наведении на точку даст дирекционный угол направления.

В процессе работы ориентирование лимба систематически проверяется.

На каждый пикет берут отсчеты по вертикальному кругу, дальномеру и горизонтальному кругу. Отсчеты по кругам производятся по одному верньеру с точностью до минуты, а среднюю нить сетки наводят обычно на высоту инструмента.

На равнинной местности превышения целесообразно определять тахеометром, как нивелиром, установить на вертикальном круге нулевой отчет.

Величины предельных расстояний между станцией и пикетами, а также между соседними пикетами приведены в табл. 14.

На рис. 25 изображены кроки тахеометрической съемки, выполненной с хода I—II—III—IV.

Стрелка, поставленная на кроки между точками, указывает направление

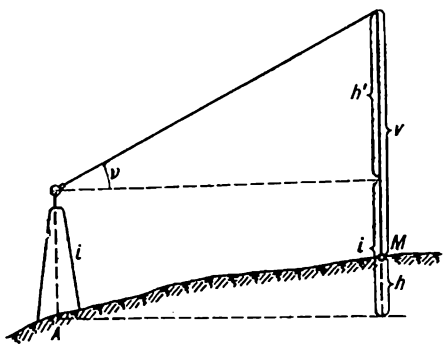


Рис. 24. Определение высотного положения точки при тахеометрической съемке.

Таблица 14

Предельные расстояния между станцией и пикетными точками

Масштаб съёмки	Сечение рельефа, м	Максимальное расстояние, м			
		Между пикетами	От инструмента до рейки при съёмке		
			рельефа	твёрдых контуров ситуации	нетвёрдых контуров ситуации (лес, болото и т.д.)
1 : 500	0,5	15	100	60	80
1 : 1000	0,5	20	150	60	100
1 : 2000	0,5	40	200	100	150
1 : 2000	1	60	250	100	150
1 : 5000	1	80	300	150	200
1 : 5000	2	100	350	150	200

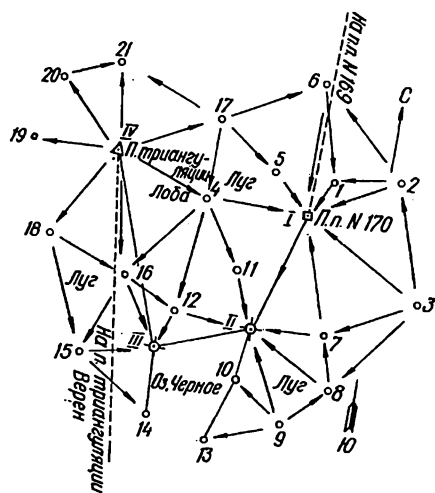


Рис. 25. Крюк тахеометрической съёмки.

однородного ската местности (без перегибов). Формы рельефа иногда схематически изображают горизонталями.

Крюки часто ведут на отдельной для каждой станции странице книжки, имеющей листы из прозрачной бумаги. Под лист подкладывают транспарант (рис. 26).

Пользуясь транспарантом строят пикеты по дирекционному углу α и горизонтальному расстоянию d .

В тахеометрический журнал заносят результаты полевых измерений, в нем же ведут их обработку.

В процессе камеральной обработки вычисляют координаты и отметки станций, отметки пикетов. Дирекционные углы округляют до $1'$, приращения координат — до $0,01$ м.

Относительная невязка теодолитного хода допускается не ниже $1 : 1500$. При измерении линий нитяным дальномером последняя не должна превышать $\frac{1}{400\sqrt{n}}$, где n — число

линий хода.

Расхождение абсолютных величин прямого и обратного превышений по стороне тахеометрического хода не должно превышать $0,04 \times d_{100}$ м, где d_{100} — длина линии, выраженная в сотнях метров.

Невязка в превышениях в ходе

$$f_h = \Sigma h_n - \Sigma h_r, \quad (55)$$

где Σh_n — сумма вычисленных превышений;

Σh_r — теоретическая сумма превышений (должна удовлетворять допуску);

$$\text{доп. } f_h = \pm (4 \cdot S_{100} \cdot \sqrt{n}) \text{ см.} \quad (56)$$

Здесь n — число линий в ходе;

$S_{100} = \frac{\sum d_{100}}{n}$ — средняя длина линии, выраженная в сотнях метров.

Поправки к средним превышениям вычисляют пропорционально длинам сторон.

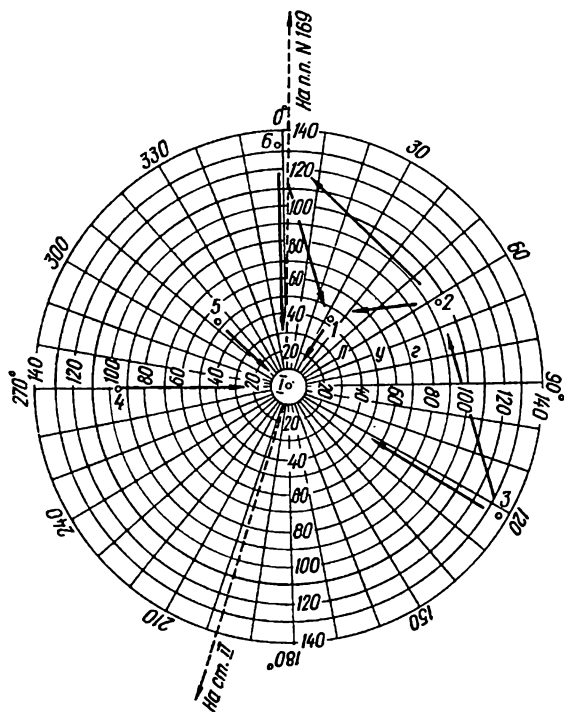


Рис. 26. Крюй-транспарант.

Нивелирование поверхности. Нивелирование поверхности применяется на равнинной местности при составлении топографических планов крупного масштаба порядка 1 : 500 — 1 : 1000.

Полевые работы состоят в построении на местности сети точек, определения их планового положения и отметок. Ситуация снимается попутно с определением положения точек сети. Наиболее применимыми на практике являются способы нивелирования по квадратам и способ параллельных линий.

Способ параллельных линий применяется преимущественно в закрытой местности.

Основу съемки составляет магистральный теодолитно-нивелирный ход *ABC*, прокладываемый по границе или середине участка (рис. 27).

Перпендикулярно или наклонно к магистрали разбивают поперечники через промежутки длиной от 20 до 200 м, в зависимости от масштаба съемки и характера рельефа местности.

Длины поперечников для масштабов от 1 : 500 до 1 : 10 000 колеблются от 300 м до 1 км.

На поперечниках разбивают пикеты через 20—200 м и намечают плюсовые точки.

Поперечники нивелируют по пикетам.

В процессе работы ведут крюй.

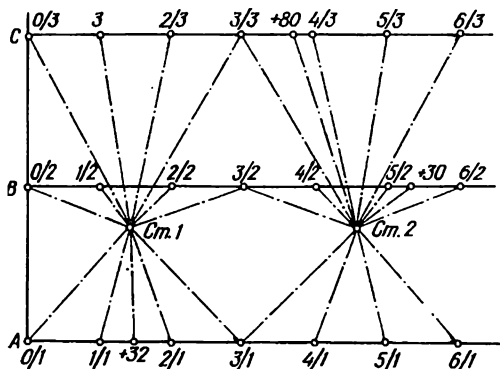


Рис. 27. Нивелирование поверхности по способу параллельных линий.

сторон строят заполняющие (малые) квадраты.

Располагая тросом длиной 100 или 200 м с метками на нем через 20 или 40 м, ведут нивелирование, устанавливая рейки непосредственно на землю около меток натянутого троса.

Длины сторон квадратов, строящихся на местности при составлении плана строительной площадки, представлены в табл. 15.

Т а б л и ц а 15

Допустимые длины сторон квадратов

Масштаб съемки	Длина стороны квадрата, м	
	большого	малого
1 : 500	100 или 200	10÷20
1 : 1000	200 или 400	20
1 : 2000	400 или 600	40

Большие квадраты со стороной 100 м в открытой местности нивелируют отдельно, располагая нивелир около центра квадрата. Сначала нивелируют замкнутый ряд квадратов, прилегающий к внешней границе участка, затем внутренние ряды, параллельные между собой — через один (рис. 28). Заполняющие квадраты нивелируют отдельно.

Мензульная съемка. Создание топографического плана местности при помощи мензулы (столика) и кипрегеля называется мензульной съемкой.

При указанной съемке топографический план получают непосредственно на местности, а все углы — путем графических построений.

Все графические построения производят на чертежной бумаге, которая прикрепляется к планшету.

При съемке применяется дальномерная рейка.

Расстояние до точек определяется при помощи дальномера, а их отметки — из тригонометрического нивелирования.

Для уменьшения деформации бумаги ее наклеивают на листы авиационной фанеры или алюминия.

Бумагу на жесткой основе прикрепляют к планшету размером 60×60 см.

На планшет наносят съемочную трапецию по координатам ее вершин, опорные пункты триангуляции, полигонометрии, точки теодолитных ходов.

Установка мензулы на станции состоит из трех действий — центрирования, нивелирования и ориентирования.

Центрирование планшета при съемке в масштабе 1 : 2000 и крупнее производится при помощи мензульной вилки, а при более крупных масштабах — на глаз.

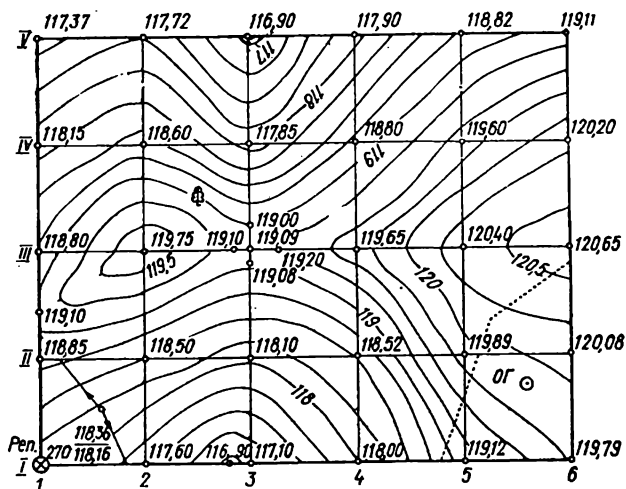


Рис. 28. Топографический план строительной площадки.

Нивелирование планшета производят при помощи уровня, имеющегося на линейке кипрегеля. Для этого кипрегель устанавливают по направлению двух подъемных винтов и, действуя ими, приводят пузырек уровня в нульпункт. Потом устанавливают кипрегель по направлению третьего подъемного винта и, действуя им, снова приводят пузырек в нульпункт.

Планшет ориентируется приблизительно при помощи ориентир-буссоли и более точно — по линии местности, нанесенной на него.

Для приближенного ориентирования буссоль прикладывают к одной из сторон рамки планшета и поворачивают его вокруг вертикальной оси до совмещения конца стрелки с нулевым делением шкалы буссоли. При ориентировании планшета по истинному меридиану следует учитывать угол склонения магнитной стрелки.

Для ориентирования по линии надо приложить к ней скошенный край линейки кипрегеля и поворачивать планшет вокруг оси до совмещения (в поле зрения трубы) изображения вехи с вертикальной нитью сетки нитей.

Ориентирование тем точнее, чем длиннее линия на планшете. При длине линии 20 см ошибка ориентирования равна $\pm 2'$.

Прямая и обратная мензульные засечки. Мензульные засечки применяются для определения планового положения пунктов съемочного обоснования, а иногда при съемке отдельных точек местности.

Засечки возможны при наличии на планшете проекции двух точек местности, по которым определяется положение третьей точки.

Прямая засечка. Мензулу устанавливают в точке А (рис. 29), ориентируют по линии АВ и через точку а планшета прочерчивают направление на точку В

где S — число километров в ходе;

n — число сторон.

Поправки в превышения вводят пропорционально горизонтальным расстояниям между точками геометрической сети. Высоты точек этой сети вычисляют из выражения

$$H_{k+1} = H_k + h. \quad (58)$$

Съемка ситуации и рельефа. Съемка ситуации и рельефа при мензульной съемке производится, главным образом, полярным способом. В отличие от тахеометрической, при мензульной съемке дальнометрные расстояния не записываются в журнал, а откладываются вдоль скошенного края линейки кипрегеля. Таким образом получают плановое положение речечных точек.

Съемку рельефа и контуров выполняют одновременно. Отметки точек вычисляют и выписывают на планшет с точностью 0,01 м при высоте сечения рельефа 1 м и менее и с точностью 0,1 — при высоте сечения более 1 м. Горизонтали (рисовку рельефа) проводят по мере набора речечных точек.

Ошибки положения горизонталей по высоте не должны превышать $\frac{1}{3}$ сечения рельефа при углах наклона местности до 2° и $\frac{2}{3}$ сечения при углах от 2 до 6° .

Переходные точки выбирают и определяют там, где невозможно съемку выполнять с пунктов геометрической сети.

Часто переходные точки определяют решением задачи Потенота. При этом способе с определяемой переходной точки должны быть видны три точки местности, имеющиеся на планшете.

Для решения задачи способом Болотова мензулу устанавливают в переходной точке, закрепляют на планшете восковку и намечают произвольную точку (рис. 32, а).

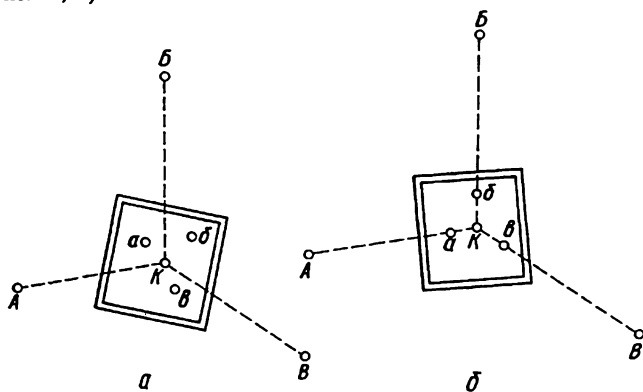


Рис. 32. Решение задачи Потенота по способу Болотова:

а — прокладывание направлений на восковке; б — перенос точки на планшет.

Планшет не ориентируют. Прикладывая к точке скошенный край линейки кипрегеля, визируют последовательно на точки А, Б, В местности и прочерчивают на восковке направления. Затем перемещают восковку так, чтобы полученные направления совместились с точками а, б, в планшета и перекальвают точку К на планшет (рис. 32, б).

Другой распространенный способ определения непереходных точек — положение мензульных ходов. Схема построения этих ходов аналогична построению высотно-теодолитных ходов с той лишь разницей, что углы при этом не измеряют, а положение точек хода находят графически.

Взаимные превышения измеряют при двух положениях круга, а расстояния (по дальномеру) — в прямом и обратном направлениях. Ходы прокладывают между пунктами съемочного обоснования или в виде замкнутых полигонов.

Линейная невязка на плане не должна превышать 0,8 мм.

Наземная стереофотографическая съемка. Эту съемку называют также фототеодолитной, поскольку она производится фототеодолитом, представляющим собой соединение теодолита с фотографической камерой.

Если сфотографировать местность с двух точек базиса, располагая оптическую ось фотокамеры по двум взаимно параллельным направлениям, то получим два снимка — стереопару. При рассматривании стереопары обоими глазами одновременно или в стереоскоп получают стереоэффект, при котором местность представляется не плоской, а объемной. Пользуясь этим пространственным изображением местности, с помощью специальных приборов можно определить все три координаты XYZ любой точки местности.

Оптические оси фотокамеры всегда располагают горизонтально и, как правило, перпендикулярно к линии базиса фотографирования (случай нормального расположения осей). Иногда фотографируют с отклоненными от перпендикуляра осями, но обязательно сохраняя параллельность осей камеры и устанавливая последнюю на обеих точках базиса.

Пространственные координаты X, Y, Z определяют, пользуясь связью их с координатами той же точки на фотоснимке. Началом системы пространственных координат считается оптический центр объектива при положении фотокамеры на левой точке базиса. За ось X принимают направление горизонтальной проекции базиса, за ось Y — направление оптической оси фотокамеры в левой точке базиса, за ось Z — вертикальную линию.

Координаты X_c, Y_c, Z_c точки C местности, сфотографированной с точек M и N базиса MN , вычисляют по измеренным на снимке линейным координатам ее изображения s по формулам

$$\begin{aligned} X_c &= \frac{b}{p} \cdot x_l; \\ Y_c &= \frac{b}{p} \cdot f; \\ Z_c &= \frac{b}{p} z_{c_1}; \\ Z_{c_2} &= \frac{b}{p} z_{c_2}, \end{aligned} \quad (59)$$

где p — продольный параллакс, равный разности абсцисс точки C на правом и левом снимках стереопары, т. е. $p = x_p - x_l$;

b — горизонтальное положение базиса фотографирования;

f — фокусное расстояние фотокамеры;

x_l — абсцисса точки C на левом снимке;

z_{c_2} — высотная координата точки C на левом снимке;

z_{c_1} — то же, на правом.

Координаты x_l, z_{c_2}, z_{c_1} и параллакс p измеряют на стереокомпараторе, который представляет собой соединение стереоскопа с прибором для измерения координат на снимке. Рассматривая в окуляр стереоскопа два негатива стереопары, уложенные на специально отведенном месте прибора, вращением штурвала прибора совмещают видимую в стереоскоп оптическую метку с точкой модели местности, координаты которой определяют. После этого по шкалам измерительного прибора берут отсчеты, выражающие величины x_l, z, p , (координаты x и z с точностью до 0,02 мм и параллакс — до 0,002 мм).

Вычисленная координата z представляет собой превышение точки местности над оптическим центром объектива фотокамеры, поэтому искомая отметка точки C вычисляется дважды по формулам

$$\begin{aligned} H_C &= H_M + i_1 + z_{c_1}; \\ H_C &= H_M + i_2 + z_{c_2}, \end{aligned} \quad (60)$$

где i_1 и i_2 — высоты камеры соответственно над точками базиса M и N ;
 H_M и H_N — отметки точек M и N базиса фотографирования MN .

Вычисленные координаты X и Y позволяют нанести точку C на план только относительно данного базиса фотографирования. Для того, чтобы составить план, используя съемку с нескольких базисов фотографирования, необходимо определить координаты левых точек базисов и дирекционные углы направлений оптических осей в системе геодезических опорных пунктов. Для этого точки базисов привязывают в поле к опорным пунктам.

Определение пространственных координат X, Y, Z точек местности с помощью стереокомпаратора и построение плана по этим точкам является задачей трудоемкой и кропотливой. В настоящее время имеются приборы, например стереоавтограф, с помощью которых план строится автоматически. Стереоавтограф имеет стол, над которым с помощью маховичков перемещается рычаг с карандашом. После установки на шкалах измерительного прибора начальных отсчетов для X, Y и H можно так управлять движением рычага с карандашом, что видимая в стереоскоп оптическая метка (по форме похожа на перевёрнутую капельку жидкости) будет все время касаться своим острием поверхности стереомодели. Если перемещать метку при установке на шкале отсчета H , равного отметке горизонтали, то карандаш будет вычерчивать эту горизонталь на чертежной бумаге, закрепленной на столе стереоавтографа.

Фототеодолитную съемку применяют также для изучения деформаций сооружений; измерения трещин в сооружениях и наблюдения за их изменениями; архитектурной съемки существующих зданий; определения направления и скорости течения в реках и каналах; изучения динамики оползней и характера волнений на водной поверхности.

§ 15. Особенности геодезических работ при изысканиях сооружений линейного типа

К сооружениям линейного типа относятся: железные и автомобильные дороги, каналы, трубопроводы, канатные дороги, ЛЭП и т. д., т. е. сооружения вытянутые в длину и занимающие на местности узкую полосу земли.

Для проектирования таких сооружений необходимо иметь план трассы, продольные и поперечные профили ее.

Состав, объем и степень подробности изысканий зависит от назначения, размеров и конструкции сооружения. Наиболее полными бывают изыскания для туннелей, железных, автомобильных и канатных дорог, гидротехнических сооружений.

Для всех линейных сооружений в общем случае обязательными являются следующие работы:

- выбор направления трассы по топографической карте с последующим осмотром местности в натуре;

- согласование прохождения трассы с заинтересованными ведомствами и организациями;

- вынос трассы с карты на местность, закрепление ее знаками с разбивкой пикетажа и элементов кривых, нивелирование;

- плановая и высотная привязки трассы;

- составление плана трассы и переходов через искусственные и естественные препятствия в более крупном масштабе, составление продольного и поперечного профилей ее.

Ось сооружения в плане определяют проложением по трассе теодолитного хода между начальной и конечной ее точками.

Конечные и промежуточные точки трассы через 10—15 км привязывают к имеющимся пунктам геодезического обоснования.

При выборе общего направления трассы дороги стремятся придерживаться воздушной прямой между опорными пунктами (фиксированными точками).

Величины невязок геодезических измерений

Виды полевых работ	Угловые измерения, <i>мин</i>	Линейные измерения, относительные ошибки	Высотные измерения, <i>мм</i>
Магистральные ходы автомобильных дорог и трубопроводов; трасс линий связи: во всех случаях в замкнутых полигонах, а также при наличии привязок или определений истинных азимутов	2—между полуприемами на стоянке $3\sqrt{n}$	$\frac{1}{300}$	$300\sqrt{L}$
Ходы обоснования аэрофотосъемки. Магистральный ход и предварительная трасса железной дороги	$3\sqrt{n}$	$\frac{1}{1000}$ (в трудных условиях) $\frac{1}{500}$	$150\sqrt{L}$
Трасса автомобильной дороги, ход по существующей автодороге и трасса трубопровода (высотные привязки для сооружений и участков трассы, требующих большей точности— $50\sqrt{L}$)	$3\sqrt{n}$	То же	$100\sqrt{L}$
Окончательная трасса железной дороги и ход по существующей железной дороге	$3\sqrt{n}$	.	$50\sqrt{L}$
Трасса линии электропередачи: в горной местности	$1,5\sqrt{n}$	$\frac{1}{300}$	$300\sqrt{L}$
то же, в равнинной	$1,5\sqrt{n}$	$\frac{1}{1000}$	$50\sqrt{L}$
Съемочные полигоны для детальных планов: поселков на всех линейных объектах, мостовых переходах, транспортных узлов и пр.	$1,5\sqrt{n}$	$\frac{1}{1000}$	$50\sqrt{L}$
раздельных пунктов существующих железных дорог	$\sqrt{n}$	$\frac{1}{2000}$	$50\sqrt{L}$
Теодолитные ходы при изыскании новых дорог:			
при предварительных изысканиях	$2\sqrt{n}$	—	—
то же, при окончательных	$\sqrt{n}$	—	—

Примечание. n — количество углов; L — количество километров инвентарного хода.

Длина и направление линий трассы определяются графически или решением обратной геодезической задачи по формулам:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}; \quad (61)$$

$$l = \frac{y_2 - y_1}{\sin \alpha} = \frac{x_2 - x_1}{\cos \alpha} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}. \quad (62)$$

По намеченным вариантам трассы производится осмотр местности, в процессе которого исправляется и дополняется топографическая карта, уточняется положение трассы, намечаются переходы через естественные и искусственные препятствия для съемки их в крупном масштабе и детального геологического обследования, собираются сведения, необходимые для выбора типов инженерных сооружений, определения объема и стоимости строительных работ.

При рекогносцировочных изысканиях вдоль сложных участков трассы прокладываются тахеометрические ходы.

Результаты рекогносцировочных изысканий используются для составления технического проекта, затем с утверждением его выполняются подробные технические изыскания.

Полевые работы начинаются с осмотра в натуре утвержденного варианта и его уточнения. Направление трассы переносится в натуру по геодезическим данным (углам и длинам линий), определяемым графически на карте наиболее крупного масштаба. Углы поворота трассы переносят в натуру от ближайших опознавательных знаков местности, имеющих на карте.

Углы поворота трассы закрепляются деревянными столбами и привязываются к постоянным предметам местности, их измерение выполняется 1'-ным теодолитом одним полным приемом.

Длина линий измеряется 20-метровой штриховой стальной лентой дважды. Одновременно измеряются углы наклона линий, превышающие 3°.

Через каждые 100 м разбиваются пикеты. При подробных изысканиях производится разбивка главных точек кривых (круговых и переходных) и вынос пикетов на кривые (для железных и автомобильных дорог).

В результате прокладки теодолитного хода по оси, разбивки пикетажа и съемки полосы составляется план трассы в масштабе 1 : 5000 — 1 : 10 000.

В полосе отвода, но вне пределов выполнения земляных работ, через каждые 5—10 км устанавливают временные грунтовые реперы.

Кроме того в районах речных переходов закладывается не менее двух реперов.

Ходы продольного нивелирования трассы привязываются к знакам государственной нивелирной сети.

Поперечное нивелирование производится на всех участках трассы, расположенных по косограм, совмещенных с существующими дорогами и проходящими вблизи водотоков и в пределах населенных пунктов. Поперечники разбиваются перпендикулярно к оси дороги.

В сложных местах трассы (переходы через реки, водотоки, овраги и т. д.) производится топографическая съемка в масштабах 1 : 500 — 1 : 2000.

Величины невязок геодезических измерений представлены в табл. 16.

§ 16. Особенности геодезических работ при градостроительстве

Для городских территорий характерно то, что на них концентрируются различные инженерно-строительные работы по реконструкции и благоустройству.

Для ведения этих работ часто используются планы весьма крупных масштабов. Так для составления рабочих чертежей по застройке необходимо иметь планы масштаба 1 : 500, а для отображения существующих подземных инженерных сооружений и проектирования новых — планы проездов в масштабе 1 : 200.

Схема развития планового обоснования

На городской территории государственная триангуляционная сеть сгущается путем вставок в треугольники государственной сети одиночных пунктов или их групп.

Геодезическое обоснование, полученное методом триангуляции, сгущается полигонометрическими и теодолитными ходами. Ходы первого порядка прокладывают по проездам, а второго — по внутриквартальным территориям.

При отсутствии пунктов государственной триангуляции на городских территориях (более 50 км²) строят самостоятельные триангуляционные сети, в которых измеряют базисы и разбивают базисные сети.

При постановке основных геодезических работ города, поселки и промышленные территории разделяются на следующие разряды:

I площадью более	200 км ²	IV площадью более	10—25 км ²
II » »	50—200 »	V » менее	10 »
III » »	25—50 »		

При отнесении городской территории к тому или иному разряду, учитывают как всю застроенную, так и незастроенную площадь.

Кроме того, учитывают перспективы развития городской территории.

На городских территориях I и II разрядов геометрическая схема триангуляционной сети, методы наблюдения углов и измерения базисов, а также применяемые инструменты должны дать такую точность определения пунктов триангуляции, которая обеспечила бы по точности локальную съемку в масштабе 1 : 500 на всей городской территории.

В городах, отнесенных к III, IV и V разрядам, точность и густота пунктов геодезического обоснования рассчитывается для масштаба предстоящей съемки.

В табл. 17 приводятся данные, характеризующие триангуляционные сети, предназначенные для съемок городов, поселков и промышленных территорий.

Т а б л и ц а 17

Характеристика триангуляционных сетей

Разряд триангуляции	Длина сторон треугольников, км	Максимальная средняя квадратическая ошибка угла треугольника	Относительная ошибка выходной стороны (предельная)
III	3—8	$\pm 1''$, 5	1 : 200 000
IV	2—6	$\pm 2''$, 5	1 : 150 000

При построении самостоятельных триангуляционных сетей используются такие системы:

центральная в комбинации с геодезическим четырехугольником;

сдвоенная центральная с дополнительными диагональными направлениями;

строенная центральная;

цепь геодезических четырехугольников для городов с территорией вытянутой формы.

Базисы в свободных триангуляционных сетях на городских территориях, не опирающихся на пункты государственной триангуляции, измеряют по программе и с соблюдением требований инструкции по государственным базисным измерениям соответствующего класса.

На городских территориях целесообразно принимать условие, чтобы длина выходной стороны не превышала двойной величины базиса.

Согласно расчетам, ошибка выходной стороны на 1 км в сетях 4-го класса не должна превышать $\pm 1,2$ см или в относительной мере 1 : 83 000.

В сетях 3 класса ошибка выходной стороны не должна превышать 0,9 см на 1 км.

Внедрение в производство геодезических работ светодальномеров позволяет широко применять их для измерения сторон в триангуляциях на городских территориях.

Городская полигонометрия. Для сгущения пунктов геодезического обоснования, полученного методом триангуляции, при городских крупномасштабных съемках строят полигонометрические сети I и II разрядов.

Городские полигонометрические сети опираются на пункты триангуляции, а при малых размерах городских или промышленных территорий, где триангуляционные сети строить нецелесообразно, полигонометрические сети являются самостоятельным первичным геодезическим обоснованием.

В инструкции по топографической съемке в масштабах 1:5000 и 1:2000 допустимая относительная невязка полигонометрических ходов, прокладываемых взамен триангуляции 4 класса, установлена 1:25 000.

Обычно на городских территориях полигонометрию прокладывают не в виде отдельных ходов, а строят сети, образующие замкнутые полигоны и системы узловых точек, опирающиеся на пункты триангуляции.

Поэтому полигонометрию, прокладываемую для развития геодезического обоснования на городских застроенных территориях, можно характеризовать данными, приведенными в табл. 18.

Т а б л и ц а 18

Характеристика городских полигонометрических сетей		
Разряд полигонометрии	Допустимая относительная невязка хода	Максимальная длина хода, км
I	1:10 000	3,5
II	1:5 000	2,5

Точки полигонометрии закрепляются грунтовыми знаками.

Знак, рекомендуемый для закладки на застроенной части города, имеет сверху предохранительный чугунный колпак с крышкой (рис. 33).

Для незастроенной территории рекомендуется тип знака, который представляет собой забетонированный отрезок рельса, закладываемый в грунт на значительную глубину. Верхний конец рельса, на котором отмечен центр полигонометрического знака, должен выступать над поверхностью земли на 0,2—0,4 м.

В ходах городской полигонометрии линии измеряются преимущественно подвесными мерными приборами, в полигонометрии I разряда — двумя инварными проволоками.

В ходах II разряда — инварной проволокой в прямом и обратном направлениях.

В настоящее время для измерения линий используют светодальномеры.

Особенности нивелирования в городских условиях. При нивелировании I и 2-го классов на застроенных частях городских территорий особое внимание следует обращать на устойчивость инструмента и реек. Рейки рекомендуется устанавливать на специальные костыли, забиваемые в покрытие проездов, тротуаров или в грунт.

Влияние вертикальной рефракции на застроенных территориях значительно большее, чем в полевых условиях (от нагрева солнечными лучами зданий и покрытий на проездах), поэтому необходимо резко сокращать рабочее время

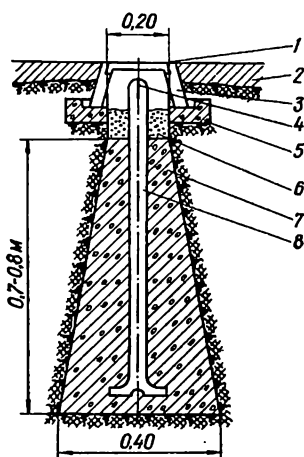


Рис. 33. Знак полигонометрии для городских условий:
1 — крышка; 2 — асфальт; 3 — чугунный колпак; 4 — центр знака; 5 — бетонное кольцо; 6 — насыпной грунт; 7 — бетон; 8 — металлический стержень.

на нивелирных работах 2-го класса в летние солнечные дни, перенося их на пасмурные дни или на ночное время.

В нивелирных сетях, выполненных даже в самых крупных городах, не будет достаточного количества данных для определения средней систематической ошибки на 1 км нивелирования, так как в городских нивелировках нет длинных линий, в пределах которых можно было бы считать действие систематических ошибок достаточно однообразным.

Поэтому точность выполнения работ можно характеризовать только средней случайной ошибкой на 1 км хода, которая вычисляется по формуле

$$\eta = \sqrt{\frac{(pv^2)}{r}}; \quad p = \frac{1}{L}, \quad (63)$$

где p — вес хода между твердыми или узловыми точками;

L — длина хода, км;

v — поправка на ход, мм, полученная из уравнивания;

r — число условных уравниваний.

Особенности составления топографических планов городских территорий. Для составления генеральных проектов планировки, технических проектов детальной планировки и застройки требуются топографические планы на всю территорию города в масштабе 1 : 5000 или 1 : 2000.

Топографические планы такого масштаба получают путем наземной съемки (мензульной, тахеометрической) или по материалам аэрофотосъемки.

Для рабочих проектов новой застройки или реконструкции старой, а также для текущего проектирования и выполнения строительных работ на застроенную часть города необходимо иметь топографические планы масштаба 1 : 500.

Нередко возникает необходимость в съемке масштаба 1 : 500 отдельных незастроенных участков, расположенных внутри застроенных территорий и примыкающих к ним.

Т а б л и ц а 19

Размеры рамок планшетов

Масштаб	Размер рамки планшета,	Размер полезной площади планшета, га
1 : 5000	40×40	400
1 : 2000	50×50	100
1 : 500	50×50	6,25

Особым видом здесь являются съемки подземных коммуникаций. Топографические планы масштаба 1 : 500 и 1 : 2000 составляют на отдельных планшетах с географической или прямоугольной разграфкой. Планшеты с прямоугольной разграфкой имеют размеры рамок, приведенные в табл. 19.

Для общегосударственного картографирования на рамках планшетов с прямоугольной разграфкой подписывают выходы

рамок в общесоюзной разграфке. На планшетах показывают прямоугольную сетку координат.

Номенклатура планшетов устанавливается единая для всех крупных масштабов, используемых при съемках городских и поселковых территорий.

Номенклатура планшета содержит: меридиан (в угловом выражении), принятый за осевой, прямоугольные координаты юго-западного угла рамки, выраженные в метрах и масштаб съемки. Например, 37°30′+12 000+8000 в масштабе 1 : 5000.

§ 17. Особенности геодезических работ при гидростроительстве

Под гидротехническими понимают сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов, для борьбы с вредными воздействиями воды.

Эти сооружения, сравнительно с промышленными и другими, имеют целый ряд особенностей, а именно: большинство из них работают под напором; постоянно находятся в соприкосновении с водой, а поэтому должны быть достаточно водоустойчивыми; работают в условиях огромной динамической на-

грузки (водосливные плотины); на них необходимо учитывать волновую нагрузку; подвергаются воздействию ледохода и т. д.

В настоящее время проектирование гидросооружений для строительства ГЭС ведется в две стадии. В связи с этим изыскания проводятся также в две стадии: 1) предварительные, 2) окончательные.

Этим двум стадиям предшествует внестадийное проектирование — составление схемы использования рек. Назначение этой схемы следующее: разбивка реки на стадии, каскады; выбор подпорных отметок намеченных гидроустановок; определение мощности ГЭС; предварительная компоновка сооружений гидроузла и т. д.

Целью технического проекта является: окончательный выбор створа плотины; уточнение компоновки гидроузла; установление отметки нормального подпорного горизонта (НПГ).

Инженерно-геодезические (топографо-геодезические) изыскания выполняются с целью подробного топографического изучения местности в районе предполагаемого строительства.

Геодезические работы в этом случае заключаются в создании плановой и высотной геодезической основы, выполнении топографических съемок различных масштабов, трассировочных и других работ.

Инженерно-геодезические изыскания выполняются в комплексе с другими видами изысканий: инженерно-геологическими; гидрогеологическими; климатическими; почвенно-грунтовыми; экономическими.

Задачей инженерно-геологических изысканий, программу которых составляют геологи с участием проектировщиков сооружений, является определение геологического строения района работ и несущей способности отдельных горных пород.

Кроме того, исследуется режим подземных вод.

Геодезические работы здесь заключаются в создании необходимых для геологов топографических карт и нанесении на них в плановом и высотном отношении геологических скважин, шурфов и т. д.

Точность привязки геологических точек порядка 0,2 мм плана.

Гидрологические и гидрометрические изыскания предназначаются для изучения водоносности и режима водных источников на поверхности земли. Здесь геодезические работы заключаются в определении отметок уровней воды, составлении продольного профиля реки и ее плана.

Топографические карты разных масштабов служат исходным материалом для проектирования комплекса гидротехнических и других сооружений.

При проектировании гидросооружений масштаб карты определяется по формуле

$$M = \frac{S \cdot 10^8}{\varphi}, \quad (64)$$

где M — знаменатель масштаба карты;

S — размер сооружений, м;

φ — размер изображения элементов сооружений на карте, мм.

Однако определение масштаба по формуле (64) (при большом разнообразии габаритов сооружений гидроузла) привело бы к многомасштабности топографической съемки отдельных участков площадки гидроузла, что с геодезической точки зрения вызывает целый ряд неудобств. Поэтому площадку гидроузла разбивают на два-три участка. Для каждого из них и для каждой стадии устанавливают целесообразный масштаб топографической съемки.

При определении масштаба карты учитывают рельеф местности.

Как известно, объемы земляных работ подсчитываются с погрешностью порядка 3—5%. Опыт показывает, что топографическая карта масштаба 1 : 2000 с сечением рельефа 1 м обеспечивает изображение частей гидросооружения и подсчет объема земляных работ по котлованам и дамбам в требуемых пределах.

Геодезическое обоснование топографических съемок разделяется на главное и съемочное.

К главному геодезическому обоснованию относятся сети триангуляции I—IV классов и соответствующие им по точности сети полигонометрии, а также нивелирные ходы 1, 2, 3 и 4-го классов. К съемочному обоснованию относятся теодолитные ходы, микротриангуляция, тахеометрические и мензульные ходы, а также техническое нивелирование и высотно-теодолитные ходы.

Планово-высотное обоснование строится из расчета обеспечения производства различных видов изысканий и переноса проекта сооружений в натуру. Построение планово-высотной сети выполняется в виде нескольких ступеней, каждая из которых характеризуется точностью положения пунктов и их количеством.

Чем меньше площадка гидроузла, тем меньше и ступеней. В частности на территории средних и крупных ГЭС плановая сеть строится так. Сначала строится главная плановая основа на всю территорию — гидротехническая триангуляция IV класса (или заменяющая ее по точности полигонометрия IV класса), а затем, опираясь на нее, развиваются аналитические сети высших разрядов. К третьей ступени относятся теодолитные ходы и заменяющие их сети низших разрядов.

Полигонометрия строится в виде сетей с вытянутыми ходами. Причем, если она заменяет триангуляцию, то число узловых точек должно соответствовать числу пунктов триангуляции, а длина ходов между узловыми точками — примерно длине сторон триангуляции.

В зависимости от заданной точности и условий местности применяют следующие методы продолжения полигонометрических ходов:

измерение длины сторон проволоками;

параллактическая полигонометрия;

дальномерная или светодальномерная полигонометрия с измерением длины сторон редуцированным тахеометром «Редта» или светодальномером.

Главной высотной основой служат марки, реперы нивелирования 1 и 2-го классов, опираясь на которые строят нивелирование 3-го класса в виде полигонов с периметром 30—50 км.

Нивелирование 4-го класса, как вторая ступень развития высотной сети, образует полигоны с периметром 10—20 км.

Съемочное высотное обоснование сгущается нивелирными ходами протяженностью 4—10 км между марками и реперами нивелирования 1, 2 и 3-го классов.

§ 18. Общие задачи инженерно-геодезических изысканий на разных стадиях проектирования

В комплекс этих изысканий входят: инженерно-геодезические, инженерно-геологические, гидрологические, почвенные, климатические, изыскания месторождений строительных материалов, обследование состояния существующих сооружений, сбор исходных данных для составления проекта организации строительства и смет.

В инженерно-геодезические изыскания входит развитие геодезических сетей, производства топографических съемок и съемок сетей подземных и воздушных коммуникаций. Одновременно с другими организациями согласовываются вопросы отвода земель, обеспечения строительства электроэнергией, водой, газом и т. д.

Выбор площадки начинают в камеральных условиях. На основании изучения топографических карт заданного района выявляют территории, которые по своим размерам и расположению могут быть использованы для размещения промышленных сооружений и жилого поселка. Наиболее подходит для этого карта масштаба 1 : 25 000. При отсутствии последней используются карты масштаба 1 : 50 000 и 1 : 100 000.

Важнейшей задачей изысканий является выбор в заданном районе строительной площадки, наиболее полно удовлетворяющей условиям нормальной эксплуатации предприятия и требующей минимальных затрат на подготови-

тельные работы и освоение. Площадку выбирают по возможности на ровной, мало пересеченной местности с благоприятными для строительства геологическими и гидрогеологическими условиями, удобными подходами, допускающими строительство подъездных дорог без сложного развития линий и дорогостоящих мостовых переходов.

Размеры площадки, ее конфигурация должны допускать расположение основных цехов и установок в соответствии с ходом технологического процесса. При выборе площадки учитывают специфику предприятия, размещение баз строительных материалов и т. д.

Важным требованием является также наличие благоприятных условий для размещения жилого поселка.

После полевого обследования и уточнения всех вопросов выбирают одну или две площадки, на которых должны быть проведены предварительные изыскания, дающие материалы (в порядке разработки технического проекта) для окончательного выбора места строительства.

В задачу топографо-геодезических изысканий для технического проекта на выбранной площадке входит получение необходимых материалов для проектирования промышленных предприятий.

Топографические съемки для технического проекта выполняются в масштабах, указанных в табл. 20.

Таблица 20

Масштабы топографических съемок для проектирования

Назначение участка съемки	Масштаб съемки	Сечение рельефа, м	Масштаб плана
Территория основной промышленной площадки	1:5000—1:2000	1—0,5	1:5000—1:2000—1:1000
Участки вне территории основной промышленной площадки, предназначенные для размещения:			
водозаборных и очистных сооружений	1:2000—1:1000	0,5	1:2000—1:1000—1:500
водопровода и канализации, насосных станций, плотин	1:2000	0,5	1:2000—1:1000
полей фильтрации и орошения	1:5000	1	1:5000—1:2000
водохранилищ, породных отвалов, хвостохранилищ, шлакозолоотвалов	1:2000—1:1000	0,5	1:2000, 1:1000—1:500
мостовых переходов, путепроводов, эстакад	1:5000—1:2000	1—0,5	1:5000, 1:2000—1:1000
инженерных сетей	1:2000	0,5	1:2000—1:1000
железнодорожных станций			

Техническая документация сопровождается пояснительной запиской с графическими приложениями (схемы, картограммы), отображающими назначение и основное содержание выполненных изысканий для технического проекта.

Топографические съемки для рабочих чертежей производятся с целью необходимой детализации и дополнения ранее выполненных съемок.

Так на территории основной промышленной площадки и на участках инженерных сетей допускается составление плана в масштабе 1:500—1:1000, на остальных участках — в соответствии с табл. 20.

Глава III. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СООРУЖЕНИЙ *

§ 19. Решение инженерно-геодезических задач на топоплане

Определение направления линии. Направление линии, заданной на плане или карте, определяется относительно магнитного, истинного или осевого меридиана при помощи транспортира или буссоли. Для решения задачи при помощи транспортира проводят меридиан через точку, при которой надо измерить азимут или румб данной линии. Так, например, чтобы определить направление AB (рис. 34), в точке A прочерчивают направление ns , параллельное ближайшему меридиану ab (на плане параллельно координатной сетке). Меридианы $ab, cd, ef \dots$ на рис. 34 показаны через l' по долготу. Затем прикладывают транспортир к линии ns так, чтобы нулевой диаметр проходил по ней, а центр был совмещен с точкой A . Отсчет по транспортиру, соответствующий линии AB , дает ее истинный азимут (угол nAB). Так как полученный в данном случае угол меньше 90° , то истинный румб этой линии северо-восточный и по величине равен азимуту.

Подобным образом нетрудно определить направления остальных отрезков трассы $ABCDEF$, запроектированной на карте. Зная склонение магнитной стрелки, можно нанести на карту магнитный меридиан в точке A и измерить транспортиром непосредственно по карте магнитный азимут или румб линии AB .

Равным образом, если на плане или на карте будет нанесена километровая координатная сетка, для всех линий трассы транспортиром могут быть измерены их дирекционные углы или соответствующие им осевые румбы. Та же задача может быть решена на плане или карте при помощи камеральной буссоли.

Положив карту горизонтально, прикладывают к меридиану скошенный край камеральной буссоли так, чтобы штрих, соответствующий букве N буссоли, был обращен к точке n карты.

Освободив стрелку и дав ей успокоиться, поворачивают карту вместе с буссолью в горизонтальной плоскости до тех пор, пока северный конец находящейся в покое магнитной стрелки не совместится со штрихом при букве N буссоли.

Закрепив после этого карту, по ней при помощи буссоли можно измерять истинные азимуты или румбы любых заданных линий.

Теперь если к линии AB на карте (см. рис. 34) скошенным краем приложить камеральную буссоль, то свободная магнитная стрелка ее будет параллельна линии ns , а нулевой диаметр параллелен линии AB .

Следовательно, угол между нулевым диаметром буссоли и северным концом магнитной стрелки, т. е. отсчет по северному концу стрелки, и выразит величину истинного азимута линии AB .

Если аналогичные действия произвести относительно магнитного меридиана или километровых линий координатной сетки, то при помощи буссоли непосредственно можно измерить магнитные азимуты и дирекционные углы или соответствующие им румбы.

Нанесение линий по заданным направлениям. Направления линий могут быть заданы азимутами, дирекционными углами или румбами. По этим дан-

* Глава III написана И. А. Тихоновой.

ным линии могут быть нанесены на план или карту при помощи транспортира или буссоли.

Чтобы нанести на карту линию AB (см. рис. 34) по заданному истинному азимуту при помощи транспортира, через данную точку A проводят истинный меридиан ns этой точки; прикладывают транспортир нулевым диаметром к меридиану, располагая полукруглость транспортира справа, если заданный азимут не больше 180° , и слева, если он больше 180° , и совмещают центр транспортира с данной точкой A и отмечают по его дуге от северного конца меридиана по ходу часовой стрелки точку, соответствующую значению азимута; через эту точку и проводят линию AB .

Аналогично может быть построена линия по магнитному азимуту. В последнем случае надо знать направление магнитного меридиана.

При построении линий на плане или карте с километровой координатной сеткой по дирекционным углам или соответствующим им румбам надо прикладывать транспортир не только к координатной линии, проходящей с юга на север через данную точку, но и к любой другой километровой линии, расположенной близко к данной точке.

Когда ребро транспортира будет иметь требуемое направление, то через данную точку легко провести с помощью треугольника и линейки линию, параллельную ребру транспортира и направленную от данной точки в ту же сторону.

При помощи ориентир-буссоли эта задача решается так. Положив карту горизонтально, прикладывают к меридиану ns (см. рис. 34) данной точки скошенный край буссоли так, чтобы точка N ее была обращена к точке n карты; освободив стрелку и дав ей успокоиться, поворачивают карту вместе с буссолью в горизонтальной плоскости до совмещения северного конца стрелки при букве N буссоли.

Закрепив в этом положении карту, прикладывают к данной точке скошенным краем буссоль и поворачивают ее около этой точки до тех пор, пока северный конец стрелки не покажет отсчет, соответствующий данному азимуту. После этого вдоль скошенного края буссоли прочерчивают линию.

Подобным же образом на план или карту можно нанести линию, заданную магнитным азимутом или дирекционным углом. В этих случаях задача решается относительно магнитного меридиана или линий километровой сетки.

Определение отметки. Если данная точка лежит на горизонтали, то ее отметка устанавливается по надписи на этой горизонтали.

Пусть точка c (рис. 35) лежит между горизонталями с отметками 73 и 72. Определим ее отметку.

Для этого проведем через точку c кратчайшее расстояние ab между горизонталями. Предполагается, что на этом пути местность изменяется по высоте плавно, т. е. линия ab не имеет изломов в вертикальной плоскости. Отрезок ab на плане представляет горизонтальную проекцию некоторой линии aB местности (рис. 36), точка B которой выше точки a на 1 м.

Отрезок ab называют **з а л о ж е н и е м** соответствующей ему линии местности aB .

Возьмем миллиметровую бумагу и перенесем на нее с плана циркулем заложение ab . По вертикали из точки b отложим в любом масштабе десять равных отрезков и последнюю точку B будем считать имеющей высоту 73. При этом bB будет равно 1 м. Соединив точки a и B прямой, получим профиль

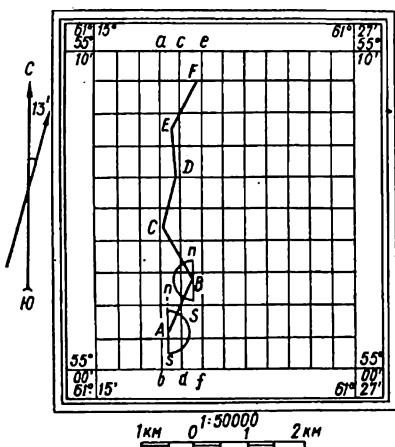


Рис. 34. Решение задач на топоплане.

местности по линии ab . Возьмем теперь из плана раствором циркуля заложение ac и перенесем его на профиль. В точке c профиля проведем вертикаль cC , которая в пересечении с линией aB профиля (в точке C) представит соответствующую точку на местности.

Высоту точки C легко отсчитать по миллиметровке. В данном случае она равна 72,65 м.

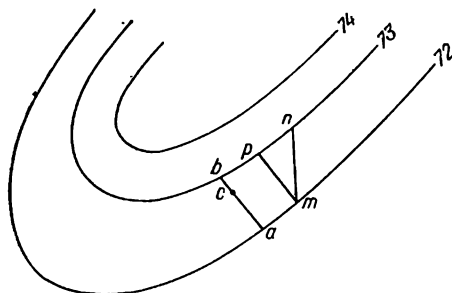


Рис. 35. Определение по горизонталям отметок точек.

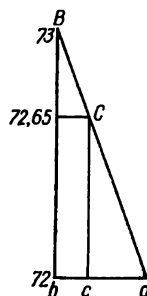


Рис. 36. Графический способ определения отметок по горизонтали.

Отметку точки C можно получить и аналитически, для чего к отметке 72 прибавляют величину cC , которая определяется из подобия треугольников bBa и cCa .

Определение уклона. Пусть линия местности AB (рис. 37) наклонена к горизонту AC под углом α . Тангенс этого угла называется уклоном линии и обозначается буквой i .

$$i = \operatorname{tg} \alpha. \quad (65)$$

Как видно из рисунка, $\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{d}$, следовательно

$$i = \frac{h}{d}, \quad (66)$$

т. е. уклон линии равен отношению превышения h к заложению d .

Если, например, $h=1$ м, а $d=20$ м, то

$$i = \frac{1}{20} = 0,05.$$

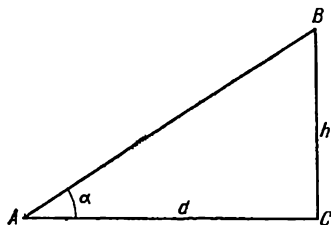


Рис. 37. Определение уклона.

Приняв в формуле (66) $d=1$, получим $i=h$. Отсюда заключаем, что уклон линии можно рассматривать как превышение, приходящееся на единицу горизонтального расстояния.

Уклон $i=0,05$ показывает, что линия местности повышается или понижается на 5 см через каждый 1 м или на 5 м через каждые 100 м горизонтального расстояния.

На основании данного определения легко найти уклон какой-нибудь mn (см. рис. 35), проведенный на плане между двумя соседними горизонталями. Предположим, что уклон этот не меняется на всем протяжении линии. Так как точки m и n лежат соответственно на горизонталях 72 и 73, то превышение h точки n над точкой m равно 1 м.

Заложение $mn=d$ измерим по плану при помощи масштаба.

Пусть оно равно 28 м, тогда $i = \frac{h}{d} = \frac{1}{28} = 0,036$.

В практике дорожного проектирования уклоны часто выражают в процентах. В этом случае полученный уклон будет $i = 3,6\%$.

Определение направления и крутизны ската. Возьмем на рис. 35 линию tp между горизонталями 72 и 73. Длина линии tp меньше длины линии tn , а вертикальное расстояние между горизонталями в обоих случаях одно и то же — 1 м. Следовательно, уклон линии tp больше уклона линии tn , т. е. на местности линия tp круче линии tn . Очевидно, самому короткому расстоянию между двумя соседними горизонталями будет соответствовать самая крутая линия на местности.

Масштаб заложений (масштаб для определения уклонов). Крутизна ската определяется крутизной линии tp (см. рис. 35). Мерой этой крутизны служит уклон линии $i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{d}$.

На рис. 35 вертикальное расстояние между горизонталями $h = 1$ м, следовательно,

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{d}. \quad (67)$$

Откуда $id = 1$,

т. е. произведение уклона на заложение для данного плана есть величина постоянная. Зная одну из этих величин, легко найти другую. Обыкновенно по заложению d определяют уклон i по формуле

$$i = \frac{h}{d} = \frac{1}{d}. \quad (68)$$

Чтобы не прибегать каждый раз к вычислениям i , на плане строят график, который называют масштабом заложений. Он позволяет по данному заложению графически определять уклон i .

В формуле (68) примем i последовательно равным 0,008; 0,01; 0,03; 0,05; 0,07; 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,70; 1,00 и найдем соответствующие значения $d = \frac{1}{i}$. Они будут равны 125; 100; 33,3; 20; 14,3; 10; 5; 3,3; 2,5; 2; 1,4; 1.

На вертикальной прямой отложим произвольные равные отрезки (рис. 38) и подпишем их у концов последовательно 0,008; 0,01; 0,03 и т. д.

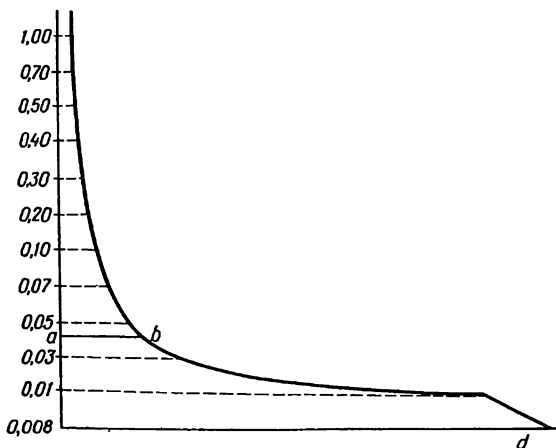


Рис. 38. Масштаб заложений.

Через каждую точку проведем горизонтальную прямую и на ней в масштабе плана отложим соответствующее заложение d . Концы отложенных отрезков соединим кривой. Полученный график и представит масштаб заложений. При помощи этого масштаба легко определить уклон линии, взятой по плану между двумя последовательными горизонталями. Так, например, взяв циркулем отрезок ab (см. рис. 35), переносим его с плана на график и помещаем, как указано на рис. 38. Легко увидеть, что заложению соответствует уклон 0,04.

Масштаб для определения углов наклона. Зная уклон i линии, из (68) легко определить и угол наклона ее к горизонту:

$$\operatorname{tg} \alpha = i = \frac{h}{d}. \quad (69)$$

Иногда предпочитают строить масштаб заложений так, чтобы он сразу выражал крутизну в углах наклона. Для построения такого масштаба при $h=1$ из (69) имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{d} \text{ или } \operatorname{ctg} \alpha = d.$$

Из таблиц натуральных значений тригонометрических функций выписываем котангенсы: 114,6; 57,3; 28,6; 19,1; 14,3; 11,4; 3,7; 2,8; 1,7 и 1 углов $0^{\circ}30'$, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30 и 45° . Формула (69) показывает, что, если заложение, взятое с плана между двумя смежными горизонталями с высотой сечения $h=1$ м, окажется, например, равным 114,6 м, то эта линия идет на местности под углом, котангенс которого равен 114,6, т. е. под углом $\alpha=0^{\circ}30'$.

Отсюда легко понять, как надо строить масштаб заложений, чтобы он выражал крутизну прямо в углах наклона.

На вертикальной прямой отложим равные отрезки (рис. 39). У концов этих отрезков надпишем последовательно $0^{\circ}30'$, 1, 2, 3, 4 и т. д. Через каждую точку проведем горизонтальную прямую и на ней в масштабе плана отложим соответствующие заложения d .

Так, на горизонтальной прямой, проведенной через точку $0^{\circ}30'$, отложим $d=114,6$ м, на прямой, проходящей через точку 1°, $d=57,3$ м и т. д.

Концы отложенных отрезков соединим непрерывной кривой. Полученный график и представит масштаб заложений в углах наклона.

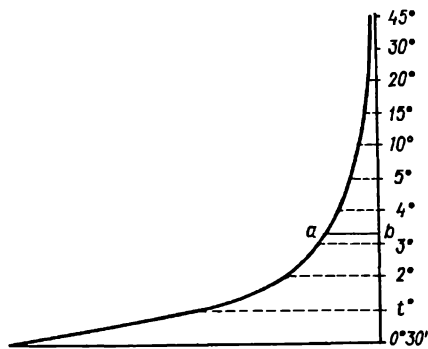


Рис. 39. Масштаб заложений в углах наклона.

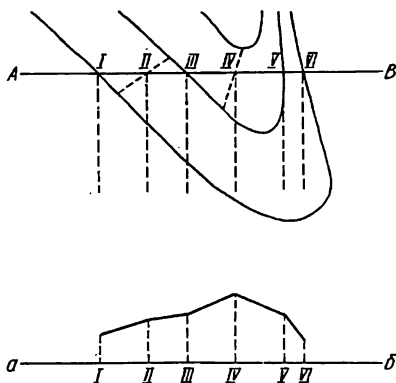


Рис. 40. Построение по горизонталям профиля местности.

Если, например, какое-нибудь заложение, взятое с плана, поместится на линии ab , то это покажет, что соответствующая линия местности наклонена к горизонту под углом $\alpha=3^{\circ}3$.

При построении масштабов заложений горизонтальные отрезки, представляющие на каждом графике соответствующее заложение, должны быть отложены в масштабе плана, а длины их вычислены в зависимости от высоты сечения горизонталей.

При построении масштабов, показанных на рис. 38 и 39, $h=1$ м. Если бы h было равно 2 м, то соответствующие числа нужно было бы удвоить. Это вытекает из соотношения $id=h$, откуда $d=\frac{1}{i}h$, т. е. d прямо пропорционально высоте сечения h .

Построение по горизонталям профиля местности и проектирование линии заданного уклона. Пусть требуется построить профиль по линии AB (рис. 40) при помощи горизонталей. Проводим произвольную прямую ab и на ней откладываем расстояния между точками (I, II, III, ..., VI) пересечения горизонталей плана с прямой AB .

Высоты этих точек известны и равны высотам соответствующих горизонталей или получены интерполяцией (II, IV).

Откладываем их на перпендикулярах к прямой ab . Соединив вершины перпендикуляров прямыми линиями получим требуемый профиль.

Обычно расстояния между точками I, II, ..., VI откладывают в масштабе карты, а высоты точек в масштабе в десять раз крупнее, чтобы выразить профиль местности более рельефно.

Рассмотрим задачу нанесения на план или карту в горизонталях линии заданного предельного уклона.

Допустим, что из M (рис. 41) требуется провести кратчайшую линию к точке N так, чтобы уклоны отдельных участков ее не превышали 5%.

По условию задачи подъем или падение линии допускается не более, чем на 1 м на каждые 20 м или 5 м на 100 м горизонтального расстояния.

Так как горизонтали на карте проведены через 5 м, то, при соблюдении требования 5% уклона, расстояние между смежными горизонталями должно быть не менее 100 м. Взяв в раствор циркуля по масштабу карты 100 м, засекаем этим радиусом из точки M горизонталь 35 в двух точках r и e . Из этих точек тем же радиусом 100 м засекаем горизонталь 40. Если этот прием продолжим далее, то получим два варианта решения. Направление MeN менее извилистое и ближе к заданному. Этот вариант решения и можно принять за искомый.

Определение координат точек. Географические координаты. На каждом листе карты подписаны широты и долготы углов рамок. Кроме того, рамки разбиты на угловые значения минут с заливкой через интервалы (рис. 42).

Для определения широты точки на карте надо через точку провести параллель и по шкале восточной или западной рамки отсчитать широту.

Аналогично определяют долготу точки. В этом случае следует через точку провести линию меридиана и по шкале на северной или южной рамке отсчитать долготу точки.

Координаты Гаусса-Крюгера. На листах современных топографических карт нанесена сетка линий абсцисс и ординат в проекции Гаусса-Крюгера, называемая километровой.

Искомые координаты точки определяются относительно линий сетки простым интерполированием.

Измерение длины линий. Длина отрезков прямой линии между заданными точками на карте или плане измеряется при помощи линейного или поперечного масштабов.

Для измерения кривой линии (реки, дороги, береговой линии и т. д.) применяются разные способы.

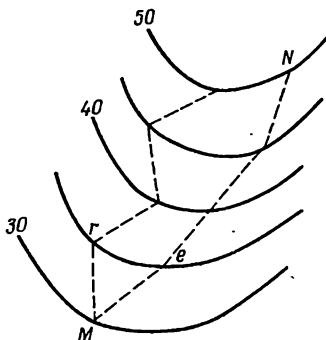


Рис. 41. Построение линии заданного уклона.

Если извилистую линию можно разбить на прямолинейные отрезки, то ее измеряют как вписанную ломаную. Более точные результаты дает способ проф. Ю. М. Шокальского, по которому измерение длины извилистой линии производится циркулем с постоянным раствором.

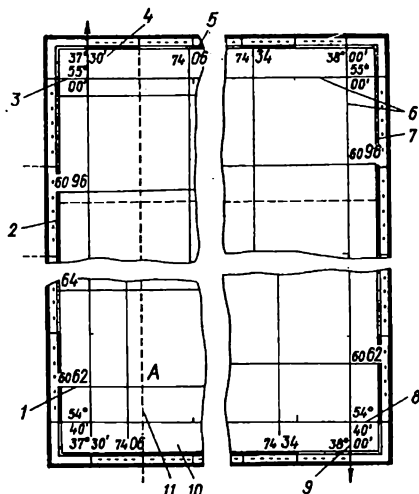


Рис. 42. Определение географических координат:

1 — цифровые обозначения горизонтальных и вертикальных линий координатной сетки; 2 — значение 1 мин по широте; 3 — широта сев. стороны рамки 55°00'; 4 — долгота зап. стороны рамки 37°30'; 5 — цифровые обозначения вертикальных линий координатной сетки; 6 — внутренняя рамка; 7 — рамка с минутами; 8 — широта южной стороны рамки 54°40'; 9 — долгота восточной стороны рамки: 38°00'; 10 — значение 1 мин по долготу; 11 — географические координаты точки А: широта 54°40',3; долгота 37°1',0 (восточная).

Измерение выполняется в прямом и обратном направлениях.

Формула для определения длины линии имеет вид:

$$d = m_{\tau} D_{\text{ср}} K, \quad (70)$$

где m_{τ} — число тысяч в знаменателе масштаба карты;

$D_{\text{ср}}$ — среднее из прямого и обратного измерений, мм;

K — коэффициент извилистости, определяемый при помощи таблиц по внешнему виду измеряемой линии.

Кроме того, длину извилистых линий можно измерять при помощи курвиметра.

§ 20. Привязка осей инженерных сооружений (при их разбивке) к пунктам геодезической основы

План разбивки осей входит в состав рабочих чертежей проекта; на нем показывают все оси сооружений. Они бывают главные, основные, промежуточные или дополнительные. Главными осями называются две взаимно перпендикулярные прямые (I—I и II—II, рис. 43), относительно которых сооружение располагается симметрично. Иногда их принимают за координатные. Главные оси разбивают для больших сооружений.

Основными осями называются линии (1—1, 8—8, А—А, 3—3, см. рис. 43), образующие внешний контур здания.

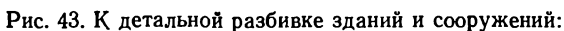
Остальные оси — промежуточные.

На плане разбивки показывают основные и промежуточные оси здания, размеры которых указывают в сантиметрах. Положение главных и основных осей определяется относительно строительной координатной сетки, пунктов геодезического обоснования или красных линий кварталов.

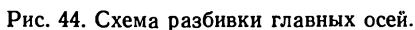
В первом и третьем случаях при разбивке применяют способ перпендикуляров, во втором — полярный. В частных случаях разбивку основных осей выполняют от цоколей сооружений и существующих зданий.

Основные оси промышленных сооружений привязывают на местности к пунктам строительной сетки. Для этого составляют чертеж с данными геоде-

Точки, фиксирующие положение основных осей (см. рис. 44, I, II, III, IV), привязывают к пунктам строительной сетки, как правило, способом прямо-



1 — сторона строительной координатной сетки; 2 — створные знаки; 3 — линия обноски; 4 — линия внешней грани котлована; 5 — линия внутренней грани котлована; 6 — сторона строительной координатной сетки; 7 — дополнительная обноска; 8 — створные знаки.



угловых координат, определив для этого разности абсцисс и ординат этих точек и ближайших пунктов сетки.

Установив теодолит на пункте 12, в створе стороны сетки 12—13 откладывают отрезок длиной 72 м. В найденную точку переносят теодолит и при двух положениях круга строят угол, равный 90°.

Вдоль полученного направления $M-M'$ откладывают расстояние ΔX_1 равное 54 м и находят на местности положение точки I (А/1). Отложив от последней вдоль этого же направления проектное расстояние между осями $A-A$ и $K-K$ равное 90 м, на местности получают точку II (К/1).

Аналогично от пункта сетки 14 находят положение точек IV (А/44) и III (К/44).

При этом необходимо помнить, что большую координату откладывают по стороне сетки, а меньшую по перпендикуляру к ней.

Для контроля работ точки II и III соответственно привязывают к пунктам строительной сетки № 20 и 22. На сооружениях небольших размеров стороны или диагонали можно измерить и результаты сравнить с проектными значениями.

Поскольку при разбивке основных осей определяется лишь общее положение сооружения на площадке и его ориентирование относительно соседних сооружений (на основании привязок осей сооружения к координатным пунктам строительной сетки), то допустимыми могут быть ошибки измерений в среднем до 1 : 4000—1 : 5000.

Углы строят при двух положениях круга теодолитами Т30 или Т20, Т15, Т10, ТТ-5, ТТ-4 и др.

Учитывая трудности непосредственных линейных измерений на площадке в процессе строительства, для привязки основных осей могут быть использованы оптические дальномеры. В этом случае рейку устанавливают в створе измеряемой линии над точкой, находящейся примерно на заданном в проекте расстоянии от инструмента, и определяют по дальномеру точное расстояние до нее.

Взяв разность между измеренным и проектным значением расстояния, откладывают эту разность рулеткой в ту или иную сторону от рейки в створе линии и закрепляют найденную точку.

Для контроля рейку переносят в эту точку и проверяют расстояние.

После привязки I, II, III и IV точек на каждой из них устанавливают теодолит и проверяют взаимную перпендикулярность осей. Отклонение от прямого угла допускают не более $\pm 60''$.

При больших отклонениях необходимо несколько переместить ближайшую точку.

Однако следует помнить, что взаимная перпендикулярность основных осей является одним из основных требований, предъявляемых к их разбивке, ибо перекус этих осей приведет в дальнейшем к перекусу всех остальных осей сооружения.

Привязка осей сооружений при их разбивке к пунктам геодезической основы (при отсутствии строительной сетки). В зависимости от типа сооружения, условий измерений и требований к точности разбивки основных осей привязка может быть произведена от точек геодезической основы способами полярных или прямоугольных координат, прямой угловой засечки, замкнутого треугольника и др.

Способ полярных координат применяется главным образом для вынесения в натуру проекта от пунктов полигонометрии. Точка С (рис. 45) сооружения, лежащая на соответствующей оси, определяется на местности путем построения проектного угла β и отложения проектного расстояния S . Величины β и S находят из решения обратной задачи.

$$\operatorname{tg} \alpha_{AC} = \frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A};$$
$$S = \frac{Y_C - Y_A}{\sin \alpha_{AC}} = \frac{X_C - X_A}{\cos \alpha_{AC}};$$

$$\beta = \alpha_{AB} - \alpha_{AC}.$$

При этом координаты пункта A и дирекционный угол α_{AB} известны из построения разбивочной основы, а координаты точки C в той же системе заданы в проекте.

При расчете полярных координат, для повышения точности определения, следует выбирать также твердые пункты, из которых полярный угол β на разбиваемую точку будет меньше 90° .

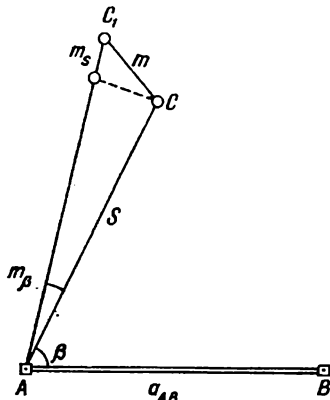


Рис. 45. Способ полярных координат.

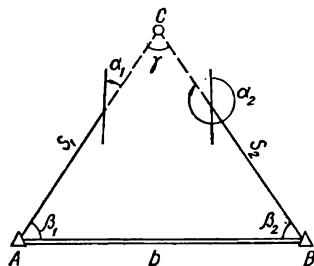


Рис. 46. Прямая угловая засечка.

Способ прямой угловой засечки. При этом способе положение проектной точки C (рис. 46) на местности находится отложением на пунктах A и B углов β_1 и β_2 . Углы откладывают оптическими теодолитами при двух положениях засечки. Сторона AB служит базисом засечки. Она является стороной геодезической основы или специально измеряется.

Разбивочные углы β_1 и β_2 вычисляют, как разность дирекционных углов сторон.

Последние находят из решения обратной задачи по проектным координатам точки C и известным координатам пунктов A и B .

Наибольшая точность привязки достигается при $S_1 \approx S_2$ и $\gamma = 90^\circ$.

Способ замкнутого треугольника. Применяется для уточнения привязки точки прямой засечкой. В этом способе после определения в натуре точки C (см. рис. 46) на опорных пунктах A и B измеряют значения отложенных углов β_1 и β_2 . Затем теодолит устанавливают в точке C и измеряют третий угол γ .

Распределив невязку в треугольнике ABC поровну или в соответствии с весами измерения углов, определяют координаты точки C .

Для оценки точности определения положения точки C треугольника может быть рекомендована формула

$$m_C^2 = \frac{S_1^2 + S_2^2 + b^2}{3 \sin^2 \gamma} \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 S_1^2 + \left(\frac{m_a}{\rho} \right)^2 S_1^2, \quad (71)$$

где m_b и m_a — ошибки определения базиса b и его азимута;

m_β — ошибка измерения углов.

§ 21. Способы определения величин разбивочных элементов

Разбивочные чертежи. Разбивочные работы представляют собой действия, обратные съемке. В самом деле, если в результате съемки контур какого-либо инженерного сооружения изображается на плане, то разбивка сооружения за-

ключается в перенесении с плана на местность его геометрических форм. Это вносит различие и в процесс измерений. Например, при съемке линия измеряется между двумя точками местности, при разбивке же обычно дается одна точка и длина линии, а вторая точка определяется на местности. Или другой случай. При измерении угла на местности даются два направления, при переносе же этого угла с плана на местность имеется лишь одно направление, второе — определяется по первому направлению и величине угла, взятой с плана или вычисленной.

Ввиду насыщенности строительной площадки сооружениями, требующими правильной взаимной увязки, для перенесения проекта в натуру геометрические элементы сооружений и их расположение необходимо выражать аналитически, а сам процесс осуществлять при помощи строительной сетки.

Для выполнения разбивочных работ на строительной площадке необходимо составить и оформить генеральный план строительной площадки и на основе последнего произвести геодезическую подготовку для перенесения проекта на местность с составлением разбивочных чертежей.

Составление и оформление генерального плана возлагается на специальную группу проектировщиков. Основой для него служит топографический план в горизонталях, масштаб которого, в зависимости от стадии проектирования, может быть принят 1 : 500 или 1 : 1000. Более крупный масштаб применяется в случаях значительной насыщенности площадки проектируемыми сооружениями и подземными коммуникациями, расположенными близко друг к другу.

Фасадные и торцевые линии проектируемых зданий наносятся параллельно строительной сетке. Пересечения главных (основных) продольных осей с главными (основными) поперечными осями привязываются к вершинам строительной сетки.

Оси каждого сооружения можно разделить на основные и вспомогательные. Основные — это оси фундаментов по фасаду и торцу. Числовые значения координат выписывают на поля генерального плана или в специальную ведомость. Все сооружения нумеруются, а в прилагаемой экспликации дается их полное описание.

Геодезическая подготовка. В натуру оси всего комплекса сооружений промышленного предприятия одновременно не выносят. Не делается это по разным причинам. Во-первых, потому что генеральный план составляется в течение длительного времени и непрерывно уточняется не только в период проектирования, но и в период строительства; во-вторых, ни на одном строительстве не возводят сразу все сооружения, а соблюдают очередность.

Это определяет то, что отдельные сооружения в натуру переносятся последовательно.

Материалы геодезической подготовки получают графическим, аналитическим или комбинированным способами.

Если бы сооружения выносились в натуру только от местных предметов, то точность взаимного расположения их зависела бы от графической точности определения этих предметов на плане. Однако графическая точность зависит еще и от масштаба плана, от деформации бумаги. Поэтому инженерные сооружения в натуру нельзя размещать на основе только графических данных.

Пусть на генплане запроектировано некоторое сооружение $MNPQ$ (рис. 47), которое вынесено в натуру от существующего здания $ABCD$ по створу линии DC и расстоянию d , определенному с плана.

Следовательно, это сооружение на местность вынесено с графической точностью, т. е. приближенно.

Если бы мы определили по координатной сетке графически координаты точек M , N , P и Q , то и в этом случае имели бы приближенное положение этих точек по отношению к местным предметам и к опорным геодезическим пунктам.

Можно, однако, задаться любой точностью взаимного положения точек, выразив их математической зависимостью.

Пусть координаты точек N и P заданы с необходимой для строительства точностью. Тогда математическая зависимость этих точек, позволяющая вы-

нести их в натуру от геодезических опорных пунктов, может быть выражена для рис. 47 следующими формулами:

$$\operatorname{tg} (17 - N) = \frac{Y_N - Y_{17}}{X_N - X_{17}} ; \quad (72)$$

$$17 - N = \frac{Y_N - Y_{17}}{\sin (17 - N)} = \frac{X_N - X_{17}}{\cos (17 - N)} . \quad (73)$$

Так как положение отрезка NP относительно геодезических опорных пунктов, определяется аналитически, то ошибка перенесения этого отрезка в на-

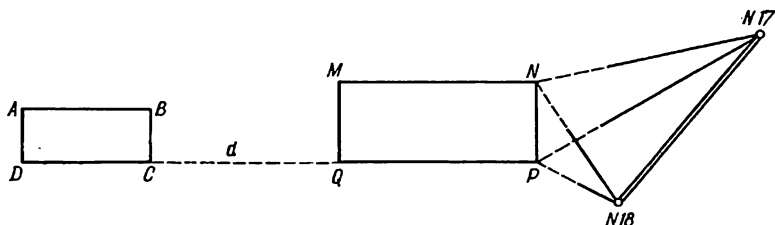


Рис. 47. Разбивка сооружения от существующего здания и пунктов геодезической основы.

туру может произойти только из-за ошибок определения точек 17 и 18 геодезической основы, а также ошибок самого перенесения, и уже не будет зависеть от графической точности генплана.

Геодезическая подготовка для перенесения в натуру отдельных элементов генерального плана предприятия осуществляется при помощи строительной сетки.

Положение отдельных сооружений относительно строительной сетки определяется по проекту аналитически. Все данные в пределах сетки увязываются так, чтобы сумма отрезков по осям давала длину квадрата сетки. По этим данным и переносят проект на местность путем разбивки по обноске основных осей, составляя специальный разбивочный чертеж (рис. 48), на котором выписывают все расстояния между осями. При этом тщательно проверяют проектную документацию (генплан): суммируют расстояния между отдельными осями и результат сравнивают с общими размерами сооружения, а также с разностью координат исходных осей, ранее закрепленных на местности.

При наличии строительной сетки геодезическая подготовка переноса проекта в натуру значительно упрощается.

Однако на строительной площадке нередко возникает необходимость переноса проекта в натуру без строительной сетки с использованием для этой цели находящихся на строительной площадке геодезических пунктов. Геодезическая подготовка в этом случае значительно усложняется.

Графически эта задача не может быть решена, так как проект планировки, например, рабочих поселков (которые переносятся в натуру без строительной сетки), выполняется архитектором обычно на топографическом плане сравнительно мелкого масштаба, который мало отвечает требованиям точности переноса проекта в натуру.

Чтобы точки проекта соответствовали одна другой с любой заданной точностью, необходимо аналитически определить координаты всех или, по крайней мере, большинства элементов будущего поселка.

Для этого должна быть установлена аналитическая зависимость между точками проекта и опорными геодезическими пунктами.

Рассмотрим пример геодезической подготовки проекта планировки части рабочего поселка, состоящего из группы кварталов I, II, III, ..., XII (рис. 49).

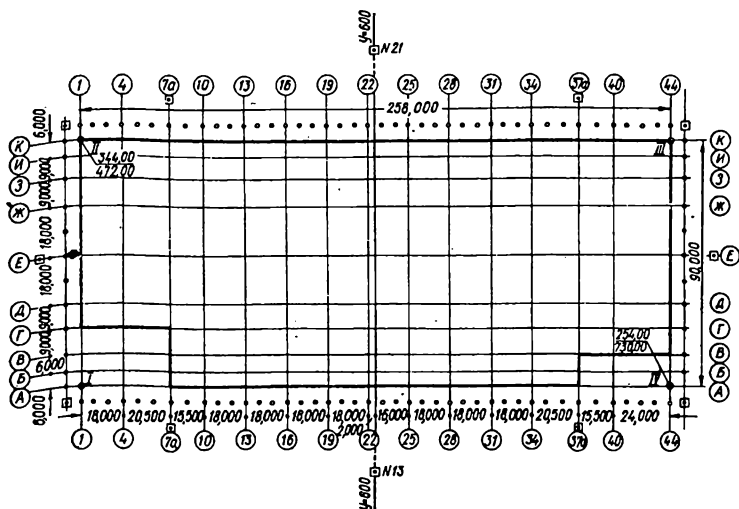


Рис. 48. Разбивочный чертёж.

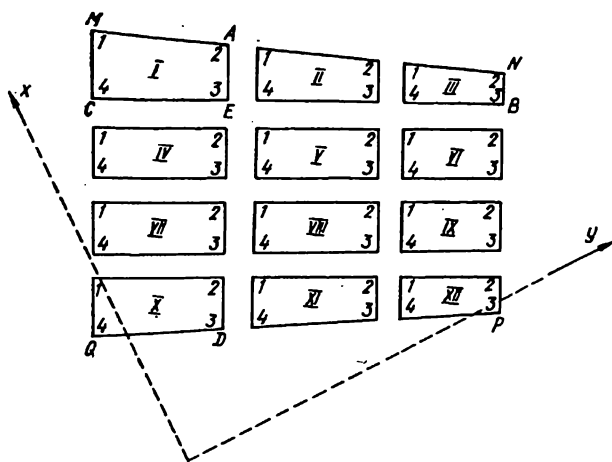


Рис. 49. Геодезическая подготовка проекта планировки части рабочего поселка.

Полагаем, что проект этих кварталов нанесен на топографический план достаточно крупного масштаба (1:1000), на котором имеется сетка координат. Если углы кварталов выносить в натуру по координатам, графически определенным по плану, то необходимая прямолинейность красных линий не будет достигнута. Это произойдет потому, что графическая точность плана для указанных целей недостаточна; поэтому при геодезической подготовке необходимо уметь сочетать графические данные с некоторыми аналитическими.

Качество геодезической подготовки будет зависеть от правильного выбора числа графических точек, координаты которых явились бы основой для даль-

нейшего вычисления уже аналитическим путем всех других точек проекта планировки.

Необходимо стремиться к тому, чтобы число графических точек было минимальным, так как всякая избыточная, определенная графически, точка может нарушить геометрические условия проекта.

Из рис. 49 видно, что за исходные следует взять точки M, N, P и Q , координаты которых требуется определить графически. Координаты же всех остальных углов кварталов должны быть получены аналитически, так как только при этом условии можно сохранить прямолинейность красных линий и заданную ширину улиц.

Пусть координаты точек, определенные графически, оказались следующими:

$$M(X_M, Y_M); N(X_N, Y_N); P(X_P, Y_P); Q(X_Q, Y_Q).$$

Определим по этим координатам дирекционные углы и длины:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x}; \quad d = \frac{\Delta y}{\sin \alpha} = \frac{\Delta x}{\cos \alpha}. \quad (74)$$

Рассмотрим пример при числовых значениях, приведенных в таблицах 21, 22.

Т а б л и ц а 21

Координаты точек, определенные графическим путем

Точки	X	Y	Δx	Δy
M	4125,5	6853,4		
N	3737,7	7417,7	—387,8	+564,3
P	3304,1	7189,6	—433,6	—228,1
			—245,3	—639,2
Q	3549,4	6550,4	+576,1	+303,0

Т а б л и ц а 22

Дирекционные углы и меры линий

Точки	Дирекционные углы	Меры линий
M	124°30'20"	684,70
N	207°45'00"	480,00
P	290°59'40"	684,70
Q	27°44'30"	651,07

Из формул (74) определим дирекционные углы и длины линий MN, NP, PQ и QM по графическим координатам точек M, N, P, Q .

При рассмотрении линии MN устанавливаем, что для получения координат точек, расположенных на ней, потребуется графически измерить следующие отрезки: в квартале I — линию 1—2; II — линию 1—2; III — линию 1—2 (цифры 1—2 показывают номера углов кварталов).

Полученные графическим путем длины необходимо уравновесить так, чтобы сумма всех отрезков равнялась длине линии MN определенной по координатам точек M и N ; при этом ширина улиц должна остаться не измененной.

Вычисление координат точек внешнего контура производим по форме, приведенной в табл. 23.

Вычисление координат точек внешнего контура

Точка	Измеренная длина по плану	Предварительно исправленная длина	Окончательно исправленная длина	Дирекционный угол	Приращение		Координаты		
					Δx	Δy	X	Y	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
<i>Линия MN</i>									
I ₁	241,00	+0,80 241,00	241,80	124°30'20"	+3 -136,98	+3 +199,26	4125,50	6053,40	
I ₂	40,30	40,00	40,00	124°30'20"	-22,66	+32,96	3988,55	7052,69	
II ₁	201,00	+0,67 201,00	201,67	124°30'20"	+2 -114,24	+2 +166,19	3965,89	7085,65	
II ₂	40,10	40,00	40,00	124°30'20"	-22,66	+32,96	3851,67	7251,86	
III ₁	160,70	+0,53 160,70	161,23	124°30'20"	-91,33	+2 +132,86	3829,01	7284,82	
III ₂							3737,70	7417,70	
MN	683,10	682,70 684,70 -2,00	684,70		-387,89 +387,80 -0,07	+564,23 -564,30 -0,07			
<i>Линия NP</i>									
III ₂	79,50	+0,24 79,50	79,74	207°45'00"	+1 -70,56	+1 -37,13	3737,70	7417,70	
III ₃	30,10	30,00	30,00	207°45'00"	-27,55	-13,97	3667,15	7380,58	
VI ₂	120,20	+0,36 120,20	120,56	207°45'00"	+1 -106,69	+2 -56,13	3640,60	7366,61	
VI ₃	30,20	30,00	30,00	207°45'00"	-26,55	-13,97	3533,92	7310,50	
IX ₂	119,70	+0,36 119,70	120,06	207°45'00"	+1 -106,25	+1 -55,90	3507,37	7296,53	
IX ₃	30,10	30,00	30,00	207°45'00"	-26,55	-13,97	3401,13	7240,64	
XII ₂	79,40	+0,24 79,40	79,64	207°45'00"	-70,48	+1 -37,08	3374,58	7226,67	
XII ₃							3304,10	7189,60	
NP	489,20	488,80 490,00 -1,20	490,00		-433,63 +433,60 -0,03	-228,15 +228,10 -0,05			

Линия PQ

XII ₃	162,00	-0,29 162,00	161,71	290°59'40"	+1 +57,92	+2 -150,98	3304,10	7189,60
XII ₄	40,10	40,00	40,00	290°59'40"	+14,33	-37,35	3602,03	7038,64
XI ₃	201,90	-0,37 201,90	201,53	290°59'40"	+1 +72,19	+3 -188,16	3376,36	7001,29
XI ₄	39,80	40,00	40,00	290°59'40"	+14,33	-37,35	3448,56	6813,16
X ₃	241,90	-0,44 241,90	241,46	290°59'49"	+2 +86,49	+3 -225,44	3462,89	6775,81
X ₄							3549,40	6550,40
PQ	685,70	685,80 684,70 <u>+1,10</u>	684,70		+245,26 -245,30 <u>-0,04</u>	-639,28 +639,20 <u>-0,08</u>		

Линия QM

X ₄	160,50	+0,22 160,50	160,72	27°44'30"	-4 +142,25	-1 +74,81	3549,40	6550,40
X ₁	30,20	30,00	30,00	27°44'30"	+26,55	+13,96	3691,61	6625,20
VII ₄	120,10	+0,17 120,10	120,27	27°44'30"	-3 +106,45	-1 +55,98	3718,16	6639,16
VII ₁	30,30	30,00	30,00	47°44'30"	+26,55	+13,96	3824,58	6695,13
IV ₄	120,00	+0,16 120,00	120,16	27°44'30"	-3 +106,35	-1 +55,93	3851,13	6709,09
IV ₁	39,90	30,00	30,00	27°44'30"	+26,55	+13,96	3957,45	6765,01
I ₄	159,70	+0,22 159,70	159,92	27°44'30"	-4 +141,54	-1 +74,44	3984,00	6778,97
I ₁							4125,50	6853,40
QM	650,70	650,30 651,07 <u>-0,77</u>			+576,24 -576,10 <u>+0,14</u>	+303,04 -303,00 <u>+0,04</u>		

В гр. 1 выписываются названия отрезков (см. рис. 49), из которых складывается длина линии MN (см. вычисления линии MN).

В гр. 2 выписывается длина отрезков, составляющих линию MN , полученная непосредственно измерением по плану. Отрезки длиной в 40, 30 и 40, 10 м, составляющие ширину улиц, измерены графически.

Проектная ширина улицы равна 40 м. Следовательно, ширина улиц должна быть исправлена. Это видно из гр. 3, где общая длина линии стала 682,70, а в гр. 2 она составляла 683,10.

В гр. 4 общая длина линии получилась в результате вычислений

$$MN = \sqrt{(-387,8)^2 + (564,3)^2} = 684,70.$$

Сопоставление этой длины с указанной в гр. 3 дает невязку:

$$\Delta l = 682,7 - 684,7 = -2.$$

Эта невязка в гр. 3 распределяется пропорционально длинам отрезков, причем ширина улиц и проездов из общего протяжения выбрасывается: $241 + 201 + 160 = 602$. Для линии 1—2=241,00, поправка будет

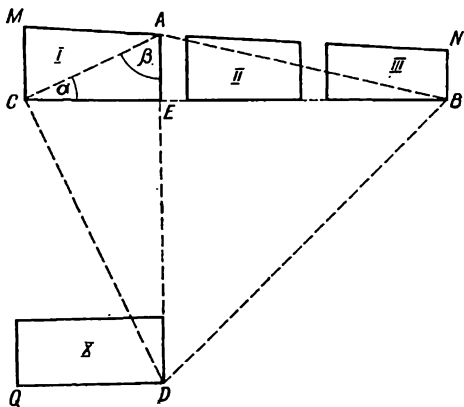
$$\frac{2,00}{602} \cdot 241 = 0,80.$$

Таким же путем вычисляется поправка и для других линий.

В гр. 4 выписываются уже окончательные (исправленные) длины, показанные в гр. 3.

В гр. 5 указываются дирекционные углы линий, которые для всех отрезков будут одинаковы.

По дирекционным углам и окончательно уравновешенным длинам вычисляются сначала приращения координат (гр. 6 и 7), а затем и координаты промежуточных точек (гр. 8 и 9). Таким же путем вычисляются координаты углов кварталов, расположенных на линиях NP , PQ и QM .



Координаты углов кварталов, находящихся внутри четырехугольника $MNPQ$, вычисляются также аналитическим путем по формулам аналитической геометрии, получаемым из решения задачи — определение координат пересечения двух прямых линий (в нашем случае — пересечение двух красных линий). Например, координаты угла 3 квартала I (см. рис. 49) могут быть получены из пересечения линий I_2-X_3 с линией I_4-III_3 . Известно, что уравнение прямой, проходящей через две точки, выражается формулой

Рис. 50. К определению координат точки E .

$$\frac{X - X_0}{X_1 - X_0} = \frac{Y - Y_0}{Y_1 - Y_0}.$$

Использование этой формулы к прямым I_2-X_3 и I_4-III_3 при числовых значениях (см. табл. 23) дает следующие уравнения:

$$\begin{aligned} 276,88x - 525,66y + 2602967,30 &= 0; \\ 601,61x - 316,85y - 4544730,88 &= 0. \end{aligned} \quad (75)$$

Эту же задачу можно решить при помощи тригонометрии. Предположим, (рис. 50) требуется определить координаты точки E . Координаты точки A , расположенной на линии MN , определены из решения предыдущего примера;

координаты точек C и D также известны, как лежащие на линиях MQ и QD . Следовательно, определение сводится к решению двух треугольников: CAE и CED . По координатам вершин этих треугольников определим дирекционные углы сторон:

$$\operatorname{tg}(AC) = \frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A}; \quad \operatorname{tg}(CB) = \frac{Y_B - Y_C}{X_B - X_C}.$$

По значениям азимутов (AC) , (CB) и (AD) находим углы β и α в треугольнике CAE . Сторона AC может быть вычислена по формуле

$$\overline{AC} = \frac{Y_C - Y_A}{\sin(AC)} = \frac{X_C - X_A}{\cos(AC)}. \quad (76)$$

Решая треугольник CAE по сторонам AC и углам α и β , получим стороны AE и CE . По дирекционным углам и длинам сторон AE и CE вычислим координаты точки E .

Для контроля вычислений можно решить треугольники DBE и CDE , предварительно определив в них значения углов и сторон. Из решения обоих треугольников получим значения стороны DE дважды.

Аналогичным путем могут быть вычислены все координаты вершин квадратов, находящихся внутри четырехугольника.

Приведем вычисления координат точки E двумя способами (см. рис. 50):

1) из совместного решения уравнений (75) будем иметь

$$X_E = 3872,13; \quad Y_E = 6991,32;$$

2) решение способом тригонометрии.

Из таблицы вычислений выписываем данные для решения:

Точки	X	Y		X	Y
A	3988,55	7052,69	C	3984,00	6778,97
B	3667,15	7380,58	D	3462,89	6775,81

Подставляя числовые значения координат в формулы

$$\operatorname{tg}(AC) = \frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A}; \quad \overline{AC} = \frac{Y_C - Y_A}{\sin(AC)} = \frac{X_C - X_A}{\cos(AC)};$$

$$\operatorname{tg}(BC) = \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B}; \quad \overline{BC} = \frac{Y_C - Y_B}{\sin(BC)} = \frac{X_C - X_B}{\cos(BC)};$$

$$\operatorname{tg}(AE) = \operatorname{tg}(AD) = \frac{Y_D - Y_A}{X_D - X_A};$$

$$\overline{AD} = \frac{Y_D - Y_A}{\sin(AD)} = \frac{X_D - X_A}{\cos(AD)}.$$

Найдем дирекционные углы линий и длину AC :

$$(AC) = 269^\circ 02' 52''; \quad (BC) = (EC) = 297^\circ 46' 14'';$$

$$(AD) = (AE) = 207^\circ 46' 38''; \quad \overline{AC} = 273,77.$$

Взяв разности дирекционных углов, найдем углы α и β (рис. 50):

$$\alpha = 297^\circ 46' 14'' - 269^\circ 02' 52'' = 28^\circ 43' 22'';$$

$$\beta = 269^\circ 02' 52'' - 207^\circ 46' 38'' = 61^\circ 16' 14''.$$

Стороны CE и AE получим из решения треугольника ACE :

$$\overline{CE} = \frac{\overline{AC} \cdot \sin \beta}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{273,77 \cdot 0,87690}{100\,000} = 240,07;$$

$$\overline{AE} = \frac{AC \cdot \sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{273,77 \cdot 0,48057}{100\,000} = 131,56.$$

Находим координаты точки E (см. рис. 50).

$$X_E = X_C + \overline{CE} \cos(CE) = 3984,00 - (240,07 \cdot 0,46593) = 3872,14;$$

$$Y_E = Y_C + \overline{CE} \sin(CE) = 6778,97 + (240,07 \cdot 0,88482) = 6991,36.$$

Решение способом тригонометрии, как видно, несколько сложнее решения по формулам аналитической геометрии. Все вычисления, связанные с геодезической подготовкой, выполняются в ведомостях, из которых необходимые данные выписываются в рабочую тетрадь, куда заносится и намеченная схема выноса проекта в натуру.

§ 22. Подготовка к перенесению проекта на местность

Строительные работы могут быть начаты лишь после того, как будет произведена геодезическая разбивка сооружения на местности, т. е. когда все основные точки, определяющие проектное положение сооружения в плане и по высоте, определены и закреплены на местности.

Перенесение проекта на местность выполняется в такой последовательности: разбивка основных осей сооружений;

устройство обноски, вынос на нее осей и закрепление их выносными створными знаками;

вынесение проектных отметок основных элементов сооружений и нулевых горизонтов;

разбивка отдельных элементов сооружений;

составление документации разбивочных работ;

текущее обслуживание строительно-монтажных работ.

Для разбивки сооружений на местности необходимо иметь исходные документы — рабочие чертежи, являющиеся последней стадией проектирования, на которых показаны оси, линейные расстояния между ними, ширина фундаментов, толщина стен, отметки заложения фундаментов, их обреза, отметки чистых полов верхнего этажа и междуэтажных перекрытий, оконных и дверных проемов, другие цифровые данные, устанавливающие взаимное расположение всех элементов сооружения в плане и по высоте.

Кроме того, необходимо иметь основной разбивочный чертеж, определяющий положение сооружения относительно вершин квадратов строительной координатной сетки или относительно пунктов имеющейся геодезической основы, а затем произвести геодезическую подготовку к разбивке.

Для разбивки можно воспользоваться рабочими планами разбивки основных осей, планами фундаментов и фундаментов под оборудование, поэтажными планами, чертежами вертикальных разрезов (котлованов, фундаментов, стен и т. д.).

Кроме того, необходимо иметь титульный лист проекта или другой документ, в котором сообщены: назначение, материал и этажность сооружения; плано-высотная привязка сооружения с указанием принятой системы координат и высот.

Обычно за начало счета высот (за нулевую отметку) принимают уровень чистого пола первого этажа. Обязательно должна быть указана абсолютная отметка нулевого горизонта, которая необходима для разбивки внешних сетей.

Для перенесения проекта сооружений на местность составляется план разбивочная схема, на которой показываются опорная геодезическая

сеть, контуры сооружений, все аналитические данные, необходимые для разбивки сооружений на местности, и размеры сооружений по основным внешним осям.

Полевая геодезическая подготовка к плановой разбивке сооружений заключается в получении аналитических данных, при помощи которых можно найти положение точек сооружения на местности. Следовательно, полевая геодезическая подготовка есть установление аналитической связи между точками геодезической опоры определяемыми и существующими на местности. Установление этой связи заключается в вычислении линейных величин Δx и Δy , откладываемых от пунктов и сторон строительной сетки при применении способа перпендикуляров, вычислении углов или длины линий между твердыми и определяемыми точками при способе угловых или линейных засечек, вычислении полярных направлений и расстояний при применении полярного способа.

Разбивка сооружений закрепляется обноской. На расстоянии примерно 2—3 м от крайних осей 1—1, 9—9, А—А, Ж—Ж (рис. 51) выставляют параллельно осям столбы, отстоящие друг от друга примерно на 3 м (рис. 52). Их закапывают в землю, а затем к ним с наружной стороны прибивают обрезные доски толщиной до 50 мм. Кромки досок располагают по уровню. Верхние концы столбов спиливают заподлицо с верхней кромкой досок. Если по условиям рельефа прибить доски горизонтально невозможно, то делают ступенчатые переходы. Причем между перепадами доски прибивают тоже горизонтально.

На готовую обноску выносят оси сооружения. Для этого устанавливают теодолит по створу 1—1, например в точку А/1 (см. рис. 51), а затем по створу А—А выставляют на крайней удаленной обноске гвоздь. В намеченном месте на доске забивают посередине прорези гвоздь, а на боковой поверхности доски пишут название оси. Затем переставляют теодолит в противоположный конец створа 1—1 и повторяют те же действия на противоположной стороне обноски.

Таким способом на обноску выносят две оси. Остальные оси находят, непосредственно откладывая расстояния по верхней кромке досок обноски. Эту разбивку делают стальной прокомпарированной лентой или рулеткой. Отклонения по длине и ширине 10 мм для размеров до 10 м и 30 мм для 100 м и более.

Для промежуточных размеров допускаемые отклонения определяются по интерполяции.

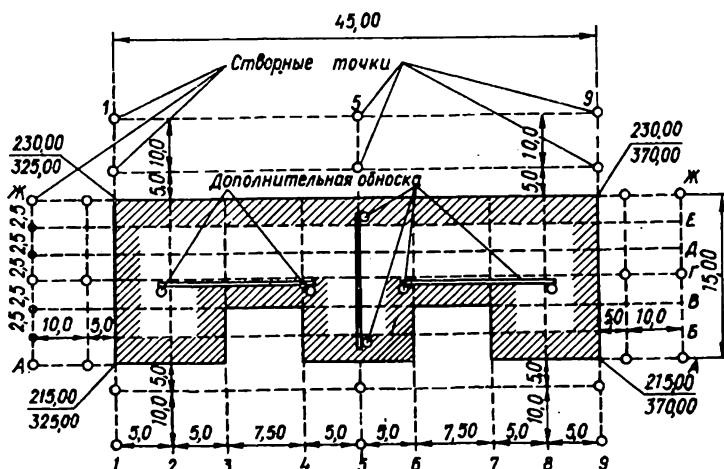


Рис. 51. Разбивочный чертеж сооружения.

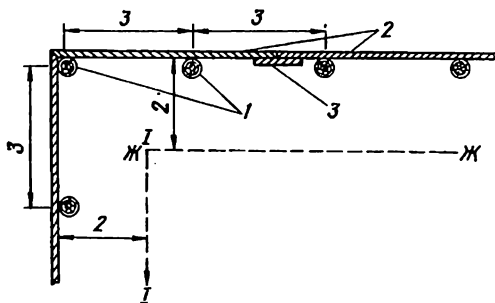


Рис. 52. Устройство обноски:

- 1 — деревянные столбы;
2 — обрезные доски ($d=50$ мм);
3 — накладка.

Если сооружение по своим размерам достаточно велико, то одной наружной обноски недостаточно. В этом случае устанавливается дополнительная внутренняя обноска (см. рис. 51).

В связи с возрастающей механизацией строительства и применением сборных конструкций, в том числе крупнопанельных, роль обноски снижается и весьма часто она служит лишь для разбивки осей. Геодезист, ведущий разбивку сооружений, должен обеспечить сохранение разбитых осей на все время строительства.

В этих целях разбитые по обноске основные строительные оси, например, 1—1, 9—9, 5—5, Ж—Ж, Г—Г и А—А (см. рис. 51), одновременно с выносом на обноску, закрепляют створными знаками. Сущность створного закрепления заключается в следующем: в некотором удалении от обноски (5—15 м) заранее выбираются полосы земельного участка параллельно сторонам обноски.

Одновременно с выносной осью на обноску, створы намеченных к закреплению осей продолжают за линией обноски и закрепляют четырьмя прочными грунтовыми знаками, по два на конце каждого створа.

После разбивки основных осей приступают к разбивке отдельных элементов сооружения, например, фундаментов колонн, фундаментов под оборудование и т. д.

§ 23. Проект строительной координатной сетки

Для перенесения проекта промышленного сооружения в натуру строят частную систему прямоугольных координат. Чтобы упростить расчет координат точек проекта и создать наиболее простые условия разбивки сооружений на местности, направление координатных осей этой частной системы принимают параллельным направлению главных и основных осей сооружений.

Начало частной системы выбирается за пределами площадки с таким расчетом, чтобы имелась возможность выразить положение всех точек сооружений только положительными значениями абсцисс и ординат.

При рабочем проектировании в этой системе задают прямоугольные координаты всех исходных точек проекта.

Для ускорения разбивочных работ, повышения их точности на местности строят сетку квадратов или прямоугольников, вершины которых закреплены постоянными бетонными знаками. Так построенная и закрепленная на местности система геодезических пунктов называется опорной разбивочной или строительной сеткой.

Помимо обеспечения разбивок, строительная сетка служит геодезической основой для съемки площадки в масштабе 1 : 500 на стадии рабочего проектирования и для исполнительных съемок построенных сооружений.

По своей точности строительная сеть, как опорная разбивочная, должна удовлетворять требованиям точности перенесения в натуру исходных осей сооружений, а как съемочная основа — требованиям съемки масштаба 1 : 500.

Для обеспечения необходимой точности разбивки исходных осей сооружений, ошибки во взаимном положении соседних пунктов строительной сетки со сторонами 200 м не должны превышать в среднем ± 2 см, т. е. составлять не больше 1 : 10 000, а прямые углы сетки должны быть построены с точностью $\pm 20''$.

Строительная сетка состоит из основных и дополнительных фигур. Вершины основных фигур (квадратов или прямоугольников) выбираются так, чтобы их положение не было нарушено в процессе строительства.

Длина сторон основных фигур принимается от 50 до 200 м, а дополнительных — до 20.

Используется строительная сетка для проектирования генерального плана промышленных и гражданских сооружений, решения задач горизонтальной и вертикальной планировки площадки, переноса в натуру основных осей сооружений, исполнения детальных геодезических разбивочных работ, производства геодезических контрольных наблюдений при возведении сооружений и выполнения исполнительной съемки.

Строительная сетка, совмещенная с нивелирной, обеспечивает решение всех этих задач значительно проще и быстрее, чем при других видах плановой и высотной геодезической основы. Она может быть создана на различных стадиях проектирования.

Рационально выполнять разбивку строительной сетки после разработки технического проекта.

Тогда она будет служить удобной геодезической основой крупномасштабной съемки, необходимой для разработки рабочих чертежей.

При относительно небольшом строительстве сетка рассчитывается от предварительно развитой геодезической основы.

В крупном строительстве, когда должна быть установлена точная взаимосвязь между всеми сооружениями, подходами к площадке и т. д., когда отдельные сооружения размещаются на нескольких смежных квадратах, вершины такой сетки должны быть рассчитаны, уравновешены и вынесены в натуру с максимально возможной точностью, соответствующей точности выноса основных осей сооружений.

Созданию строительной сетки должно предшествовать ознакомление с техническими проектами воздвигаемых сооружений, рабочими чертежами, проектом организации строительных работ и топографическим планом строительной площадки. В результате ознакомления намечается схема построения строительной сетки.

Пункты сетки необходимо размещать в местах, где им обеспечена максимальная сохранность.

Стороны сетки располагают параллельно основным осям проектируемых к строительству сооружений.

Конфигурация строительной сетки, количество пунктов, размер квадратов или прямоугольников зависят от взаимного расположения запроектированных сооружений и топографических условий строительной площадки.

Желательно, чтобы по всем сторонам сетки можно было непосредственно производить линейные измерения.

Проектирование строительной сетки начинают с нанесения на топографический план площадки продольной оси проектируемого сооружения, которая принимается за одну из главных осей сетки.

Перпендикулярно к ней в средней части площадки располагают вторую главную ось. Положение главных осей определяется координатами точек пересечения их с прямыми линиями, соединяющими пункты главной геодезической основы (рис. 53). Для определения координат точек A и B первой главной оси графически на плане определим отрезки l_1 и l_2 .

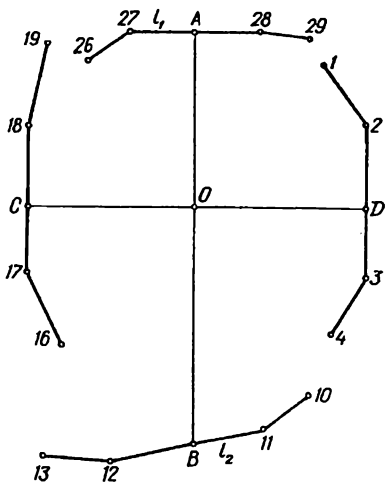


Рис. 53. Определение координат главных осей строительной сетки.

Очевидно,

$$\begin{aligned} X_A &= X_{27} + l_1 \cos(27 - 28); & X_B &= X_{11} + l_2 \cos(11 - 12); \\ Y_A &= Y_{27} + l_1 \sin(27 - 28); & Y_B &= Y_{11} + l_2 \sin(11 - 12). \end{aligned} \quad (77)$$

Для определения второй главной оси CD графически на плане определим отрезок $C-17$, т. е. l_3 , и найдем координаты точки C .

$$X_C = X_{17} + l_3 \cos(17 - 18); \quad Y_C = Y_{17} + l_3 \sin(17 - 18). \quad (78)$$

Вторая главная ось представляет собой перпендикуляр, опущенный из точки C на прямую AB .

Уравнение первой главной оси сетки

$$Y - Y_A = \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} (X - X_A). \quad (79)$$

Уравнение второй главной оси

$$Y - Y_C = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A} (X - X_C). \quad (80)$$

Координаты точки O пересечения главных осей определяются в результате совместного решения уравнений этих осей;

$$X_0 = \frac{X_A + k^2 X_C + k(Y_A - Y_C)}{1 + k^2}; \quad (81)$$

$$Y_0 = \frac{Y_C + k^2 Y_A + k(X_A - X_C)}{1 + k^2}. \quad (82)$$

где $k = \frac{X_B - X_A}{Y_B - Y_A}$.

Для определения координат точки D составим уравнение прямой 2—3 (см. рис. 53).

$$Y_D - Y_2 = \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2} (X_D - X_2). \quad (83)$$

Решая совместно уравнения прямых 2—3 и второй главной оси, получим:

$$\begin{aligned} X_D &= \frac{Y_2 - Y_C + kX_C - k_1 X_2}{k - k_1}; \\ Y_D &= \frac{kY_2 - k_1 Y_C + k k_1 (X_C - X_D)}{k - k_1}, \end{aligned} \quad (84)$$

где $k_1 = \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2}$.

Проектирование всех остальных линий строительной сетки может быть выполнено либо аналитически, либо графически. Аналитическим способом находят координаты точек пересечения линий строительной сетки с линиями, соединяющими пункты геодезической основы между собой. Далее, решая обратные геодезические задачи, находят длины отрезков, необходимые для переноса в натуру линий строительной сетки.

Графическое проектирование линий строительной сетки заключается в том, что вдоль построенных главных осей сетки откладывают заданные стороны квадратов сетки. Через полученные точки проводят линии параллельные главным осям. Пользуясь поперечным масштабом, измеряют длины отрезков,

необходимых для переноса в натуру линий строительной сетки. Опыт показывает, что графическое проектирование строительной сетки на топографическом плане, составленном в масштабе 1 : 500, позволяет определить координаты вершин сетки со средней квадратической ошибкой $\pm 10\text{—}12\text{ см}$; некоторое повышение точности достигается тогда, когда помимо главных осей аналитическим путем рассчитывается положение каждой второй-четвертой линии строительной сетки.

Проектирование строительной сетки и последующий перенос ее в натуру могут быть заменены непосредственно разбивкой сетки на местности (в случае открытой строительной площадки).

При проектировании сетки и переносе в натуру, а также в случае разбивки ее непосредственно на местности соблюдается принцип перехода от общего к частному. В первую очередь определяется положение вершин больших (основных), а затем малых (дополнительных) квадратов.

В процессе проектирования и переноса сетки в натуру или непосредственной разбивки ее на местности все действия необходимо контролировать. Предварительно построенная, она используется только для разбивки земляных работ и временных сооружений.

Создание строительной сетки, необходимой для переноса осей в натуру, производится путем прокладки по линиям сетки полигонометрических ходов и введения поправок в положения вершин предварительно построенной сетки.

§ 24. Горизонтальная планировка территории строительства

Горизонтальная планировка территории выполняется на генеральном плане строительства, который представляет собой крупномасштабный топографический план с изображением всего комплекса наземных, надземных и подземных сооружений проектируемого объекта.

В зависимости от того, являются ли изображенные сооружения проектными или построенными в натуре, различают проектный или исполнительный генеральные планы. На проектный генеральный план (например, промышленного предприятия) наносят все постоянные сооружения проекта: промышленные и административно-хозяйственные здания, эстакады и фундаменты под отдельно стоящие агрегаты и емкости, дорожные сети, подземные коммуникации, надземные трубопроводы и т. д. с указанием основных отметок и с привязкой к геодезической основе (рис. 54).

Отдельным видом горизонтальной планировки территории является строительный генеральный план, на котором дается проект размещения временных подсобных предприятий и сооружений, необходимых для успешного строительства постоянных объектов.

Сюда относятся также временные жилищные поселки, складские помещения и площадки, строительные и арматурные дворы, временные автобазы, механические и бетонные заводы, карьерное хозяйство, временные подъездные дороги, водопроводы, линии электропередачи и связи и т. д. (рис. 55).

Строительный генеральный план увязывают с генеральным планом предприятия.

Временные сооружения и подсобные предприятия размещают так, чтобы они не мешали возведению постоянных объектов.

В зависимости от размеров и типа предприятия, а также принятых методов проектирования, генеральный план составляют в масштабе 1 : 500 на все площадки, или общий план в масштабе 1 : 1000, а на отдельные сложные объекты дополнительно изготавливают детальные генеральные планы в масштабе 1 : 200—1 : 500.

Проектный генеральный план разрабатывается и уточняется на всех стадиях проектирования. Он является основным документом для перенесения проекта предприятия в натуру. Исполнительный генеральный план составляют в результате исполнительных съемок законченных строительством постоянных и временных сооружений. В отличие от проектного, на котором здания наносятся

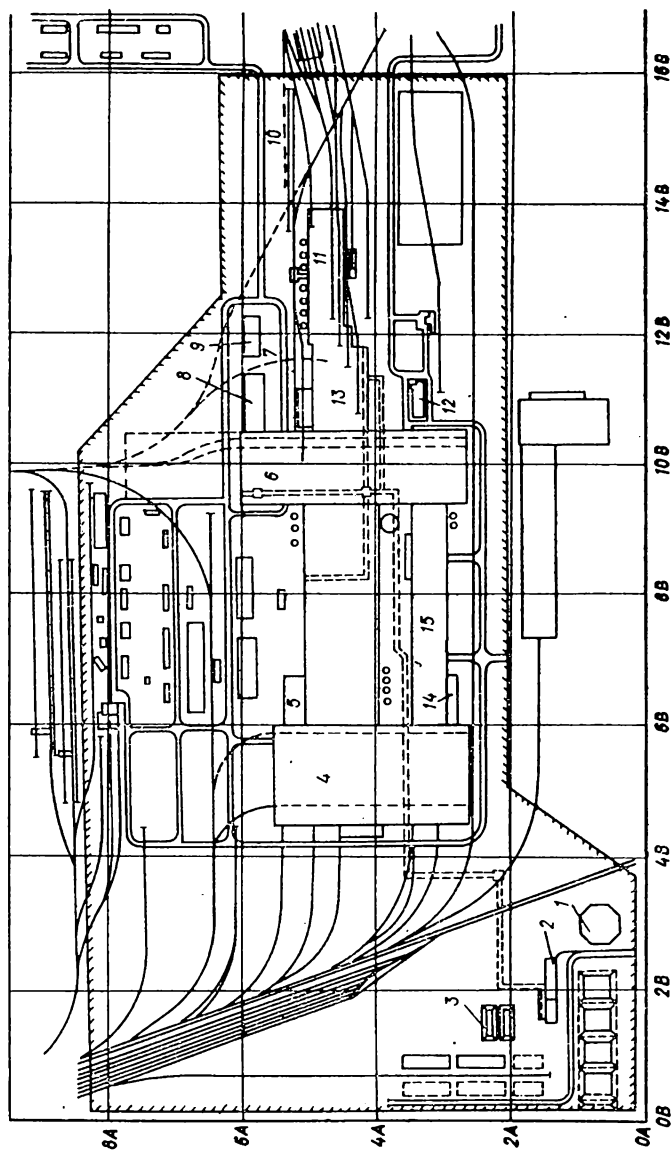


Рис. 54. Генеральный план завода (проектный):

1 — градирия; 2 — насосная станция; 3 — отстойники; 4 — склад готовой продукции; 5 — травильная отделка № 2; стан; 6 — распределительные пролеты; 7 — механические мастерские; 8 — травильная отделка № 1; 9 — купоросное отделение; 10 — склад слитков; 11 — нагревательные колодцы; 12 — бытовые блюминги; 13 — блюминг; 14 — бытовое стана; 15 — стан.

по осям стен, а инженерные сети — по продольным осям, на исполнительном генеральном плане показывают существующие площадки, занимаемые зданиями и сооружениями со всеми выступами, отстойками, кюветами и т. д.

Исполнительные генеральные планы бывают текущие и окончательные. Текущий ведется с начала ведения работ и отражает весь ход строительства постоянных, вспомогательных и временных зданий и сооружений. Он служит основой для решения многих вопросов, возникающих в процессе строительства: организации противопоаводковых мероприятий, размещения ряда временных построек, уточнения проектного генерального плана с учетом тех изменений, которые выявились при возведении части сооружений в натуре и т. д.

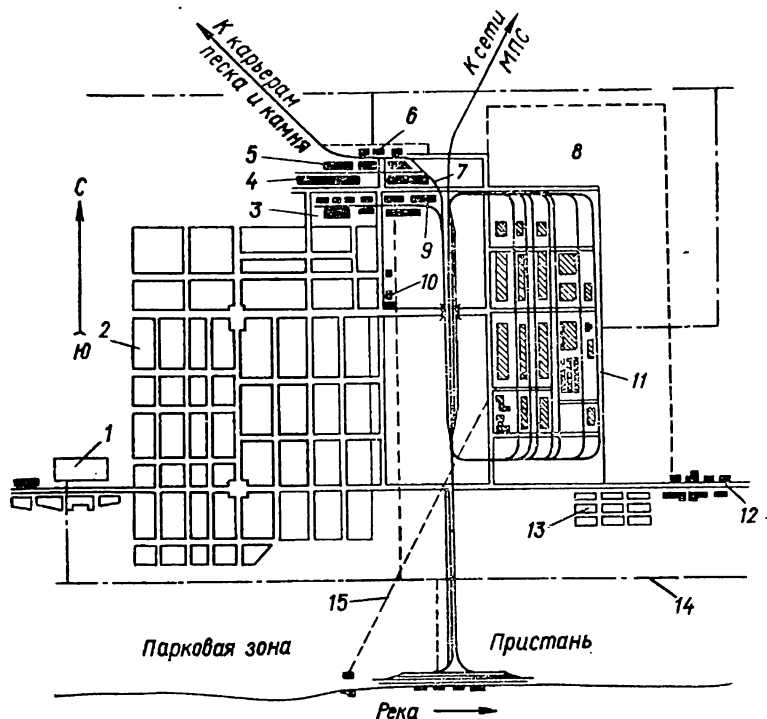


Рис. 55. Строительный генеральный план:

1 — кирпичный завод; 2 — жилой городок; 3 — мастерские; 4 — деревообделочный комбинат, арматурный двор; 5 — заводы (бетонный, железобетонных изделий, растворный); 6 — склады инертных материалов; 7 — гараж, машино-прокатная база; 8 — территория для расширения завода; 9 — складские помещения; 10 — конторы, столовая; 11 — завод; 12 — село; 13 — поселок строителей; 14 — временная ЛЭП; 15 — временный водопровод.

Особо важное значение имеет текущий генеральный план для строительства подземных коммуникаций. Только при наличии уже готовых коммуникаций можно правильно организовать работу механизмов и принять меры предосторожности, чтобы во время рытья новых траншей не задеть и не повредить уже построенные сети.

Текущий генеральный план составляют в условной (строительной) системе координат в масштабе 1 : 1000 или 1 : 2000 в зависимости от размеров площадки и сложности сооружений.

На план наносят: рельеф местности и ситуацию, существовавшую до начала строительных работ; все плановые и высотные геодезические знаки, координат-

ную сетку; все начатые строительством и законченные постоянные и временные постройки, дороги, подземные коммуникации, воздушные линии, ограждения и др.

Текущий генеральный план составляют по материалам съемки местности, исполнительным чертежам разбивок и съемок готовых сооружений.

Для составления дежурных планов крупных строек целесообразно применять аэрофотосъемку, которую производят периодически в масштабе порядка 1 : 3000. По снимкам, в зависимости от требуемой точности, составляют фото-планы или схемы в масштабе 1 : 2000 и 1 : 5000, дающие наиболее полное и наглядное представление о ходе строительных работ.

При этом на площадке имеется столь густая сеть контуров с известными координатами, что для трансформирования аэроснимков лишь в редких случаях возникает необходимость в развитии фототриангуляции или в дополнительном определении на местности координат опознавательных знаков.

Окончательный исполнительный генеральный план составляют по завершении строительства. На него наносят все наземные постройки, подземные и надземные инженерные сети со всеми относящимися к ним сооружениями, подлежащими сдаче в эксплуатацию.

План составляется на основании материалов исполнительных съемок, производимых по мере возведения объектов.

В отдельных случаях в процессе строительства геодезическим подразделением приходится составлять рабочий генеральный план.

Необходимость в таком плане возникает тогда, когда на стадии рабочего проекта еще не разработан сводный генеральный план. Для правильной же организации разбивочных работ и контроля за их выполнением, для надежной установки знаков крепления осей в местах, где не будут производиться строительные работы, необходимо иметь совмещенный генеральный план всех строящихся сооружений.

Такой генеральный план используют одновременно и как текущий исполнительный для фиксирования на нем всех строящихся и законченных сооружений.

Рабочий генеральный план строят в масштабе 1 : 500 или 1 : 1000, в зависимости от сложности предприятия и насыщенности его инженерными сетями.

Рабочий план имеет очень большую цифровую нагрузку, что дает возможность, с одной стороны, до некоторой степени контролировать правильность проектных данных (не налагается ли одно сооружение на другое, не пересекаются ли трубопроводы в одном уровне и т. д.) и, с другой стороны, использовать этот план для составления разбивочных чертежей.

По мере поступления проектной документации рабочий генеральный план дополняют новыми зданиями и сооружениями, а те из них, строительство которых начато, поднимаются тушью, тонкими линиями. Положение оконченного объекта на плане уточняют по данным исполнительной съемки и вычерчивают тушью принятым цветным условным знаком.

Одновременно тушью выписывают исполнительные координаты углов и других характерных точек сооружений.

На рабочий план по разбивочным чертежам наносят также все временные сооружения. После того, как эти сооружения разберут, их удаляют с плана.

Следовательно, горизонтальная планировка выполняется на рабочем генеральном плане в карандаше, т. е. этот план является одновременно и проектным генеральным и текущим исполнительным.

§ 25. Вертикальная планировка территории строительства

С точки зрения геометрии вертикальная планировка представляет собой преобразование одной топографической поверхности в другую, что выполняется в соответствии с задачами того или иного строительства.

Это преобразование осуществляется не на всей территории, а лишь на той части ее, которая не удовлетворяет тем или иным строительным требованиям.

Все геодезические расчеты, сопутствующие составлению проекта вертикальной планировки, сводятся главным образом к определению рабочих отметок создаваемых насыпей и выемок. Например, преобразование существующего рельефа земной поверхности в горизонтальную площадку, отметка H_0 которой задана, заключается в отыскании разностей между красной отметкой H_0 и черными отметками определенного ряда точек земной поверхности.

Для открытой, незастроенной местности такими точками являются вершины нивелирной сетки квадратов. Часто при вертикальной планировке стремятся соблюсти условие баланса земляных работ, заключающееся в равенстве объемов насыпи и выемки.

Допустим, что на продольном профиле из точки A необходимо построить ось трассы AB так, чтобы объем насыпи был равен объему выемки (рис. 56).

Проектная (красная) отметка H_A точки A известна. Требуется найти проектную (красную) отметку H_B точки B .

Если предположить, что поперечный уклон земной поверхности по трассе сооружения равен нулю, то объемы насыпей и выемок можно считать прямо пропорциональными площадями фигур, образованных проектной линией и линией земной поверхности (черной линией). Поэтому для соблюдения баланса земных работ достаточно, чтобы площади S_B и S_H были бы одинаковыми. Площадь S_B будет равна площади S_H при условии равенства между собой площадей $1, 2, 3, 4, 5, 6, 6', 1'$ и $A B 6' 1'$.

Площадь фигуры $1, 2, 3, 4, 5, 6, 6', 1'$, обозначаемая через S , определяется как сумма площадей трапеций $1, 2, 2', 1'$; $2, 3, 3', 2'$ и т. д.

Площадь каждой такой трапеции определяют по черным отметкам H_1, H_2, H_3, H_4, H_5 и H_6 точек $1, 2, 3, 4, 5$ и 6 и расстояниям $l_{1-2}, l_{2-3}, l_{3-4}, l_{4-5}$ и l_{5-6} между ними. Площадь фигуры $AB 6' 1'$ выражается через красные отметки H_A и H_B точек A и B и через расстояние L между ними. При этом должно быть соблюдено равенство:

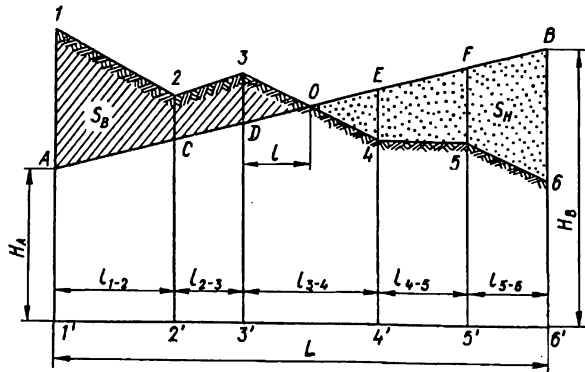


Рис. 56. К определению рабочих отметок на профиле.

$$0,5(H_A + H_B) = S.$$

Отсюда искомая красная отметка будет

$$H_B = \frac{2S}{L} - H_A.$$

Уклон линии AB

$$i = \frac{H_B - H_A}{L}.$$

Красные отметки точек C, D, E и F будут:

$$H_C = H_A + i_{1-2}; \quad H_D = H_C + i_{2-3};$$

$$H_E = H_D + i_{3-4}; \quad H_F = H_E + i_{4-5}.$$

С целью контроля находим

$$H_B = H_F + i_{5-6}.$$

Рабочие отметки в точках 1, 2, 3, 4, 5 и 6 будут:

$$h_1 = H_A - H_1; \quad h_2 = H_C - H_2; \quad h_3 = H_D - H_3; \quad h_4 = H_E - H_4;$$

$$h_5 = H_F - H_5; \quad h_6 = H_B - H_6.$$

Положение точки O нулевых земляных работ характеризуется отрезком l (см. рис. 56). Этот отрезок называется синей отметкой.

Определяется синяя отметка по формуле

$$\frac{l}{l_{3-4} - l} = \frac{h_3}{h_4},$$

откуда

$$l = \frac{h_3 l_{3-4}}{h_3 + h_4}. \quad (87)$$

Рассмотрим пример построения горизонтальной площадки, отметка которой $H_0 = 120,21$ м (рис. 57).

На этом рисунке у вершины каждого квадрата нивелирной сетки подписаны черная, красная и рабочая отметки, а также номер вершины квадрата сетки. По рабочим отметкам вычисляют объем земляных работ и переносят в натуру проект вертикальной планировки.

Для решения этих задач, кроме того, определяют положение нулевых точек по всем сторонам нивелирной сетки.

Синяя отметка, определяющая положение точки нулевых земляных работ, может быть вычислена по формуле (87). При стороне квадрата нивелирной

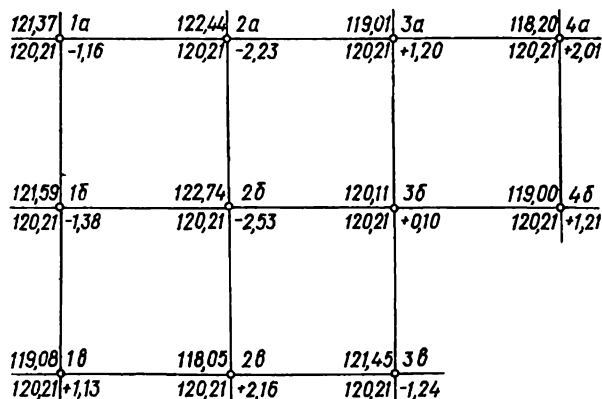


Рис. 57. Проектирование горизонтальной площадки, отметка которой задана.

сетки, равной 20 м, нулевая точка на стороне 2а—3а будет находиться от точки 2а на расстоянии

$$l = \frac{2,23 \cdot 20,00}{2,23 + 1,20} = 13,00 \text{ м.}$$

Длину отрезка l можно найти путем графических построений на нивелирном плане (рис. 58). Для этого вдоль сторон сетки достаточно отложить в разных направлениях, но в одном и том же масштабе, рабочие отметки $+2,23$ и $-1,20$.

Точка пересечения прямой, соединяющей вершины построенных перпендикуляров со стороны сетки, укажет положение нуля земляных работ.

Соединяя смежные точки этих работ, получают положение линии нулевых земляных работ. Графическое изображение на плане расположения насыпей и выемок называется картограммой земляных работ.

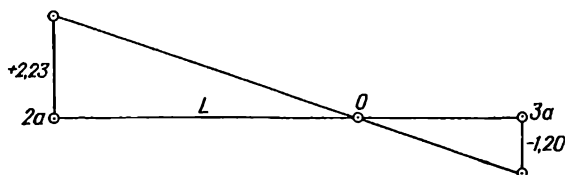


Рис. 58. Графический способ определения точки нулевых земляных работ.

Более детальное представление о распределении насыпей и выемок, об их характере дают линии, соединяющие точки с одинаковыми рабочими отметками (изорабы). Положение изораб на сторонах нивелирной сетки находят путем графического интерполирования.

Пример построения изораб через $0,5$ м приведен на рис. 59.

Объем земляных работ при составлении проекта вертикальной планировки может быть подсчитан различными способами. При наличии нивелирной сети квадратов объем земляных работ определяют по рабочим h_1 , h_2 , h_3 и h_4 вершинам каждого квадрата сетки.

Если эти рабочие отметки имеют один и тот же знак, то объем V насыпи или выемки в пределах квадрата нивелирной сетки находят по формуле

$$V = 0,25l^2 (h_1 + h_2 + h_3 + h_4). \quad (88)$$

Квадраты нивелирной сетки, вершины которых имеют рабочие отметки различных знаков, называются переходными (рис. 60).

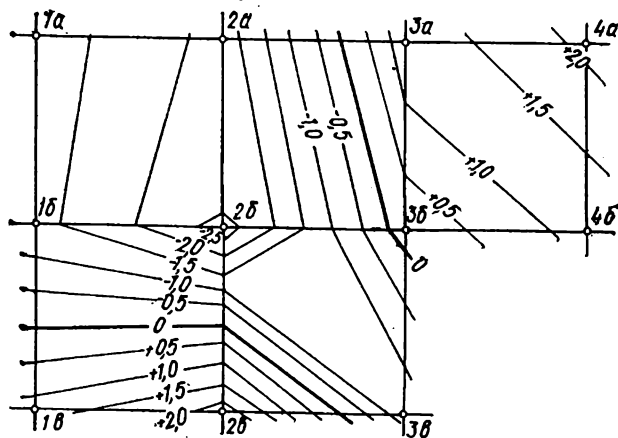


Рис. 59. Изорабы.

Для определения объема земляных работ переходный квадрат расчленяют на элементарные фигуры, чаще всего треугольники.

Объемы насыпей и выемок подсчитывают отдельно по рабочим отметкам вершин этих элементарных фигур.

При разбивке на элементарные фигуры предварительно строят линию нулевых земляных работ. Объем насыпи или выемки по отметкам h_1 , h_2 и h_3 вершин треугольника вычисляют по формуле

$$V = \frac{1}{3} F (h_1 + h_2 + h_3), \quad (89)$$

где F — площадь треугольника.

Например, объем насыпи и выемки в переходном квадрате 1б—2б—2в—1в (см. рис. 60) будет:

$$V_{\text{выемки}} = \frac{108}{3} (1,38 + 2,53) + \frac{110}{3} \cdot 1,38 = 191 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{насыпи}} = \frac{90}{3} 1,13 + \frac{92}{3} (1,13 + 2,16) = 135 \text{ м}^3.$$

Все приведенные рассуждения относятся к случаю, когда проектируется горизонтальная площадка, отметка H_0 которой задана.

Такая красная отметка может быть обусловлена многими соображениями. Часто горизонтальную площадку проектируют с соблюдением условия баланса земляных работ. Тогда красная отметка

$$H_0 = H + \frac{V_0}{F_0}, \quad (90)$$

где V_0 — объем земляного тела в пределах планируемой территории, расположенного над горизонтальной плоскостью, отметка которой равна H ;

F_0 — площадь планируемой территории.

Отметка принимается обычно равной минимальной черной отметке в пределах планируемой территории. Например, для строительной площадки, представленной на рис. 57,

$H = 118,05$. Объем V_0 определяется по условным отметкам вершин квадратов нивелирной сетки, каждая из которых представляет собой разность между черной отметкой $H_{\text{черн}}$ и отметкой H некоторой исходной горизонтальной плоскости, т. е.

$$h' = H_{\text{черн}} - H. \quad (91)$$

Объем земляного тела в пределах одного квадрата нивелирной сетки, условные отметки вершин которого составляют h'_1 , h'_2 , h'_3 , h'_4 , вычисляется по формуле

$$V = 0,25 l^2 (h'_1 + h'_2 + h'_3 + h'_4). \quad (92)$$

Общий объем земляного тела будет

$$V_0 = \sum_1^n V_1, \quad (93)$$

где n — число квадратов нивелирной сетки.

Этот же объем может быть найден по формуле

$$V = 0,25 l^2 (\Sigma h'_1 + 2 \Sigma h'_2 + 3 \Sigma h'_3 + 4 \Sigma h'_4), \quad (94)$$

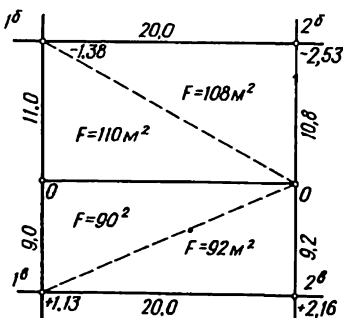


Рис. 60. Переходный квадрат.

где $\Sigma h'_1$ — сумма условных отметок вершин квадратов, общих с другими квадратами;

$\Sigma h'_2$ — то же, общих для двух квадратов;

$\Sigma h'_3$ — » общих для четырех квадратов.

$\Sigma h'_4$ — » общих для четырех квадратов.

Вычисление объема V_0 земляного тела для случая, представленного на рис. 61, приведено в табл. 24.

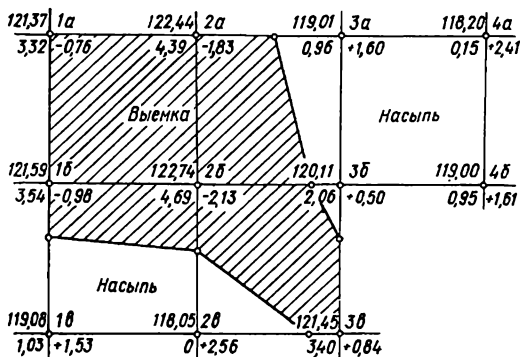


Рис. 61. Проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ.

Т а б л и ц а 24

Вычисление объема земляного тела и отметки H

Вершина	Условные отметки				$\Sigma h'_1 = 8,85$ $\Sigma h'_2 = 17,38$ $3\Sigma h'_3 = 6,18$ $4\Sigma h'_4 = 18,76$	$l = 20$ $l^2 = 400$
	h'_1	h'_2	h'_3	h'_4		
1а	3,32				$\sigma = 51,17$ $h = 5$	$0,25l^2 = 100$ $V = 0,25l^2\sigma = 5117 \text{ м}^3$ $F_0 = nl^2 = 2000 \text{ м}^2$
2а		4,39				
3а		0,96				
4а	0,15					
1б		3,54			$H = 118 \cdot 0,5 \frac{V_0}{F_0} = 2,56$	$H_0 = H + \frac{V_0}{F_0} = 120,61$
2б				4,69		
3б				2,06		
4б	0,95					
1в	1,03					
2в		0				
3в	3,40					
Σ	8,85	8,89	2,06	4,69		

На рис. 61 показано проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ; у каждой вершины квадрата нивелирной сетки подписаны черные, условные и рабочие отметки, а также номер вершины сетки. Несколько сложнее проектировать наклонную площадку. Ее положение чаще всего задается красной отметкой H_0 определенной точки, направлением (дирекционным углом α_0) и величиной i_0 наибольшего уклона.

Зная α_0 и i_0 можно найти уклон i по любому другому направлению, взятому на наклонной площадке. Если дирекционный угол этого другого направления составляет α , то уклон вдоль него будет

$$i = i_0 \cos (\alpha - \alpha_0). \quad (95)$$

Таким образом, по красной отметке H_0 известной точки O , α_0 и i_0 можно найти красные отметки любых других точек проектируемой наклонной площадки. Например, для точки A , дирекционный угол направления на которую, α , красная отметка вычисляется по формуле

$$H = H_0 + l i = H_0 + l i_0 \cos (\alpha - \alpha_0), \quad (96)$$

где $l = OA$.

При $H_0 = 120,27$, $\alpha_0 = 30^\circ$ и $i_0 = +0,10$

для систем точек, указанных на рис. 62, вычисление красных и рабочих отметок приведено в табл. 25.

Дирекционные углы α и расстояния l определяют либо аналитически — путем решения обратной геодезической задачи, либо графически — по топографическому плану. При этом у каждой точки подписаны номер, черная, красная и рабочая отметки.

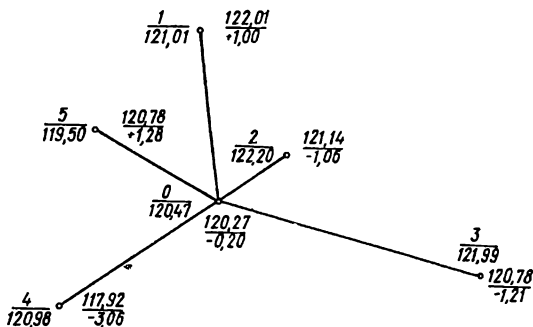


Рис. 62. К вычислению красных и рабочих отметок проектируемой наклонной площадки.

Т а б л и ц а 25

Вычисление красных и рабочих отметок

№ точки	α	$\alpha - \alpha_0$	$\cos (\alpha - \alpha_0)$	$i \cos (\alpha - \alpha_0)$	l	$li \cos (\alpha - \alpha_0)$	Отметки		рабочие
							красные	черные	
1	0	-30°	+0,866	+0,087	20	+1,74	122,01	121,01	+1,00
2	60	$+30^\circ$	+0,866	+0,087	10	+0,87	121,14	122,20	-1,06
3	110	$+80^\circ$	+0,174	+0,017	30	+0,51	120,78	121,99	-1,21
4	230	$+200^\circ$	+0,940	-0,094	25	-2,35	117,92	120,98	-3,06
5	320	$+290^\circ$	+0,342	+0,034	15	+0,51	120,78	119,50	+1,28

Для практических целей достаточно точно эта задача может быть решена графически. Для этого из точки O прочерчивают направление под дирекционным углом α . По этому направлению в определенном масштабе откладывают величину i_0 .

Ортогональные проекции отрезка i_0 на направления 01, 02, 03, 04 и 05 покажут уклоны i проектируемой наклонной площадки вдоль этих направлений.

Величины i выражают в том же масштабе, в котором построен отрезок i_0 . В дальнейшем находят произведения уклонов i на расстояния l , красные и рабочие отметки точек 1, 2, 3, 4 и 5.

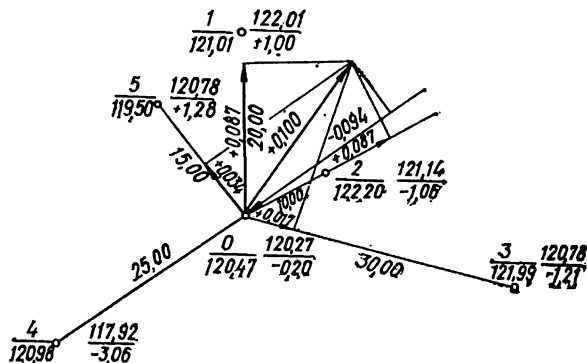


Рис. 63. Графический способ вычисления красных отметок проектируемой наклонной площадки.

Графический способ решения задачи приведен на рис. 63. При наличии нивелирной сетки квадратов проектированию наклонной площадки предшествует определение уклонов i_x и i_y по осям X и Y сетки. Эти величины находят по формулам

$$i_x = i_0 \cos \alpha_0 \text{ и } i_y = i_0 \sin \alpha_0.$$

Если сторона квадрата равна l , то превышения по сторонам квадратов будут

$$h_x = li_x \text{ и } h_y = li_y. \quad (97)$$

На рис. 64 показано проектирование наклонной площадки для случая, когда красная отметка H_0 точки 26 равняется 120,00; $\alpha_0 = 30^\circ$; $i = +0,10$. При $l = 20$ м получим

$$i_x = +0,087; \quad i_y = +0,050; \quad h_x = +1,74; \quad h_y = +1,00.$$

На рис. 64 запроектированная наклонная площадка изображена красными горизонталями. Высота сечения 0,5 м.

Составление картограммы и подсчет объема земляных работ здесь производится так же, как и при проектировании горизонтальной площадки. Для построения линий одинаковых рабочих отметок можно воспользоваться системой горизонталей, изображающей естественный и проектируемый рельеф. Нулевая линия рабочих отметок соединяет точки пересечения одноименных черных и красных горизонталей.

При проектировании наклонной площадки часто ставится условие соблюдения баланса земляных работ. В этом случае красную отметку H_0 центра тяжести проектируемой наклонной площадки вычисляют по формуле

$$H_0 = H + \frac{V_0}{F_0}. \quad (98)$$

Остальные расчеты и построения выполняют аналогично случаю проектирования наклонной площадки по заданным значениям H_0 , a_0 и i_0 .

Центр тяжести планируемой территории определяют аналитически или графически (рис. 65).

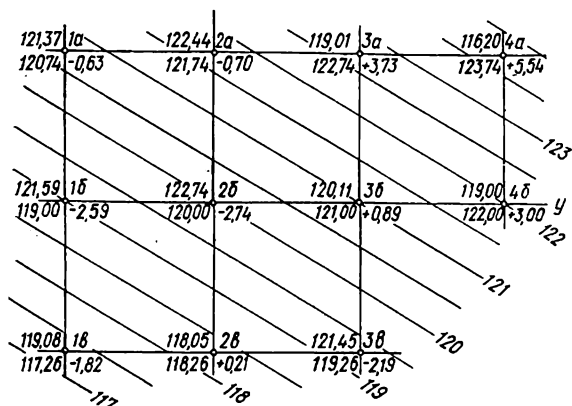


Рис. 64. Проектирование наклонной площадки при заданных значениях.

Находят центры тяжести O_1 и O_2 фигур $1a-3a-3b-1b$ и $3a-4a-4b-3b$. Затем определяют центры тяжести O_3 и O_4 фигур $1a-4a-4b-1b$ и $1b-3b-3a-1a$.

Центр тяжести планируемой территории представляет собой точку пересечения прямых O_1O_2 и O_3O_4 .

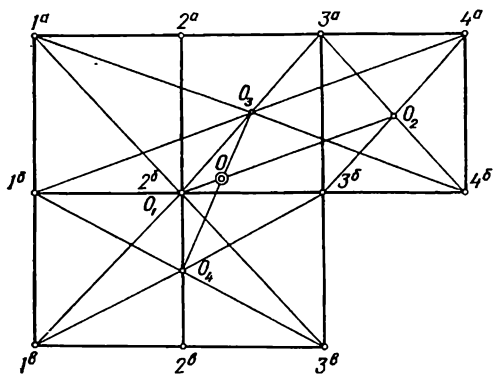


Рис. 65. Графическое определение центра тяжести планируемой территории.

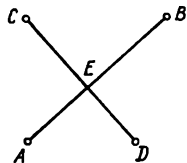


Рис. 66. Схема переноса в натуру проекта небольшой наклонной площадки путем одной установки нивелира.

При перенесении в натуру проекта вертикальной планировки небольшой площадки, оформляемой одной проектной плоскостью, можно пользоваться наклонным лучом нивелира. Для этого в середине планируемого участка устанавливают нивелир так, чтобы ось вращения инструмента была перпендикулярна к запроектированной оформляющей плоскости. В середине участка разбивают две взаимно перпендикулярные линии AB и CD так, чтобы линия AB совпадала с направлением наибольшего уклона проектной плоскости. В точках A , B и C при помощи нивелира устанавливают колышки; торцы кольев располагают на проектных отметках оформляющей плоскости.

Поскольку линия AB направлена вдоль наибольшего уклона проектной плоскости, то линия CD представляет горизонталь этой плоскости. Следова-

тельно, отметки точек C и D равны между собой. Нивелир устанавливают в точке E (рис. 66) пересечения прямых AB и CD так, чтобы один из подъемных винтов расположился вдоль линии AB , а два других — по линии CD . Пользуясь подъемным винтом, расположенным вдоль линии AB , визирной оси трубы придают заданный уклон проектной плоскости. Для этого, взяв отсчет по рейке, поставленной на точке A , вращением подъемного винта, расположенного вдоль линии AB , добиваются равенства отсчетов по рейке, поставленной в точке B , и по рейке, поставленной в точке A . Установку нивелира проверяют отсчетами по рейкам, поставленным в точках C и D .

Эти отсчеты должны быть одинаковыми. Для перенесения в натуру всех остальных точек плоскости пользуются так называемой проектной рейкой. Ее длина равна высоте инструмента над точкой D . Колышки в пределах планируемого участка забивают так, чтобы отсчеты по рейкам, устанавливаемым на них, были равны длине проектной рейки.

Этот способ применяется в открытой местности при перенесении проектируемой плоскости с небольшим уклоном.

Если проект вертикальной планировки составлен по ряду профилей, то перенесение его в натуру заключается в разбивке направлений этих профилей на местности. На каждом профиле путем нивелирования в натуру переносят отметки начальной и конечной его точек. Для этого от ближайшего репера или соседней точки, высота которой известна, определяют фактические отметки начальной и конечной точек каждого профиля, а на сторожках, поставленных вдоль этих точек, подписывают рабочие отметки, представляющие собой разности между проектными (красными) и фактическими (черными) отметками точек.

При больших объемах земляных работ в плане разбивают все промежуточные точки на профилях и закрепляют их на местности колышками.

Рабочие отметки для промежуточных точек находят так же, как для начальной и конечной.

При небольших высотах насыпей и глубинах выемок колышки в начале и в конце каждого профиля на проектной отметке устанавливают по нивелиру. В этом случае колышки, установленные в местах подсыпки, будут возвышаться над поверхностью земли, а в местах срезки — располагаться в углублениях. Для установки торца колышка на проектную отметку определяют длину проектной рейки по формуле

$$r = a + (H - H_1), \quad (99)$$

где a — отсчет по рейке, поставленной на ближайшем репере;

H — отметка этого репера;

H_1 — проектная (красная) отметка разбиваемой точки.

Торец колышка в разбиваемой точке устанавливают по высоте так, чтобы отсчет по рейке, поставленной на нем, был равен длине проектной рейки.

Для переноса в натуру линии в соответствии с заданным уклоном можно пользоваться теодолитом, нивелиром или визирками. Теодолит или нивелир устанавливают в начальной точке линии, а в конечной ставят рейку. Один из подъемных винтов нивелира располагают вдоль разбиваемой линии. Визирную ось трубы направляют на отсчет по рейке, равный высоте инструмента. В этом положении трубу закрепляют. Если колышки в начальной и конечной точках линии поставлены на проектных отметках, то визирная ось трубы займет положение, параллельное проектной линии.

Дальнейшая разбивка линии заключается в такой установке колышков на промежуточных точках, при которой отсчеты по рейкам, поставленным на торцах этих кольев, были бы равны высоте инструмента.

Наклон трубы теодолита уточняют микрометричным винтом. Для обозначения линии заданного уклона устанавливают две визирки на крайних точках, а третью последовательно устанавливают по ним на всех промежуточных точках. Коля на промежуточных точках забивают до тех пор, пока верхний край горизонтальной рейки визирки не совместится с визирной линией, проходящей через горизонтальные рейки крайних визирок.

Визирки, применяемые для этой цели, должны иметь высоту 0,8—1,2 м.

Чаше всего проект вертикальной планировки переносят в натуру по нивелирной сетке квадратов. Для каждой вершины квадрата подсчитывают красную и рабочую отметки. Рабочие отметки выписывают на сторожках, забиваемых вблизи колышков, закрепленных в вершинах квадратов.

При небольших высотах насыпей и небольших глубинах выемок торцы колышков, забиваемых в вершинах квадратов, устанавливают на проектную отметку с помощью нивелира и визирок. Разбивочные работы при вертикальной планировке, связанной со значительными объемами земляных работ, зависят от проекта производства этих работ, развития забоев, способа транспортирования грунта и т. д.

Часто планировочные работы начинают с отыскания и обозначения на местности линий нулевых работ. Наиболее удобно эти линии переносить в натуру по заранее разбитой нивелирной сетке квадратов.

§ 26. Задачи геодезических работ на строительной площадке в подготовительный период

Основной задачей геодезических работ на площадке является выполнение комплекса работ, обеспечивающих соответствие возводимых в натуре предприятий, зданий и сооружений проекту, а также осуществление геодезического контроля за процессом строительства.

Эти работы являются неотъемлемой составной частью технологического процесса строительного производства. Они должны обеспечивать повышение его качества, снижение стоимости и сокращение продолжительности.

В комплекс геодезических работ на строительной площадке, включая подготовительные, входят следующие:

- получение от заказчика топографического плана строительной площадки в масштабе 1 : 500 или 1 : 1000 с нанесенными красными линиями границ застройки, закрепленных в натуре точек опорной геодезической сети. Здесь должны быть нанесены главные оси зданий и сооружений, трассы инженерных сетей и координатные точки строительной сетки;

- получение от заказчика генерального плана и рабочих чертежей с последующим составлением строительного генерального плана и разбивочных чертежей объектов, конструкций и их элементов;

- проверка геометрических размеров, координат и высотных отметок в рабочих чертежах; согласование с представителями заказчика вопросов по устранению неувязок и недостатков в чертежах; подготовка разрешений к выполнению строительно-монтажных работ;

- производство основных геодезических работ для развития и дополнения опорной геодезической сети и строительной сетки, выполненных заказчиком (практически, отделом изысканий проектной организации), а также повторных периодических инструментальных наблюдений с целью контроля за точностью положения пунктов и знаков;

- установление перед началом строительства сохранности и состояния всех геодезических пунктов и знаков; учет, организация ремонта и восстановление их в период строительства, а также замена пунктов и знаков, подлежащих уничтожению, с определением их нового планового и высотного положения;

- выполнение геодезических разбивочных работ (вынос в натуру основных проектных размеров, высотных отметок зданий и сооружений и т. д.);

- инструментальный контроль за правильностью производства строительно-монтажных работ в соответствии с проектами и СНиП; проверка выполненных работ, браковка при неправильном их выполнении в части геометрических размеров и допускаемых отклонений; подготовка разрешений на производство последующих работ;

- ведение оперативного геодезического плана строительной площадки; составление технических отчетов о выполненных геодезических работах за период строительства.

Для геодезических разбивок в первую очередь используются генеральные планы промышленного предприятия и жилого поселка. Из генерального плана делаются выкопировки отдельных сооружений или групп. На выкопировке или на отдельном приложении к ней выписываются координаты пересечения главных осей зданий или сооружений, графические привязки к местным предметам.

Временные здания и сооружения часто привязываются только к местным предметам без использования координат опорной сети. Для перенесения в натуру контура здания, кроме его координат, надо иметь план расположения всех элементов, привязанных к вспомогательным осям. Для разбивки необходимо иметь планы фундаментов стен, колонн, вертикальных разрезов, зданий, планы фундаментов под оборудование промышленного предприятия и т. д.

Разбивка при монтаже металлоконструкций требует чертежей фундаментов для установки на них металлических колонн, чертежей расположения анкерных болтов в плане и по высоте, схему кондуктора (шаблона) для установки анкерных болтов и закладных металлических частей, чертежей на установку подкрановых балок и т. д.

Для разбивки трасс подземных коммуникаций необходим план их расположения с координатами углов поворота, колодцев, ниш, муфт и т. п., с расстояниями между ними, а также продольный профиль по трассам с указанием глубины заложения труб, мест пересечения с другими коммуникациями и пр.

Для разбивок, связанных с производством планировочных работ на строительной площадке (устройство водосточных канав, кюветов, планировка откосов и площадок, устройство откосов вокруг зданий, газонов и др.), должны быть использованы чертежи вертикальной планировки.

Для перенесения проекта трасс дорог в натуру необходимо иметь чертежи с указанием планового положения дороги: координаты углов поворота, точки примыкания к действующим путям и пр. Кроме того, потребуются продольные и поперечные профили трасс.

К началу строительства предприятий, зданий и сооружений заказчик обязан передать геодезисту, обслуживающему строительство:

- закрепленные в натуре пункты геодезического обоснования и опорной геодезической сети, строительной сетки на территории промышленных площадок и жилых кварталов;

- закрепленные в натуре главные оси сооружений на строительной площадке, красные линии;

- закрепленные в натуре оси трасс основных коммуникаций (подъездных железнодорожных путей, автодорог, линий электропередачи, магистральных трубопроводов и др.);

- координаты (X , Y , H) осевых пунктов, реперов и пунктов геодезического обоснования, геодезической строительной сетки;

- дубликаты планов, а также продольных и поперечных профилей трасс, намеченных к строительству железных, автомобильных и подвесных дорог. ЛЭП и магистральных трубопроводов;

- чертежи знаков, а также альбомы зарисовок, привязок пунктов к постоянным предметам местности;

- краткий отчет о проведенных геодезических и топографических работах с указанием срока их исполнения, методики и схемы выполнения полигонометрических и нивелирных работ.

В подготовительный период разбивочных работ на строительной площадке необходимо развить дополнительную нивелирную сеть.

Указанная сеть развивается в целях создания такой густоты пунктов на строительной площадке, чтобы на любую точку строительства отметка могла быть передана с одной установки нивелира. Дополнительная нивелирная сеть закрепляется на местности реперами временного типа, а также большим количеством нулевых точек.

Точность определения пунктов дополнительной нивелирной сети можно считать в 2 раза грубее точности определения пунктов основной нивелирной сети, чего, однако, достаточно для обоснования большинства работ по возведению обычных сооружений промышленно-гражданского назначения.

Глава IV. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБИВОЧНЫЕ РАБОТЫ

ИНСТРУМЕНТЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАЗБИВОЧНЫХ РАБОТ

§ 27. Теодолиты (общие сведения)

Для измерения горизонтальных и вертикальных углов служат теодолиты. Основными частями такого прибора являются: горизонтальный и вертикальный лимбы, зрительная труба, вращающаяся относительно горизонтальной и вертикальной осей, приспособления для снятия отсчетов по лимбам и приведения вертикальной оси в отвесное положение. Теодолиты снабжаются различными вспомогательными устройствами позволяющими устанавливать их над (или под) выбранной точкой, облегчающими получение надежных и точных результатов измерений.

Конструкциям современных теодолитов присущи такие особенности:

- компактность и малый вес, облегчающие их транспортировку, установку и обслуживание;

- закрытое выполнение основных частей инструмента, предохраняющее их от загрязнения, влаги и механических повреждений;

- удобное расположение органов управления (зажимных устройств, микрометрических винтов, уровней, отсчетных приспособлений и т. д.), позволяющее наблюдателю выполнять все операции, не меняя своего положения относительно инструмента;

- надежность, выражающаяся в том, что прибор всегда готов к использованию и не требует дополнительной юстировки даже после длительной работы в тяжелых условиях;

- ахроматическая оптика, свободная от недостатков и «светосильная» (т. е. с большим коэффициентом относительной яркости), обеспечивающая получение неискаженных, ясных, четких и контрастных изображений даже при неблагоприятных условиях освещенности;

- точность, отвечающая назначению инструмента и дающая возможность использовать его с наибольшей эффективностью;

- простота внешнего вида, отвечающего современным требованиям технической эстетики.

Теодолиты различают по точности, назначению, материалам изготовления кругов, конструктивным и другим признакам.

§ 28. Теодолиты с металлическими лимбами

Теодолиты с металлическими лимбами повторительные. Они отличаются простой конструкцией, имеют два диаметрально расположенные верньера, позволяющие исключать влияние эксцентриситета горизонтального и вертикального кругов при измерении углов одним полуприемом.

Теодолит ТТ-5 (рис. 67) является усовершенствованной моделью ТТ-50, по сравнению со своим прототипом имеет меньший вес и размеры, современную форму и большую надежность в эксплуатации.

Деления на лимбах нанесены через $10'$, оцифрованы через 5° . Верньер имеет 20 делений. Средняя квадратическая ошибка измерения угла одним приемом не превышает $15''$.

На базе теодолита ТТ-5 сконструирован теодолит-тахеометр ТТП (рис. 68). В отличие от ТТ-5 он снабжен окулярной насадкой, позволяющей визировать

при большом наклоне трубы, а также накладным уровнем с ценой деления 15", устанавливаемым на горизонтальную ось вращения трубы. Теодолитом ТТП можно производить геометрическое нивелирование и, имея накладной уровень, более точно проектировать высокие точки на горизонтальную плоскость и строить отвесные линии. Его целесообразно использовать при строи-

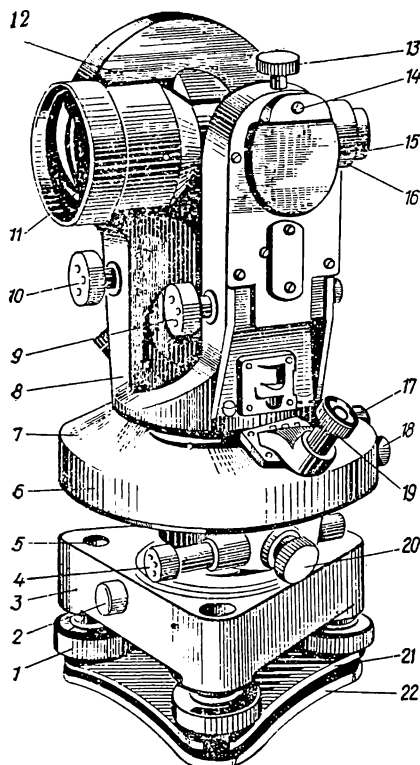


Рис. 67. Теодолит ТТ-5:

1 — подъемный винт; 2 — закрепительный винт втулки основной оси; 3 — трегер; 4 — наводящий (микрометрический) винт горизонтального лимба; 5 — гайка для регулировки хода подъемного винта; 6 — кожух горизонтального круга; 7 — лимб горизонтального круга; 8 — подставка зрительной трубы; 9 — наводящий винт алидады вертикального круга; 10 — наводящий винт алидады вертикального круга; 11 — объектив зрительной трубы; 12 — вертикальный круг; 13 — закрепительный винт зрительной трубы; 14 — втулка для закрепительного винта ориентирбуссоли; 15 — окуляр; 16 — предохранительный колпачок; 17 и 18 — закрепительный и наводящий винты алидады горизонтального круга; 19 — неподвижная лупа; 20 — закрепительный винт лимба горизонтального круга; 21 — пружинная пластинка с втулкой для станového винта; 22 — пластинка для упора подъемных винтов.

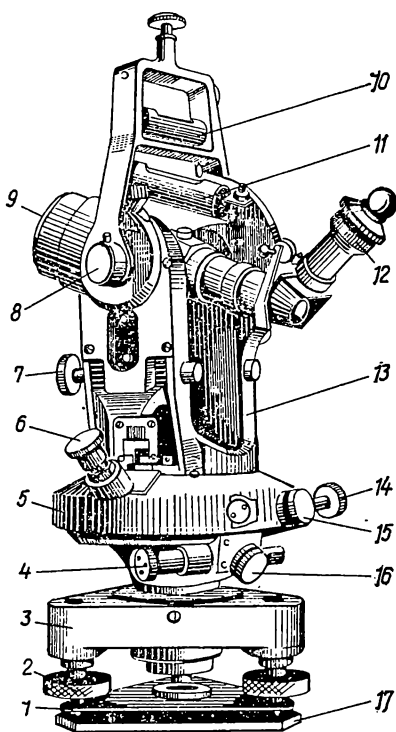


Рис. 68. Теодолит ТТП:

1 — пружинная пластинка с втулкой для станového винта; 2 — подъемный винт; 3 — трегер; 4 — наводящий винт лимба горизонтального круга; 5 и 6 — кожух и неподвижная лупа горизонтального круга; 7, 8 и 9 — наводящий винт, горизонтальная ось и объектив зрительной трубы; 10 — накладной цилиндрический уровень; 11, 12 и 13 — цилиндрический уровень; окуляр и подставка зрительной трубы; 14 и 15 — наводящий и закрепительный винты алидады горизонтального круга; 16 — закрепительный винт лимба горизонтального круга; 17 — пластинка для упора подъемных винтов.

тельстве высоких сооружений и при проведении геодезических работ в глубоких котлованах, т. е. тогда, когда точки визирования расположены на существенно различных высотах.

Технические характеристики этих приборов с металлическими лимбами приведены в табл. 26.

Т а б л и ц а 26

Теодолиты с металлическими лимбами

Техническая характеристика	Тип теодолита		
	ТТ-50	ТТ-5, ТН, ТТП	ТМ-1
Увеличение трубы	25,3 [×]	25,2 [×]	18 [×]
Поле зрения трубы	1°10'	1°25'	2°
Фокусное расстояние объектива, мм	253	200	145
Коэффициент нитяного дальномера	100	100	100
Пределы фокусирования, м	2—∞	2—∞	2—∞
Цена деления лимбов	20'	10'	20'
Точность верньеров	30"	30"	1'
Диаметр горизонтального круга, мм	130	100	80
То же, вертикального круга, мм	80	72	60
Цена деления уровня горизонтального круга	40—60"	35—55"	50—70"
То же, уровня вертикального круга	20—40"	25—35"	50—70"
Вес теодолита с треножником, кг	5,2	3,2	2,2

§ 29. Теодолиты со стеклянными лимбами (оптические теодолиты)

Согласно ГОСТ 10529—63 теодолиты различают по точности, характеризующейся средней квадратической ошибкой однократного (одним приемом) измерения угла в лабораторных условиях. Так, шифр теодолита, позволяющего измерить угол одним приемом с инструментальной ошибкой $\pm 20''$ —Т20.

В соответствии с ГОСТом, современные теодолиты подразделяются на типы, приведенные в табл. 27.

По назначению теодолиты бывают маркшейдерские, проектировочные и др., а по материалам изготовления кругов и по устройству отсчетных приспособлений — с металлическими и стеклянными лимбами, т. е. оптические.

По конструкции приборы делятся на повторительные и простые. У повторительных лимб и алидада имеют независимое и совместное вращение. Это позволяет производить измерение угла путем последовательного отложения его n раз на лимбе. Лимб повторительного теодолита имеет закрепительный и наводящий винты. У простых теодолитов он может поворачиваться, но совместного с алидадой вращения не имеет.

Технический теодолит, имеющий вертикальный круг, устройство для измерения расстояний (дальномер) и буссоль, называется тахеометром.

§ 30. Устройство и назначение теодолитов

Теодолит Т2. Точный оптический теодолит Т2 (рис. 69) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции и полигонометрии III и IV классов со средней квадратической ошибкой, не превышающей $\pm 2''$.

Он используется при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, монтаже технологического оборудования, а также для приближенных астрономических определений широты, долготы и азимута. Для измерения расстояний теодолитом применяются дальномерные насадки ДН-04, ДНР-06, ДН-08.

Типы теодолитов

Группа	Название группы	Обозначение инструмента по ГОСТ 10529—63	Средняя квадратическая ошибка измерения угла одним приемом	Назначение инструмента	Инструменты, находящиеся в обращении и соответствующие ГОСТу
I	Теодолиты высочоточные	T05	$\pm 0'',5$	Триангуляция полигонометрия I и II класса	ТТ-2/6, ТВО-1, ОТ-2
II	Теодолиты точные	T1	$\pm 1'',0$	Триангуляция, полигонометрия II класса	ОТ-2, ОТВ, ОТС, ТБ-1
		T2	$\pm 2'',0$	Триангуляция и полигонометрия III—IV классов	ОТС, ТБ-1, Theo-010, ТЕ-B1
III	Теодолиты повышенной точности	T5	$\pm 5'',0$	Триангуляция и полигонометрия I и II разряда	ОТШ, Theo-020, ТЕ-01, ТТ-4, ОТМ, ТЕ-D2
IV	Теодолиты инженерно-технические	T15 T20 T30	$\pm 15'',0$ $\pm 20'',0$ $\pm 30'',0$	Теодолитные ходы, разбивочно-привязочные работы	ОТМ-30, ТТ-5, ТГ-5, ТН, ТТП, Theo-120, ТЕ-B4, ТТ-50, Т-30, ТОМ, ТЕ-B5

Теодолит приспособлен для прокладывания ходов полигонометрии трехштативным способом. Изготавливается в двух вариантах — с электрическим освещением и без него. Относится к типу неповторительных.

T2 имеет высококачественную апохроматическую зрительную трубу с ортоскопическим окуляром, обеспечивающим одинаково отчетливое изображение по всему полю зрения. Труба снабжена двумя оптическими визирами, предназначенными для предварительного наведения на предмет.

Отсчетные круги закрыты покровными стеклами, обеспечивающими их сохранность. Это также позволяет работать в условиях повышенной загрязненности.

Теодолит Т5. Оптический шкаловой (рис. 70) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в аналитических сетях и полигонометрии I и 2-го разрядов со средней квадратической ошибкой $\pm 5''$. Он используется также для проложения нивелирных ходов 4-го класса и технического нивелирования.

T5 — неповторительный, но имеет устройство для перестановки горизонтального круга, вертикальная ось — цилиндрическая.

Отличительной особенностью его является наличие оптического компенсатора, обеспечивающего автоматическую установку места нуля на вертикальном круге при наклоне подставки инструментов в пределах $\pm 3'$. Это позволяет использовать его как технический нивелир.

Зрительная труба прибора имеет ортоскопический окуляр и оптические визиры, предназначенные для предварительного наведения трубы на предмет.

Теодолит приспособлен для работы по трехштативному способу и с дальнометрическими насадками ДН-04, ДН-08, ДНР-06.

Теодолит Т10 — оптический шкаловой (рис. 71), предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в аналитических сетях и полигонометрии I и II разрядов со средней квадратической ошибкой $\pm 10'$. Используется для выноса вершин знаков на землю и элементов приведения к центрам гео-

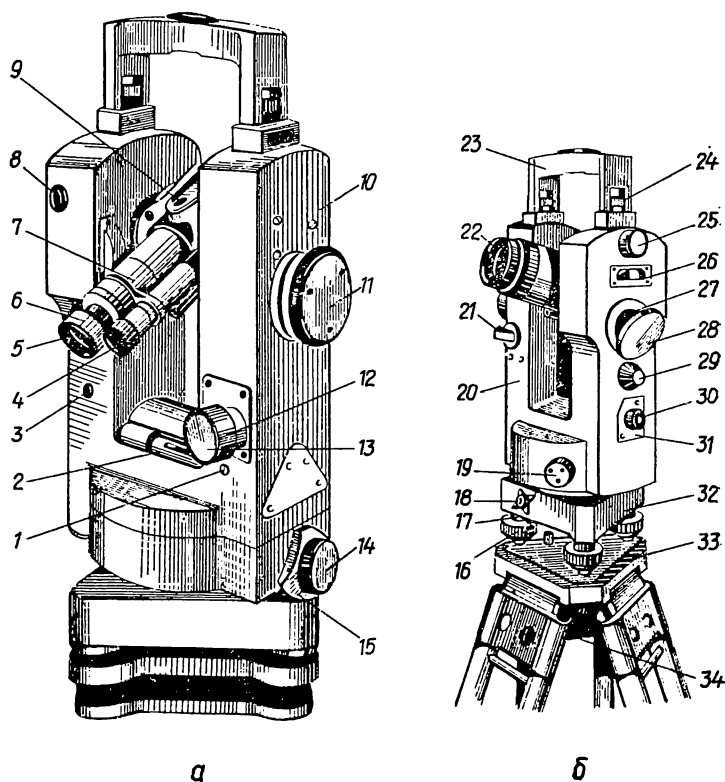


Рис. 69. Теодолит Т2:

а) общий вид со стороны микрометра: 1 — юстировочный винт уровня при алидаде горизонтального круга; 2 — уровень при алидаде горизонтального круга; 3 — штекерное гнездо; 4 — окуляр микроскопа; 5 — диоптрийное кольцо окуляра; 6 — колпачок, предохраняющий крепежные винты окуляра; 7 — кремальера зрительной трубы для фокусирования на предмет; 8 — крышка, закрывающая юстировочные винты уровня при алидаде вертикального круга; 9 — оптический визир для грубого наведения трубы на предмет; 10 — крышка колонки; 11 — барабанчик микрометра; 12 и 13 — зажимной и наводящий микрометрический винты зрительной трубы; 14 и 15 — наводящий и зажимной винты алидады горизонтального круга;

б) Общий вид со стороны вертикального круга: 16 — подъемный винт трегера; 17 — отверстие в гайке подъемного винта для регулирования его хода; 18 — закрепительный винт; 19 — рукоятка для перестановки горизонтального круга; 20 — подставка зрительной трубы; 21 — рукоятка переключателя изображения кругов; 22 — предохранительный колпачок объектива; 23 — ручка для переноса теодолита и установки визирной вежи; 24 — винты, прикрепляющие ручку к колонке; 25 — поворотная призма-лупа уровня при вертикальном круге; 26 — осветительное окно уровня при вертикальном круге; 27 — окно подсветки; 28 — зеркало; 29 — наводящий винт уровня; 30 — окуляр оптического отвеса; 31 — крышка, предохраняющая юстировочные винты окуляра оптического отвеса; 32 — съемный трегер; 33 — столик штатива; 34 — стеновой винт.

дезических знаков. Он позволяет также измерять расстояния при помощи нитяного дальномера и дальномерных насадок ДН-04, ДН-08, ДНР-06, которые укрепляются на оправе объектива зрительной трубы. Теодолит приспособлен для работы по трехштативному способу.

Т10 можно выполнять техническое нивелирование с помощью цилиндрического уровня, устанавливаемого на зрительной трубе параллельно визирной оси. Снабжен оптическим отвесом, расположенным в алидадной части.

Теодолит Т20—повторительный оптический шкаловой (рис. 72), предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах, прокладываемых на поверхности или под землей (в шахтах). Средняя квадратическая ошибка измерения углов не превышает $\pm 20''$. Особенно удобен при съемке крутонаклонных выработок, достигающих наклона до 65° .

Т20 приспособлен для работы с дальномерной насадкой ДН-10, укрепляемой на оправе зрительной трубы.

Наличие на зрительной трубе уровня с ценой деления $30''$ позволяет производить нивелирование горизонтальным лучом.

Отсчеты по кругам сведены в один микроскоп, расположенный параллельно зрительной трубе, так, что в поле зрения микроскопа видны одновременно изображения штрихов горизонтального и вертикального кругов.

Конструкция вертикальной оси теодолита позволяет устанавливать прибор как в обычном положении на штативе, так и подвешивать его в горизонтальное положение. Это особенно удобно для работы в стесненных условиях строительства и монтажа технологического оборудования, а также при маркшейдерских измерениях в шахте.

Технические характеристики и комплектность поставок теодолитов Т2, Т5, Т10, Т20 и Т30 приводятся в табл. 28.

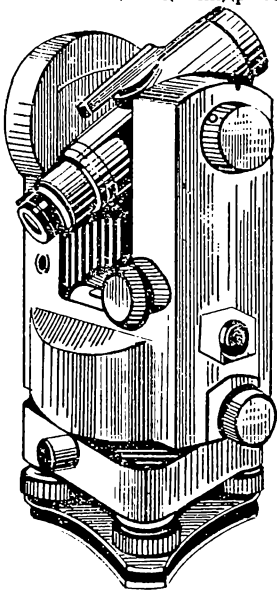


Рис. 70. Оптический шкаловой теодолит Т5.

§ 31. Особенности эксплуатации теодолитов

А. Отсчитывание. Теодолит Т2. Перед снятием отсчета по горизонтальному кругу переключатель изображения кругов устанавливается в горизонтальное положение. При этом в поле зрения отсчетного микроскопа, имеющего белый фон, видны два окошка — большое и малое (рис. 73). Большое разделено пополам горизонтальной линией. В верхней половине видно изображение штрихов основной стороны круга, а в нижней — противоположной ей — контрольной. В малом окошке виден горизонтальный штрих-индекс и изображение штрихов шкалы микрометра.

При наблюдении в поле зрения отсчетного микроскопа штрихов вертикального круга фон поля приобретает желтый оттенок. Горизонтальный круг имеет двойные (бифилярные) штрихи, а вертикальный — одинарные.

Чтобы снять отсчет по кругу, вращением маховичка микрометра необходимо совместить изображения верхних и нижних штрихов его, расположив их на продолжении друг друга (см. рис. 73). Отсчет градусов производят по верхнему изображению слева от центра или непосредственно в центре окна. Затем отсчитывают число десятков минут, равное числу интервалов, заключенных между отсчитанным верхним и нижним оцифрованным штрихом, отличающимся от верхнего на 180° . При этом нижний оцифрованный штрих всегда будет располагаться вправо от верхнего или, как частный случай, может быть сов-

мещен с ним. Единицы минут — в малом окошке по левому ряду цифр; десятки секунд — там же, но по правому ряду цифр. Секунды и их доли отсчитывают по неподвижному индексу, имея в виду, что каждое малое деление шкалы соответствует $1''$.

Перед отсчитыванием зенитных расстояний по вертикальному кругу необходимо наводящим винтом уровня совместить концы пузырька уровня.

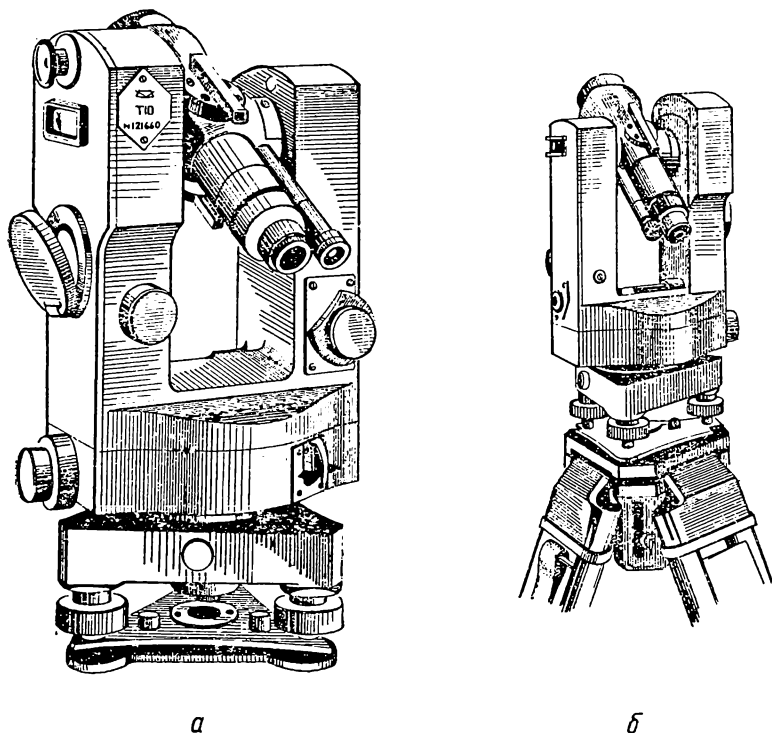


Рис. 71. Теодолит Т10.

В теодолите Т2 за основное рабочее положение принят «круг лево».

Теодолит Т10 (рис. 74). В поле зрения микроскопа этого прибора одновременно видны изображения обонх кругов. Изображение штрихов горизонтального круга отмечено буквой «Г», а вертикального — «В».

Для отсчитывания по угломерным кругам имеются две шкалы, разделенные на 60 делений. Поскольку круг разделен через $1'$, то каждое деление шкалы микроскопа соответствует $1'$. Погрешность отсчета по шкале микроскопа $0,1'$ ($6''$).

На рис. 74 отсчет по горизонтальному кругу равен $174^{\circ}55'0$, а по вертикальному — $2^{\circ}05'$, 1.

Теодолит Т5 (рис. 75) имеет точно такое же поле зрения микроскопа, как и Т10. Порядок отсчета здесь аналогичен описанному для теодолита Т10.

Теодолит Т20 (рис. 76). В поле зрения его отсчетного микроскопа одновременно видны изображения штрихов горизонтального и вертикального кругов. Для отсчитывания по кругам служат шкалы, имеющие по 30 делений. Одно

деление круга соответствует длине всей шкалы. Таким образом, цена одного деления шкалы равна $2'$, а точность отсчета по ней $0',2$.

Половина поля зрения со штрихами вертикального круга обозначена буквой «В», а вторая половина — со штрихами горизонтального круга — буквой «Г».

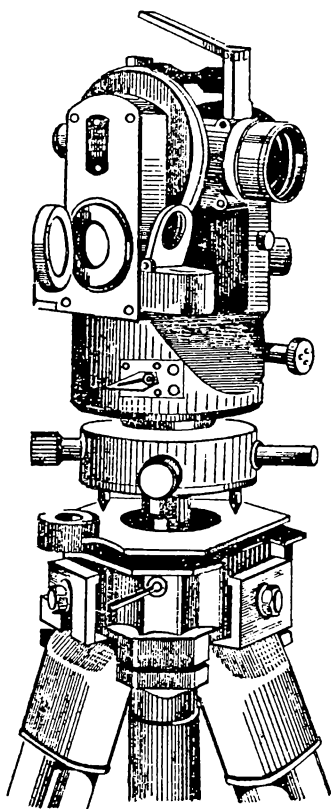


Рис. 72. Теодолит Т20 на штативе.

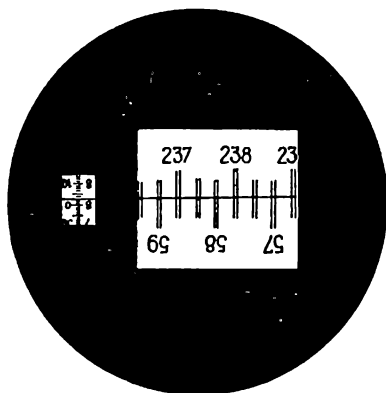


Рис. 73. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т2: отсчет $57^{\circ}58'0,2''$, 4.

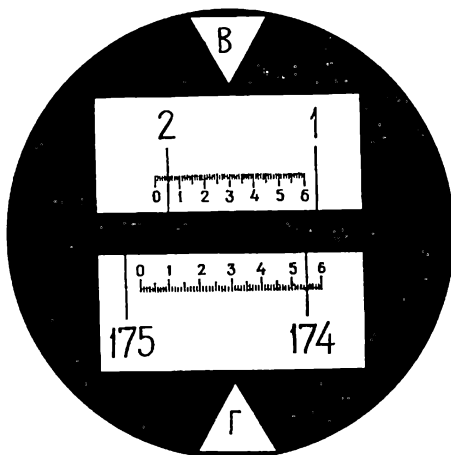


Рис. 74. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т10: отсчет по горизонтальному кругу $174^{\circ}55',0$, по вертикальному — $2^{\circ}05',1$.

Поскольку теодолит устанавливают в двух положениях, для большего удобства при отсчитывании штрихи кругов и шкал имеют двойную оцифровку, соответствующую тому или иному положению прибора.

На рис. 76 отсчет по горизонтальному кругу равен $155^{\circ}24',0$, а по вертикальному — $286^{\circ}07',0$.

Технические характеристики и комплектность современных теодолитов

Основные технические данные теодолитов	Единица измерения	Обозначение теодолитов по ГОСТ 10529-63				
		T2	T5	T10	T20	T30
Зрительная труба:						
Увеличение	$\times$	25	27	25	20	20
Угол зрения	град, мин	1°30'	1°30'	1°30'	2°	2°
Наружный диаметр объектива	мм	46,0	46,0	46,0	38,0	38,0
Диаметр свободного отверстия объектива	"	35,0	35,0	35,0	29,0	29,0
Пределы фокусирования	мм	1,5—~	2,0—~	1,5~	0,9~	1,0~
Фокусное расстояние объектива	мм	250,0	218,6	250,0	97,92	157,0
То же, окуляра	"	10	8,1	10	7,94	—
Коэффициент нитяного дальномера	"	100	100	100	100	100
Постоянное слагаемое дальномера	—	0	0	0	0	0
Отсчетная система:						
Диаметр горизонтального круга	мм	90	95	90	64	72
То же, вертикального	"	60	70	70	64	72
Цена деления отсчетных кругов	град, мин	20	1°	1°	1°	10'
То же, шкалы микроскопа	"	1"	1'	1"	2'	1'
Увеличение микроскопа горизонтального круга	$\times$	45,6	70	70	71,5	18
То же, вертикального	"	63,2	70	70	71,5	10
Цена деления уровня:						
При алидаде горизонтального круга	сек	10"	30"	30"	30"	45"
То же, вертикального	"	15"	15"	15"	30"	45"
Накладного уровня	"	10"	15"	15"	15"	15"
Оптический отвес:						
Увеличение	$\times$	2,5	2,6	2,5	—	—
Угол поля зрения	град, мин	4°30'	4°30'	4°30'	—	—

Продолжение табл. 28

Основные технические данные теодолитов	Единица измерения	Обозначение теодолитов по ГОСТ 10529-63				
		T2	T5	T10	T20	T30
Диаметр зрачка выхода	мм	2,2	2,0	2,0	—	—
Пределы визирования	"	300—∞	6,00—∞	300—∞	—	—
Размеры:						
Высота	"	298,0	315,0	280,0	300,0	220,0
Ось вращения	"	245,0	235,0	230,0	230,0	230,0
Футляр	"	240×420	250×200× ×350	255×200× ×350	210×295	195×175× ×290
Вес:	кг	5,2	3,6	3,5	2,2	2,2
Теодолит без футляра	"	9,7	7,4	7,5	3,5	3,2
То же, с футляром	"	5,3	5,3	5,3	3,8	3,8
Штатив с отвесом	град С	—40÷+50	—40÷+50	—40÷+50	—40÷+50	—40÷+50
Температурный диапазон работы						
Комплектность поставки:						
Теодолит	шт.	1	1	1	1	1
Ориентир-буссоль	"	1	1	1	1	1
Отвес (нитяной)	"	1	1	1	1	1
Штатив	"	1	1	1	1	1
Футляр	"	1	1	1	1	1
Чехол для теодолита	"	1	1	1	1	1
Принадлежности для теодолита	"	1	1	1	1	1
Описание	"	1	1	1	1	1
Паспорт	"	1	—	—	—	—

Примечание. К теодолиту Т20 особо можно заказать головку нивелирующую ГН-Т20, облегчающую приведение теодолита к горизонту, уровень на зрительную трубу УТ-Т20, подвесные приспособления ПП1-Т20 — консоли для съемки в условиях подземных выработок, дальномерный комплект Д4-10 (ГОСТ 11356-65), состоящий из насадки ДН-10, двух вертикальных дальномерных реек длиной 1,7 м с инварными полосами, имеющими деления через 1 и 5 см, и противовеса на трубу теодолита.

Б. Измерение углов. Теодолит Т2. Горизонтальные углы измеряются способом круговых приемов. Формулы для вычисления зенитных расстояний имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} Z &= \frac{\text{КЛ} - \text{КП} + 360^\circ}{2}; \\ Z &= \text{КП} - \text{МЗ}; \\ Z &= \text{МЗ} - \text{КЛ}, \end{aligned} \right\} \quad (100)$$

где Z — зенитное расстояние;

МЗ — место зенита вертикального круга;

КЛ и КП — отсчеты при вертикальном круге слева и справа.

В необходимых случаях к МЗ нужно прибавить 360° .

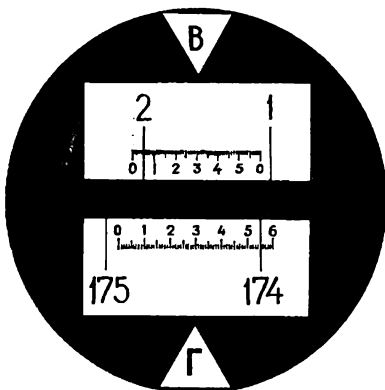


Рис. 75. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т5: отсчет по горизонтальному кругу $174^\circ55',0$, по вертикальному — $2^\circ04',8$.

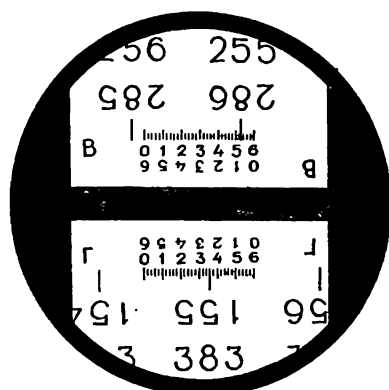


Рис. 76. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т20: отсчет по горизонтальному кругу $155^\circ24',0$, по вертикальному — $286^\circ07',0$.

Теодолит Т5. Горизонтальные углы измеряют способом круговых приемов.

За основное положение принят вертикальный круг справа КП . Формулы для вычисления углов наклона имеют вид

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{\text{КП} - \text{КЛ} - 180^\circ}{2}; \\ \varphi &= \text{КП} - \text{МО}; \\ \varphi &= \text{МО} - \text{КЛ} - 180^\circ, \end{aligned} \right\} \quad (101)$$

где КЛ и КП — отсчеты при вертикальном круге соответственно слева и справа;

МО — место нуля вертикального круга.

К величинам, меньшим 90° , предварительно прибавляют 360° .

Т5 имеет уровень при алидаде вертикального круга. Перед снятием отсчета необходимо убедиться в том, что концы пузырька уровня совмещены. В случае необходимости наводящим винтом уровня следует совместить их.

Теодолит Т10. Горизонтальные углы измеряют способами круговых приемов или повторений. За основное положение принимают круг справа (КП). Для вычисления углов наклона используют формулы (100, 101).

Теодолит Т20. Горизонтальные углы измеряют способами повторений и круговых приемов.

Формулы (100, 101) для вычисления углов наклона те же, что и при проведении аналогичных операций теодолитами Т5 и Т10.

В Т20 уровня при алидаде вертикального круга нет. Его заменяет соответствующий уровень горизонтального круга, ось которого преднамеренно расположена параллельно коллимационной плоскости трубы. При измерении углов наклона необходимо следить за положением пузырька уровня и перед визированием на точку местности подъемными винтами трегера устанавливать его на середину.

В. Нивелирование. Теодолит Т5 может быть использован в качестве нивелира. Методика выполнения работ такая же, как и при использовании обычного нивелира. Для установки при нивелировании визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение путем наклона этой трубы устанавливают отсчет по микроскопу равный месту нуля. Поэтому к точности определения места нуля вертикального круга предъявляются повышенные требования.

Установка зрительной трубы при определении места нуля должна быть близка к горизонтальной. Высота инструмента при этом измеряется до красной точки, расположенной на центре кремальеры.

§ 32. Поверки и юстировки теодолитов

Теодолит должен удовлетворять определенным геометрическим и оптико-механическим условиям. Для этого его проверяют и при несоблюдении тех или иных условий производят исправление. Действия по проверке и исправлению инструментов называют соответственно проверкой и юстировкой.

Оптико-механические условия сводятся, во-первых, к проверке зрительных труб, луп и микроскопов, которые должны быть хорошего качества, иметь надлежащее увеличение и достаточное поле зрения, а во-вторых, к проверке плавности движения отдельных частей инструмента, их прочности, жесткости конструкции, противостойкости окислению и возможности работать инструментом при различных температурах. В связи с этим каждый теодолит перед работой должен быть тщательно выверен и отъюстирован.

Основные геометрические условия, которым должен удовлетворять современный теодолит, сводятся к следующему:

1. Ось уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита, т. е. $LL \perp NN$ (рис. 77). Для проверки этого условия: 1) ориентируют ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга по направлению любых двух подъемных винтов и, действуя ими в разные стороны, совмещают центр пузырька уровня с нульпунктом ампулы; 2) затем ось этого же уровня ставят по направлению третьего подъемного винта и, действуя им, вновь совмещают центр пузырька с нульпунктом ампулы, по возможности точно; 3) поворачивают алидаду вокруг вертикальной оси на 180° ; если при этом пузырек уровня останется на середине ампулы, то условие выполнено, а если отойдет от нее, то положение оси уровня надо исправить.

Для этого юстировочным винтом уровня перемещают пузырек на половину дуги отклонения центра его от середины (нульпункта) ампулы, а при помощи подъемного винта, по направлению которого стоит уровень, вновь совмещают центр пузырька с серединой ампулы. Затем алидаду поворачивают вокруг вертикальной оси на 180° , и если после этого пузырек уровня остается на середине ампулы, то первое условие выполнено, если же нет, то тем же исправительным винтом вновь перемещают центр пузырька уровня на половину дуги отклонения от середины ампулы и повторяют эту проверку до тех пор, пока проверяемое условие не будет выполнено.

2. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы, т. е. $CC \perp AA$ (см. рис. 77).

Если это условие соблюдается, то при вращении зрительной трубы вокруг ее оси визирная ось трубы будет описывать коллимационную плоскость. Угол

между визирной осью CC и перпендикуляром к оси AA называется коллимационной ошибкой зрительной трубы.

Для проверки этого условия, после того, как вертикальная ось теодолита, укрепленного на штативе, приведена в отвесное положение и лимб закреплен, визирную ось наводят на удаленный, хорошо видимый предмет, расположенный приблизительно на уровне оси вращения зрительной трубы, например на точку P . Затем делают отсчет по двум сторонам горизонтального лимба и за окончательный результат принимают среднее арифметическое из двух отсчетов (a_1).

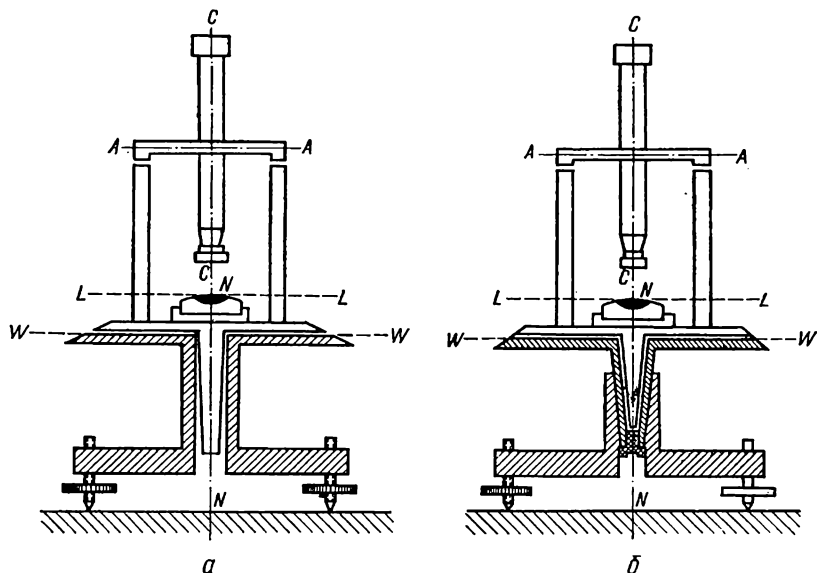


Рис. 77. Основные оси теодолита:

a — простого; $б$ — повторительного. NN — основная ось; WW — плоскость лимба; LL — ось цилиндрического уровня алидады горизонтального круга; AA — горизонтальная ось зрительной трубы; CC — визирная ось.

После этого переводят трубу через зенит, т. е. вращают ее вокруг оси (AA) наполобота, вновь наводят визирную ось на ту же точку P (лимб должен оставаться неподвижным), вторично делают отсчеты по горизонтальному кругу и вычисляют среднее (a_2). Разность этих отсчетов будет равна двойной коллимационной ошибке:

$$a_1 - a_2 = 2c. \quad (102)$$

При соблюдении второго условия полученные средние отсчеты должны быть одинаковы ($a_1 = a_2$) или отличаться на величину, не превышающую двойную точность верньера t_1 , т. е.

$$a_1 - a_2 \leq 2t. \quad (103)$$

В противном случае вычисляют среднее арифметическое из двух средних отсчетов, полученных при двух положениях вертикального круга, т. е.

$$\frac{a_1 + a_2}{2} = a, \quad (104)$$

и на этот отсчет устанавливают тот верньер, по которому при втором положении трубы делали полный отсчет (градусы и минуты). После этого цен-

тральная точка пересечения сетки нитей (центр сетки нитей) сойдет с наблюдаемой точки P .

Затем, ослабив один из вертикальных винтов сетки нитей, двумя другими винтами, расположенными горизонтально, перемещают сетку до совпадения ее центра с наблюдаемой точкой P . Потом поверку повторяют.

3. Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения инструмента, т. е. $AA \perp NN$ (см. рис. 77). Это условие проверяется при расстоянии между теодолитом, укрепленным на штативе, и предметом высотой 20—30 м. Основная ось инструмента приводится в отвесное положение; после чего, закрепив лимб, центр сетки нитей наводят на хорошо видимую высокую точку, например на точку K , и закрепляют алидаду.

Затем зрительную трубу медленно опускают до тех пор, пока она не займет горизонтальное положение (на глаз), и отмечают на стенке точку C_1 , покрываемую центром сетки нитей. Дальше, открепив алидадный круг, поворачивают его на 180° , переводят трубу через зенит, опять визируют на точку K и закрепляют алидаду. После этого зрительную трубу снова медленно опускают до уровня нанесенной ранее на стене точки C_1 и отмечают точку C_2 , покрываемую центром сетки нитей. При совпадении точек C_1 и C_2 проверяемое условие выполнено, в противном случае — не выполнено.

Для исправления этой поверки расстояние C_1C_2 делят пополам и намечают точку C . После этого необходимо один конец горизонтальной оси AA поднять или опустить так, чтобы центр сетки нитей совместился с точкой C . Теодолиты с металлическим лимбом, типа ТТ-5, ТН, исправляют, подкладывая листы станиоля или бумаги под один из краев верхней части прибора. Оптические теодолиты исправляют в мастерской.

4. Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна вертикальной оси вращения теодолита.

Для поверки этого условия основную ось инструмента приводят в отвесное положение. Затем выбирают какую-либо отчетливо видимую точку C_1 , наводят на нее центр сетки нитей. После этого медленно вращают трубу вокруг оси и следят, будет ли вертикальная нить сетки все время проходить через точку C . При невыполнении этого условия, пользуются исправительными винтами сетки нитей для разворота всей сетки.

После юстировки поверка повторяется.

§ 33. Способы измерения горизонтальных углов

1. **Установка теодолита в рабочее положение.** Для измерения углов на местности необходимо над каждой вершиной устанавливать и приводить теодолит в рабочее положение.

Эти операции состоят из центрирования, нивелирования инструмента и установки зрительной трубы для визирования.

Центрирование теодолита. Для измерения горизонтального угла вертикальную ось теодолита необходимо установить над вершиной этого угла, что достигается при помощи нитяного отвеса или оптического центра.

Нивелирование теодолита. Теодолит нивелируют или приводят основную ось его в отвесное положение тремя подъемными винтами по выверенным уровням при алидаде горизонтального круга. Для этого уровень устанавливают по направлению двух подъемных винтов и, вращая их в разные стороны, совмещают центр пузырька уровня с нульпунктом ампулы.

Затем поворачивают алидаду примерно на 90° с тем, чтобы ось этого же уровня расположилась параллельно направлению третьего подъемного винта. Работая им, вновь совмещают центр пузырька с нульпунктом ампулы. Эти действия повторяют до тех пор, пока пузырек не будет оставаться на середине ампулы при любом положении алидады.

Установка трубы для визирования. Установить трубу для визирования — это значит получить в окуляре резкое, отчетливое изображение нитей сетки и наблюдаемого предмета. Для этого зрительную трубу наводят на белый фон

и поворачивают окулярную трубку до получения четкого изображения нитей сетки. Резкого и четкого изображения предмета визирирования достигают перемещением фокусирующей линзы зрительной трубы.

2. Измерение горизонтальных углов. *А. Способ приемов.* Для измерения угла MCN (рис. 78, а, б) способом приемов устанавливают теодолит над вершиной угла C , приводят его в рабочее положение, закрепляют лимб и, перемещая алидаду, последовательно визируют на вешки, находящиеся в точках M и N . Если из вершины смотреть на угол, то M считается задней, или правой, точкой, а N — передней, или левой.

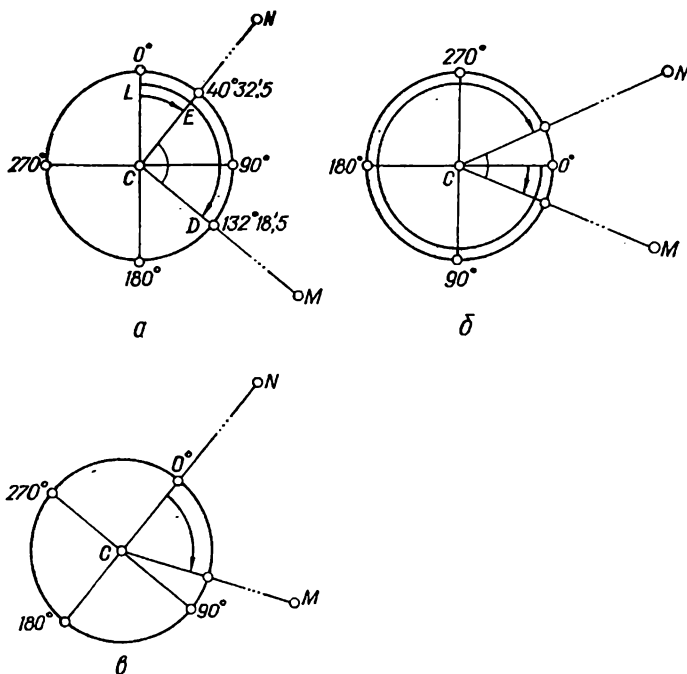


Рис. 78. Измерение горизонтальных углов:
а и б — способ приемов; в — способ повторений.

Для точного совмещения центра сетки нитей зрительной трубы с предметом пользуются наводящими винтами алидады горизонтального круга и зрительной трубы. После наведения зрительной трубы на каждую точку делают отсчеты.

При работе теодолитом с металлическим лимбом, отсчеты минут и секунд берут по двум верньерам и выводят среднее значение.

Если отсчет на заднюю точку обозначить через Z , а на переднюю через Π , то, согласно рис. 78, а, б, $Z = 132^\circ 18',5$ (дуга LD), а $\Pi = 40^\circ 32',5$ (дуга LE).

Тогда искомый угол определится

$$\angle MCN = Z - \Pi.$$

На этом заканчивается первый полуприем.

Таким образом, если надписи делений на лимбе горизонтального круга возрастают по ходу часовой стрелки, то угол между двумя направлениями равен отсчету на заднюю точку минус отсчет на переднюю.

Записи отсчетов производят в журнале измерения углов способом приемов (табл. 29).

Журнал измерения углов способом приемов
 Теодолит ТТ-5 № 187. Дата измерений — 30/III 1971 г.
 Исполнитель — Каплуненко Д. Ф.

Точка установки теодолита	Точка визи- рова- ния	Отсчет					Угол		Среднее зна- чение угла	
		I верньер		II вернь- ер	Среднее из отсчетов $\frac{I+II}{2}$		°	′	°	′
		°	′		°	′				
С	М	132	18	19	КП 132	18′,5	91	46	91	45′,5
	N	40	33	32	40	32′,5				
	М	221	11	11	221	11	91	45		
	N	129	26	26	129	26				

Если в первом полуприеме угол измеряют при КП, то второй раз—при КЛ. Для этого трубу переводят через зенит, и, открепив закрепительный винт лимба повторительного теодолита, поворачивают его примерно на 90°. Затем снова закрепляют винт. Угол при КЛ измеряют точно также как и при КП. По полученным отсчетам вторично вычисляют значение измеряемого угла и полученный результат записывают в журнал.

На этом заканчивается второй полуприем.

Два полуприема измерения угла составляют один полный прием. При этом расхождение вычисленного угла в каждом из полуприемов не должно превышать величину большей двойной точности верньера (микроскопа) горизонтального круга.

За окончательный результат принимают среднее из двух значений. В нашем примере измеренный угол равен 91°45′,5.

Если значения угла, измеренного при КЛ и КП, отличаются между собой больше чем на 2′, то в этом случае проверяют записи и вычисления в журнале. Если ошибка не обнаружена, угол измеряют вновь.

Б. Способ повторений. Выполняется только повторительным теодолитом. Горизонтальный угол измеряют n раз при одном и том же положении вертикального круга.

Для измерения горизонтального угла этим способом теодолит устанавливают в рабочее положение над точкой в вершине измеряемого угла С (рис. 78,в), совмещают нуль лимба с нулевым штрихом первого верньера алидады горизонтального круга и в таком положении закрепляют алидаду на лимбе.

Допустим, что алидада установлена при КП. После этого, вращая лимб, визирную ось наводят на точку N и закрепляют его; по обоим верньерам горизонтального круга делают отсчеты и записывают их в журнал (табл. 30) против точки N (0°00′). Затем открепляют алидаду горизонтального круга и, плавно вращая ее по ходу часовой стрелки, визирную ось наводят на правую точку М. Окончательную установку производят ввинчиванием наводящего винта алидады.

Затем делают отсчеты по двум верньерам, записывают их в журнал (гр. 4—6) против точки М и заключают в скобки или подчеркивают. В нашем при-

Журнал измерения углов способом повторений
 Теодолит ТТ-5 № 715. Дата измерений — 27/IV 1971 г.
 Исполнитель — Куц В. И.

Станция	Точка визирования	Число повторений	Отсчет						n-кратный угол		Угол		Среднее значение угла	
			I верньер		II вер- ньер	Среднее из отсчетов $\frac{I+II}{2}$								
			°	'		'	°	'	°	'	°	'		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
С	N		0	КП 00	00	0	00	205	25,5	68	28,5	68	28,5	
	M	1	(68	28,5	28,0)	68	28,25							
	M	3	205	25,5	25,5	205	25,5							
				КЛ										
	M		25	25,5	25,5	25	25,5	205	25,5	68	28,5			
	N	3	230	50,5	51,5	230	51,0							

мере средний отсчет равен $68^{\circ}28',25$ (гр. 7, 8). Он является примерной величиной измеряемого угла и называется контрольным.

На этом первое повторение заканчивается.

Потом угол измеряют вновь. Для этого алидада остается закрепленной, а лимб открепляют и плавным вращением его вместе с алидадой по ходу часовой стрелки наводят визирную ось трубы на точку *N* и закрепляют лимб. Отсчет по верньеру не делают.

Затем, вращая алидаду на закрепленном лимбе по ходу часовой стрелки, снова визируют на точку *M* и отсчет по верньерам не производят. На этом заканчивается второе повторение.

Измерение одного и того же угла повторяют несколько (*n*) раз, заканчивая его на правую точку *M*. Произведенный при последнем визировании отсчет по двум верньерам записывают в журнал (гр. 4—6). Поскольку первоначальный отсчет при наведении на точку *N* был $0^{\circ}00'$ (см. табл. 30), то последний (средний), полученный при наведении на точку *M*, равный $205^{\circ}25',5$ и составит *л*-кратное значение измеряемого угла (гр. 9—10), в нашем примере число повторений равно трем.

Искомый угол $MCN = \beta$, определяемый из этого полуприема, будет

$$\beta = \frac{205^{\circ}25',5}{3} = 68^{\circ}28',5 \text{ (гр. 11, 12).}$$

На этом заканчивается первый полуприем измерения угла способом повторений при КП.

Затем переводят зрительную трубу через зенит, открепляют лимб и при положении КЛ визируют на правую точку *M*, пользуясь наводящим винтом лимба. Снова производят отсчеты по двум верньерам горизонтального круга и записывают их в журнал (см. табл. 30). В рассматриваемом примере средний из них равен $25^{\circ}25',5$. Потом открепляют алидаду и, вращая ее против хода часовой стрелки, визируют на точку *N* (отсчета по верньерам не делают). Отпускают лимб и, вращая его против хода часовой стрелки, снова

визируют на точку M . Измерение угла повторяют столько же раз, сколько и при КП.

Второй полуприем заканчивают визированием на точку N и отсчетами по двум верньерам, средний из которых для нашего примера равен $230^{\circ}51',0$ (гр. 7, 8).

Следует помнить, что при измерениях способом повторений нулевой штрих верньера может несколько раз пройти мимо штриха 360° на лимбе. Поэтому к последнему отсчету, перед тем как делить его на число повторений, необходимо прибавить 360° , умноженные на число, показывающее сколько раз мимо него проходил нулевой штрих верньера. Для этого и записывают контрольный отсчет, получаемый после первого повторения.

§ 34. Точность измерения горизонтальных углов

На точность измерения горизонтальных углов оказывают влияние ошибки угломерного инструмента (инструментальные) и технологические, зависящие от точности центрирования прибора над вершиной измеряемого угла, от установки вех, визирувания и отсчитывания.

Существенное влияние оказывают также ошибки центрирования инструмента и отклонения наблюдаемых предметов (вех или шпилек) от вертикального положения. При этом чем меньше длина сторон угла, тем больше ошибка.

Уменьшения ошибок за наклон можно достигнуть установлением вех по возможности отвесно и визируванием на их низ.

В горной местности с особой тщательностью следует устанавливать основную ось теодолита в отвесное положение, иначе ошибки неизбежны. Что же касается точности визирувания или ошибки от наведения визирной оси на точку, то для теодолитов с $20\times$ увеличением она будет равна $60'' : 20 = 3''$.

Эта ошибка меньше точности отсчета по микроскопу таких теодолитов, как Т05, Т1, Т2, Т5.

При измерении угла после наведения на точку отсчеты делаются по лимбу со средней квадратической ошибкой $m_0 = \frac{t}{2}$ (здесь t — точность отсчетного приспособления). Она принимается за ошибку измеренного направления измеряемого угла. Эта ошибка, как разности двух направлений, будет

$$m_{\beta} = m_0 \sqrt{2} = \frac{t}{2} \sqrt{2}. \quad (105)$$

Средняя квадратическая ошибка угла, измеренного одним приемом,

$$m_{\beta} = \frac{t}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = \frac{t}{2}. \quad (106)$$

Предельная (утроенная ошибка) определяется по формуле

$$m_{\beta \text{ пред}} = 3m_{\beta} = 3 \frac{t}{2} = 1,5t. \quad (107)$$

Средняя квадратическая ошибка разности двух значений угла в полуприемах будет

$$m_d = m_{\beta} \sqrt{2} = \frac{t}{2} \sqrt{2} \cdot \sqrt{2} = t, \quad (108)$$

а предельная, в данном случае, принимается удвоенной, т. е.

$$m_d \text{ пред} = 2m_d = \pm 2t. \quad (109)$$

Следовательно, расхождение между двумя значениями угла в полуприемах не должно превышать двойной точности отсчетного приспособления.

§ 35. Измерение вертикальных углов

Измерение вертикальных углов производится при помощи специального круга. Этот круг 1 (рис. 79) жестко скреплен со зрительной трубой 4 и вращается вместе с ней.

Здесь же имеется алидада 2 с отсчетными устройствами и цилиндрическим уровнем 3, предназначенным для установки нулевого диаметра* верньеров в одно и то же положение относительно горизонта при визировании трубой на предмет. При вращении зрительной трубы вокруг горизонтальной оси вместе с трубой вращается и лимб вертикального круга, а алидада остается неподвижной.

На рис. 79, а, б показаны две системы расположения градусных делений и их надписей на вертикальных лимбах геодезических инструментов.

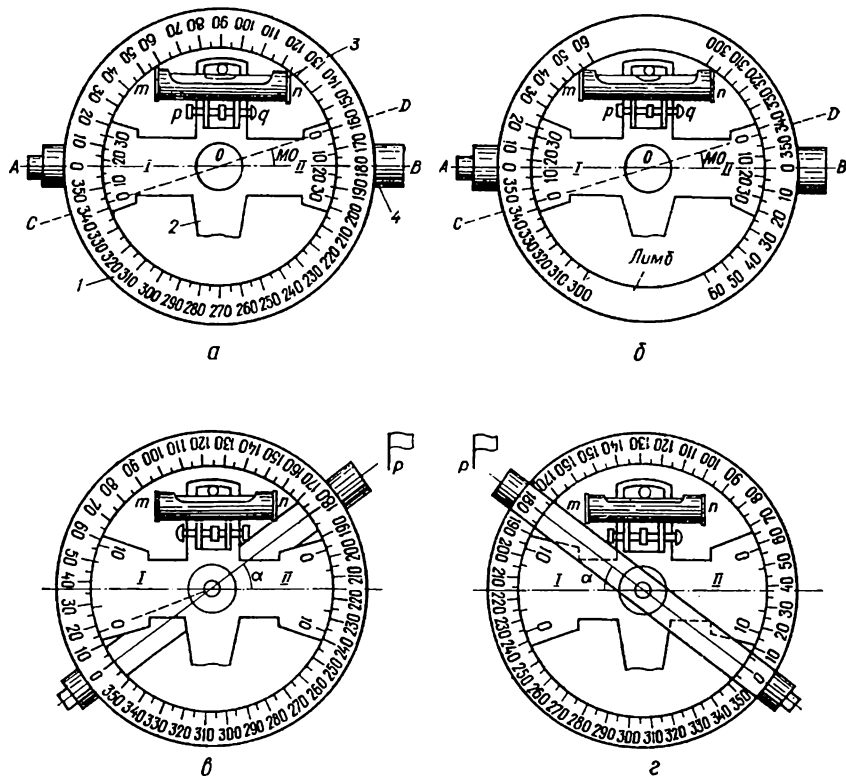


Рис. 79. Измерение вертикальных углов.

Основное условие, которому должен удовлетворять вертикальный круг теодолита, заключается в том, чтобы визирная ось была параллельна оси уровня при алидаде вертикального круга, когда отсчеты по верньерам на этом круге равны нулю. Это условие может быть выполнено в случае, когда: 1) визирная ось параллельна нулевому диаметру вертикального лимба; 2) ну-

* Прямая, проходящая через нулевые штрихи верньеров.

левой диаметр вертикального круга параллелен горизонтальной оси цилиндрического уровня, находящегося в ней.

Если визирная ось AB параллельна нулевому диаметру вертикального лимба, ось цилиндрического уровня mn при алидаде вертикального круга (см. рис. 79 а, б) не параллельна нулевому диаметру верньеров CD и пузырек уровня при этом установлен в центре ампулы, а визирная ось AB находится в горизонтальном положении, то линии CD и AB образуют некоторый угол MO , называемый местом нуля вертикального круга.

Таким образом, место нуля (MO) — это отсчет по вертикальному кругу инструмента в тот момент, когда визирная ось горизонтальна, а центр пузырька уровня, закрепленного на алидаде вертикального круга, находится в нульпункте.

Формулы для вычисления вертикальных углов современных инструментов, в зависимости от градуировки лимбов вертикальных кругов, имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} v &= KP - MO; \\ v &= MO - KP - 180^\circ; \\ v &= \frac{KP - KЛ - 180^\circ}{2}; \\ v &= \frac{KP - KЛ}{2}; \\ v &= KP - MO = MO - KЛ. \end{aligned} \right\} \quad (110)$$

Место нуля (MO) вычисляется при этом по формулам

$$\left. \begin{aligned} MO &= \frac{KP + KЛ + 180^\circ}{2}; \\ MO &= \frac{KP + KЛ}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (111)$$

Примечание. К отсчетам, меньшим 90° , в первом случае необходимо прибавлять 180° , а во втором 360° .

У исправного теодолита в течение рабочего дня MO определяется 2—3 раза. Поэтому следует помнить, что перед каждым снятием отсчетов по верньерам вертикального круга необходимо при помощи наводящего винта (рис. 79, а, г) центр пузырька уровня алидады вертикального круга совмещать с нульпунктом ампулы.

Примеры. Отсчеты произведены по вертикальному кругу теодолита Т30 или ТТ5 по первому верньеру при $KP=1^\circ 24'$ и $KЛ=178^\circ 38'$.

$$MO = \frac{361^\circ 24' + 178^\circ 38' + 180^\circ}{2} = 0^\circ 01';$$

$$v = \frac{361^\circ 24' - 178^\circ 38' - 180^\circ}{2} = +1^\circ 23'$$

$$\text{или } 1^\circ 24' - 0^\circ 01' = 360^\circ 01' - 178^\circ 38' - 180^\circ = +1^\circ 23'.$$

Углы наклона вверх от горизонта считаются положительными, а вниз — отрицательными.

Для удобства вычисления вертикальных углов место нуля должно быть близко к нулю.

Выполнение этого условия проверяется многократным визированием на ряд точек при двух положениях вертикального круга. Если вычисленное значение MO превышает двойную точность верньера, его уменьшают следующим образом. Микрометренным винтом при алидаде вертикального круга устанавливают

пузырек уровня на середину. Потом, действуя микрометрическим винтом трубы, ставят на вертикальном круге отсчет, равный среднему вычисленному значению места нуля. Визирная ось трубы при этом займет горизонтальное положение.

Далее следует повернуть алидаду так, чтобы при горизонтальном положении оси уровня и визирной оси трубы отсчет по верньеру был равен 0° . Для этого микрометрическим винтом алидаты совмещают нули верньера и вертикального круга (пузырек уровня при этом сместится со середины). Действуя исправительными винтами уровня, пузырек приводят на середину.

Для контроля поверка повторяется.

§ 36. Нивелиры

Общие положения. Для определения положения точек по высоте измеряют превышения одних точек относительно других, по которым затем вычисляют их отметки в некоторой единой системе, т. е. их высоты относительно уровня моря, принятого условно за начальную отметку равную нулю*.

В геодезии для измерения превышений пользуются тремя методами нивелирования: геометрическим, тригонометрическим, или геодезическим, и барометрическим.

Геометрический способ дает наиболее высокую точность, но, вместе с тем, требует больших затрат труда. Для выбора способа нивелирования во внимание следует принимать прежде всего точность и задачи, поставленные перед производителем работ.

При геометрическом нивелировании превышения определяют непосредственно при помощи горизонтальной визирной линии. Для ее получения можно воспользоваться свободной поверхностью жидкости или сообщающимися сосудами, в которых жидкость под влиянием силы тяжести устанавливается на одном уровне, или маятником, под действием силы тяжести занимающим отвесное положение, либо свойством пузырька уровня занимать самое высокое из возможных положений с бочкообразно отшлифованной внутренней поверхностью.

В тригонометрическом нивелировании превышения вычисляют по измеренным зенитным расстояниям (или углам наклона) визирного луча и по расстояниям от инструмента до точек визирования.

При барометрическом нивелировании превышения определяют по разности измеренного атмосферного давления.

Действие гидростатических нивелиров основано на физическом законе, согласно которому поверхность жидкости, находящаяся в спокойном состоянии в сообщающихся сосудах, образует горизонтальную плоскость. Визирная линия в гидростатических нивелирах автоматически приводится в горизонтальное положение.

Современные нивелиры делятся на три группы: с цилиндрическими уровнями, с самоустанавливающейся линией визирования, с наклонным лучом визирования.

В соответствии с ГОСТ 10528—63, в настоящее время к выпуску утверждены восемь типов нивелиров, приведенных в табл. 31.

Основные технические характеристики современных нивелиров представлены в табл. 32.

В зависимости от конструкции эти нивелиры подразделяются на глухие с уровнем при зрительной трубе (Н), с самоустанавливающейся линией визирования (НС) и с наклонным лучом визирования (НЛС).

Они имеют три основные части: подставку, зрительную трубу и цилиндрический уровень. Предварительная установка этих приборов производится при помощи круглого уровня.

* В СССР принята Балтийская система высот.

Типы нивелиров

Обозначение инструмента по ГОСТ 10528—69	Характеристика нивелира	Инструмент, соответствующий ГОСТу
Н1	Высокоточный, предназначенный для нивелирования 1-го класса, глухой с элевационным винтом и плоско-параллельной пластинкой Средняя квадратическая ошибка не более $\pm 0,5$ мм на 1 км хода	НА-1, НБ-1, Ni-004, Ni-A1
Н2	Высокоточный, глухой, для нивелирования 2-го класса, с элевационным винтом и плоско-параллельной пластинкой Средняя квадратическая ошибка не более ± 1 мм на 1 км хода	То же
НС2	Высокоточный с самоустанавливающейся линией визирования и плоско-параллельной пластинкой, для нивелирования 2-го класса со средней квадратической ошибкой ± 1 мм на 1 км хода	Koni—007
Н3	Точный, глухой с уровнем и элевационным винтом, для нивелирования 3-го класса со средней квадратической ошибкой не более ± 4 мм на 1 км хода	НС-2; НВ-1; НГ; Ni-030; Ni-B1
НС3	Точный с самоустанавливающейся линией визирования, для нивелирования 3-го класса со средней квадратической ошибкой ± 4 мм на 1 км хода	НСМ-2М; НЗК-1; Koni-0,25; Ni-B3; Ni-B5
НС4	Точный с самоустанавливающейся линией визирования и горизонтальным кругом для нивелирования 4-го класса со средней квадратической ошибкой ± 8 мм на 1 км хода	Нивелиры типа Н3; НС3; НС4
НТ	Технический с самоустанавливающейся линией визирования и горизонтальным кругом для технического нивелирования со средней квадратической ошибкой ± 15 мм на 1 км хода	То же
НЛС	Технический с самоустанавливающимся высотным штрихом, наклонным лучом визирования и горизонтальным кругом для технического нивелирования со средней квадратической ошибкой ± 30 мм на 1 км хода	НЛ-3

Технические характеристики нивелиров

№ п.п.	Шифр нивелира по ГОСТ 10528-66	Название и характеристика нивелира	Применение	Предельная работа ком-пенсатора	Коэффициент дальности зрительной трубы	Температурный диапазон работ, град С	Средняя квадратическая ошибка, мм, не более			Длина зрительной трубы, мм	Увеличение зрительной трубы, крат	Цена деления уровня на 2 мм		Вес нивелиров без штатива, кг
							на 1 км хода станции	определения превышений на рейке	при расстановках между нивелиром и рейкой, м			при трубе	установочного	
1	НС4	Точный с самоустанавливающейся линией визирования и горизонтальным кругом	Нивелирование 4-го класса	± 15'	100 ± 0,5%	от - 40 до + 50	± 8,0	± 3,0	100,0	220	30	—	10	2,5
2	НТ	Технический с уровнем или с самоустанавливающейся линией визирования и горизонтальным кругом	Техническое нивелирование	± 15'	100 ± 0,5%		± 15,0	± 6,0	150,0	160	20	30	10	2,0
3	НЛС	Технический с самоустанавливающимся высотным штрихом, с наклонным лучом визирования и горизонтальным кругом	То же	± 3°	100 ± 0,5%		± 30,0	± 15,0	150,0	190	30	—	10	2,0

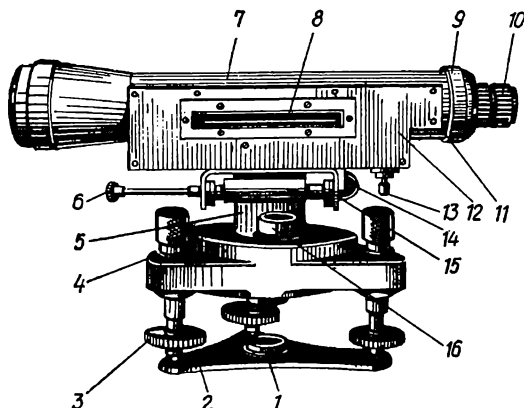
Примечания: 1. Штативы деревянные нераздвижные длиной 1,5-1,6 м.

2. Рейки шашечные двухсторонние трехметровые, шашечные складывающиеся трехметровые, двухсторонние или четырехметровые односторонние.

Глухой нивелир НГ (рис. 80) имеет зрительную трубу и цилиндрический уровень, скрепленные с подставкой наглухо. Сам уровень заключен в коробку 8 вместе с системой призм (рис. 81, а), передающей изображение половинок концов пузырька в поле зрения лупы 12. Положению пузырька в нульпункте соответствует оптический контакт концов его половинок (рис. 81, б). Такой уровень называют контактным. При наклоне его оси контакт нарушается (рис. 81, в). Пузырек освещается иллиминатором 15 через прорезь в нижней части коробки.

Рис. 80. Глухой нивелир НГ:

1 — отверстие для головки стандартного винта; 2 — пластинка; 3 — подъемный винт; 4 — трегер; 5 — осевая втулка; 6 — ручка для вращения иллиминатора; 7 — зрительная труба; 8 — окно коробки уровня; 9 — крышка, закрывающая исправительные винты сетки нитей; 10 — окулярная трубочка; 11 — отверстие с лупой для наблюдения положения пузырька уровня; 12 — коробка цилиндрического уровня; 13 — исправительный винт уровня; 14 — наводящий винт; 15 — иллиминатор для освещения уровня; 16 — круглый уровень.



Ампула цилиндрического уровня имеет запасную камеру, позволяющую регулировать длину пузырька. Последний увеличивается при наклоне объекта вверх и уменьшается при наклоне вниз.

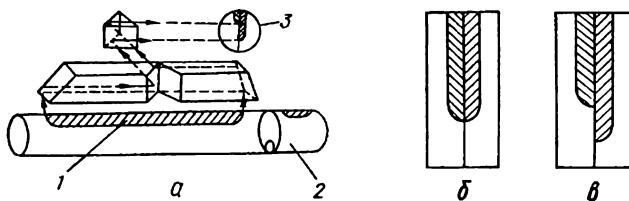


Рис. 81. Призменная система контактного уровня:

1 — пузырек; 2 — запасная камера; 3 — поле зрения лупы.

Глухой нивелир НВ-1 (рис. 82). По сравнению с нивелиром НГ этот прибор имеет следующие конструктивные особенности: сетка нитей у него не имеет исправительных винтов; изображение половинок концов пузырька цилиндрического уровня при помощи специальной призменной системы передано в поле зрения трубы (рис. 83); совмещение половинок пузырька уровня производится при помощи элевационного винта.

Цилиндрический уровень компенсированный; с изменением температуры длина его пузырька практически не меняется.

Нивелиры НГ и НВ-1 предназначены для выполнения нивелирования 3, 4-го классов и технического.

Нивелир НТ (рис. 84). Зрительная труба вместе с прикрепленным к ней уровнем перекладывается в подставках. Предназначен для технического нивелирования.

Основные оптические и конструктивные данные рассмотренных приборов приведены в табл. 33.

Оптические и конструктивные данные нивелиров

Наименование показателей	Тип нивелира		
	НГ	НВ-1	НТ
Зрительная труба:			
Увеличение	31×	31×	31×
Поле зрения	60'	1°20'	60'
Наименьшее расстояние визирования, м	3	3	3
Цена деления цилиндрического уровня (на 2 мм)	17—25"	17—23"	17—25"

Нивелиры с самоустанавливающейся горизонтальной линией визирования. Нивелиры этой группы имеют специальное устройство — компенсатор, приводящий линию визирования в горизонтальное положение автоматически.

Во время работы, если наклон трубы не более 90'', линия визирования сохраняет горизонтальное положение. Это достигается при помощи круглого уровня.

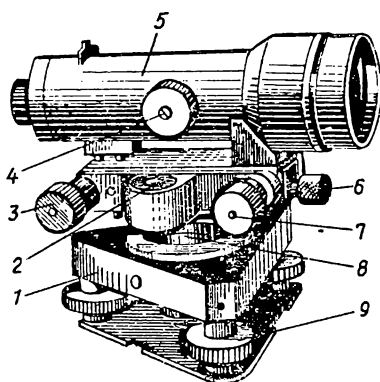


Рис. 82. Нивелир НВ-1:

1 — трегер; 2 — круглый уровень; 3 — элевационный винт; 4 — кремальера; 5 — зрительная труба; 6 — закрепительный винт; 7 — наводящий винт; 8 — исправительные винты круглого уровня; 9 — подъемный винт.

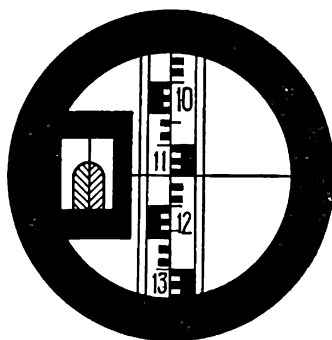


Рис. 83. Поле зрения зрительной трубы нивелира НВ-1 (отсчет 1148 мм).

Нивелир НСМ-2А (рис. 85). Прибор создан А. Н. Мещеряковым. Нашими заводами выпускается серийно. Он относится к инструментам с линзовым компенсатором, позволяющим работать при наклоне оси в пределах ± 10 .

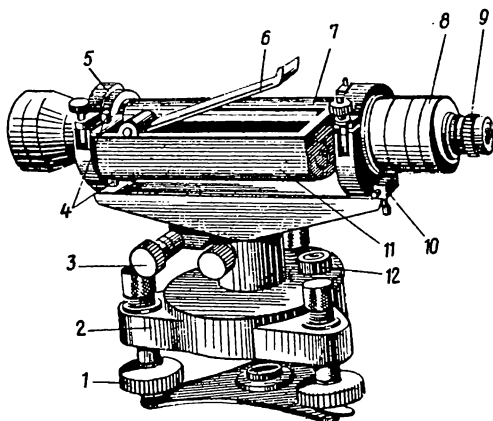
Компенсатор (рис. 86) состоит из двух линз: положительной плоско-выпуклой 2, установленной неподвижно в одной оправе с объективом трубы, и отрицательной плоско-вогнутой 1, подвижной, подвешенной на стальных нитях 3 в корпусе трубы.

При наклоне трубы на угол, не превышающий 10', отрицательная линза, смещаясь на величину h (пропорциональную углу γ и плечу l), отклоняет луч в направлении, противоположном углу наклона трубы. Благодаря этому линия визирования устанавливается горизонтально автоматически.

Предварительная установка производится по двум взаимно перпендикулярным цилиндрическим уровням. Смещение отрицательной линзы на угол более $120''$ вызывает ухудшение изображения рейки. Таким образом, качество изображения позволяет контролировать правильность установки нивелира.

Рис. 84. Технический нивелир НТ:

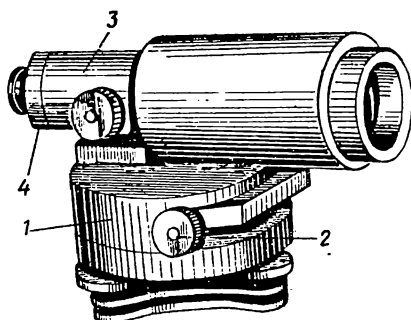
1 — подъемные винты; 2 — трегер; 3 — наводящий винт трубы; 4 — исправительные винты уровня; 5 — застежка; 6 — крышка уровня с зеркалом; 7 — зрительная труба; 8 — крышка, закрывающая исправительные винты сетки; 9 — окулярная трубочка; 10 — винт упора; 11 — цилиндрический уровень; 12 — круглый уровень.



В настоящее время многие наши заводы перешли на изготовление нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования. По такому принципу работают инструменты французской фирмы «SLOM» — SNA-2, японские типа

Рис. 85. Нивелир HCM-2A:

1 — подставка зрительной трубы; 2 — микрометрический винт трубы; 3 — зрительная труба; 4 — колпачок, прикрывающий исправительные винты сетки нитей.



AL-2 и AL-3 фирмы «Сокиша Лимитед» и Nikon N фирмы «Ниппон — Когаку», австрийские типа Ni-V и Ni-VI фирмы «Братья Миллер», английские «Autoset — Level-2» фирмы «Хильгер Уотс» и ST-77 фирмы «Виккерс Лими-

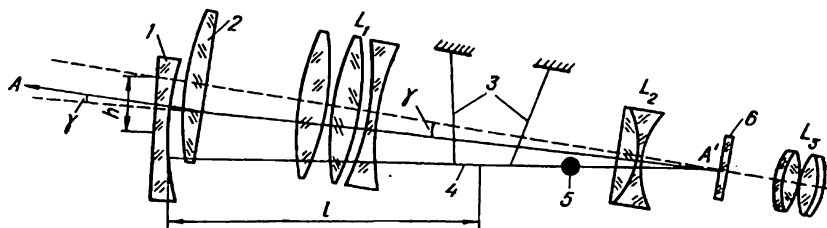


Рис. 86. Схема оптической системы трубы и компенсатора нивелира HCM-2A: 1 — плоско-выпуклая отрицательная линза компенсатора; 2 — плоско-выпуклая положительная линза компенсатора; 3 — система подвески; 4 — подвижное звено; 5 — противовес; 6 — пластинка с сеткой нитей; L_1 — объектив; L_2 — фокусирующая линза; L_3 — окуляр.

тед», нивелиры *Ni-025*, *Ni-050*, *Koni-007* народного предприятия «Карл Цейсс» в Иене, венгерские *Ni-B3*, *Ni-B4*, *Ni-B6* и др.

Нивелир с наклонным лучом визирования. Прибор этой конструкции НЛ-3 (рис. 87) предназначен для работы горизонтальным и наклонным лучом.

Применение наклонного луча позволяет повысить производительность труда при работе на холмистой и горной местности.

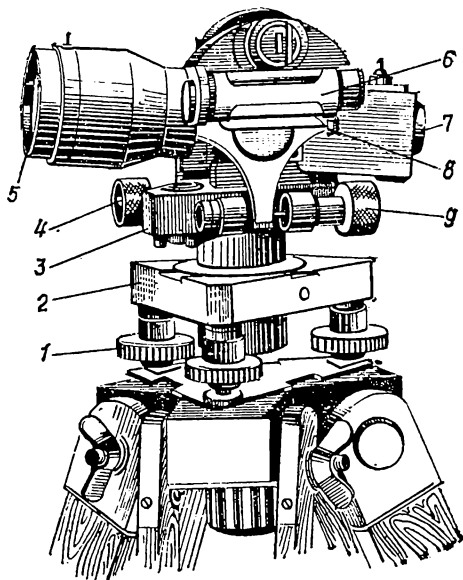


Рис. 87. Нивелир НЛ-3:

1 — подъемный винт; 2 — трегер; 3 — круглый уровень; 4 — наводящий винт трубы; 5 — объектив; 6 — уровень высотомера; 7 — окуляр; 8 — исправительные винты уровня высотомера; 9 — микрометрический винт уровня высотомера.

Для определения превышений наклонным лучом зрительная труба нивелира имеет оптический высотомер с прямолинейным высотным штрихом (рис. 88). В поле зрения трубы высотный штрих перемещается относительно неподвижной сетки нитей. Отсчет по рейке при помощи высотного штриха производится аналогично отсчету по горизонтальной нити ранее описанных нивелиров.

При нивелировании из середины наклонным лучом превышение определяется по формуле

$$h = K(a - b) - (K - 1)(n_a - n_b), \quad (112)$$

где a и b — отсчеты по высотному штриху по задней и передней рейкам;

n_a и n_b — отсчеты по средней горизонтальной нити сетки на те же рейки; K — коэффициент высотомера.

При нивелировании со середины горизонтальным лучом надо совместить высотный штрих со средней горизонтальной нитью сетки. Превышение в этом случае вычисляют по формуле

$$h = a - b. \quad (113)$$

§ 37. Нивелирные рейки

Нивелирные рейки представляют собой деревянные бруски одно- или двутаврового сечения длиной 3—4 м, шириной 8—10 и толщиной 2—3 см. Они бывают цельные, складные и раздвижные (рис. 89). На рейках, предназначенных для нивелирования 3, 4-го класса и технического, нанесены сантиметровые или двухсантиметровые деления. Каждый дециметр подписан перевернутыми цифрами. Поэтому в трубе наблюдается их прямое изображение.

Для контроля отсчетов деления на рейках нанесены на двух сторонах. На одной чередуются черные и белые (черная сторона), а счет идет от окованной пятки, с которой совмещен нуль. Другая содержит чередующиеся красные и белые деления (красная сторона). Рейки бывают различной раскраски и

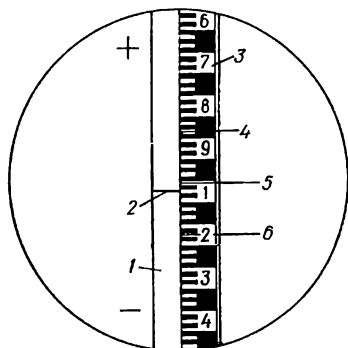


Рис. 88. Поле зрения трубы нивелира НЛ-3:

1 — посеребренная пластинка; 2 — высотный штрих; 3 — рейка; 4, 5, 6 — штрихи сетки нитей.

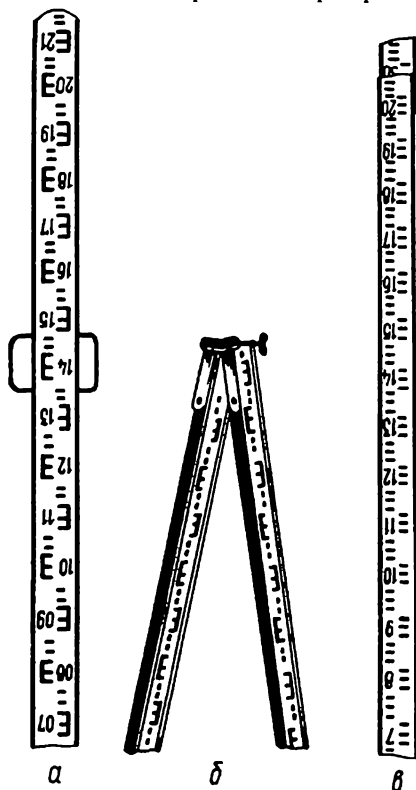


Рис. 89. Нивелирные рейки:
а — цельные; б — складные; в — раздвижные.

оцифровки: а) с сантиметровыми делениями, где с пяткой рейки совмещен отсчет 40 дм, отсчеты по черной и красной сторонам разные, но их разность дает одно и то же превышение; б) с одиннадцатимиллиметровыми делениями, где с пяткой рейки совмещен нуль (иногда 7 дм).

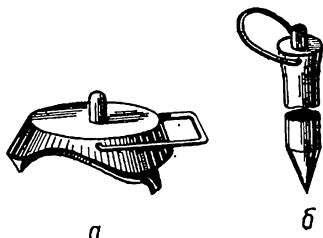


Рис. 90. Приспособления для установки реек:

а — башмак; б — костыль.

Для перевода превышений, полученных по красной стороне, в миллиметры, их надо умножить на коэффициент 1,1. К пяткам красных сторон двух реек одного комплекта приписаны отсчеты, различающиеся на 100 мм.

Имеются рейки, у которых черные и красные шкалы делений наносятся на одной стороне.

Во время работы рейки устанавливают на деревянные колья, железные башмаки или костыли (рис. 90, а, б).

Нивелирные рейки, в соответствии с ГОСТ 11158—65, по своему назначению подразделяются на типы, приведенные в табл. 34.

Для установки в отвесное положение рейки снабжены круглыми уровнями,

Типы нивелирных реек

Тип рейки	Характер и класс нивелирования	Особенности конструкции рейки
А. Согласно ГОСТ 11158—65		
РН-1	1	Цельные штриховые. Деления наносятся на полосу инвара, натянутую на деревянном бруске, длиной 3 и 1,7 м
РН-2	2	Расстояния между осями штрихов 5 мм
РН-3	3 и 4	Цельная двусторонняя шашечная. Деления наносятся непосредственно на деревянный брусок длиной 3 м, величина шашек 10 мм
РН-4	4, на поверхности и в горных выработках	Складная шашечная. Деления наносятся на деревянные бруски длиной 4 и 2,1 м, величина шашек 10 мм
РН-5	Техническое нивелирование	Складная шашечная. Деления наносятся на деревянный брусок длиной 3—5 м

Б. Находящиеся в обращении

Прецизионная	1 и 2, на поверхности	Инварная штриховая односторонняя с двумя шкалами. Расстояние между осями штрихов 5 мм. Длина 3 м
Высоцкого	3 и 4, на поверхности	Цельная двусторонняя с сантиметровыми делениями черного и красного цветов, длиной 3 м
НР-3	3 и 4, на поверхности	Складная двусторонняя с сантиметровыми делениями черного и красного цветов, нанесенными на деревянные бруски
НР-4	Техническое нивелирование на поверхности	Складная односторонняя с сантиметровыми делениями на деревянных брусках. Длина 4 м
НР-1,5	Нивелирование подземных выработок	Цельная двусторонняя с сантиметровыми делениями красного и черного цветов на деревянном бруске длиной 1,5 м

за исключением предназначенных для технического нивелирования. В последнем случае при визировании рейку плавно покачивают вдоль линии нивелирования. Наименьший отсчет соответствует отвесному положению рейки. Если отсчет меньше 1000 мм, то ее не покачивают.

Перед работой рейки должны быть поверены. Поверка заключается в определении (компарировании) их общей длины, сверке метровых и дециметровых делений. У реек, применяемых при нивелировании 3-го класса, ошибки дециметровых делений не должны превышать 0,5 мм, а 4-го — 1 мм.

Компарирование производят при помощи контрольного метра.

Рейки, применяемые при техническом нивелировании, компарируют выверенной стальной рулеткой с миллиметровыми делениями.

§ 38. Поверки и юстировки нивелиров

Главное геометрическое условие, которому должны удовлетворять нивелиры НГ, НВ-1 и НТ, следующее: визирная ось трубы и ось цилиндрического уровня должны быть параллельны (рис. 91). Для достижения этого условия выполняются поверки и, при необходимости, юстировки нивелира. Если это условие выполнено, то, после приведения пузырька цилиндрического уровня в нульпункт, визирная ось будет горизонтальной.

А. Поверки нивелира НГ. 1. *Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси инструмента.*

Производят предварительную установку нивелира при помощи круглого уровня. Устанавливают цилиндрический уровень по направлению двух подъемных винтов и, действуя ими, приводят концы половинок пузырька в контакт. Поворачивают уровень на 180° . Если после этого контакт сохранился, то условие выполнено. В противном случае, действуя исправительным винтом уровня, уменьшают расстояние между концами половинок пузырька на половину отклонения. Проверку для контроля повторяют, для чего концы половинок пузырька вновь приводят в контакт, поворачивают уровень на 180° и далее поступают в соответствии с описанными выше действиями.

Для приведения оси нивелира в отвесное положение устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта и, действуя им, приводят пузырек в нульпункт.

2. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.*

После приведения оси нивелира в отвесное положение пузырек круглого уровня должен быть в середине. Это условие гарантируется заводом. Если оно не выполнено, то ослабляют винты, прикрепляющие круглый уровень к трегеру, и подкладывают станиоль под оправу с таким расчетом, чтобы после закрепления уровня винтами его пузырек оказался в середине.

3. *Средняя горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси инструмента.*

Приводят ось инструмента в отвесное положение. Устанавливают рейку в 50—70 м от нивелира, наводят на нее трубу так, чтобы изображение рейки было у края поля зрения, и производят отсчет. Вращением микрометрического винта переводят изображение рейки на другой край поля зрения и вновь производят отсчет. Оба отсчета должны быть одинаковыми. В противном случае, ослабив исправительные винты сетки, поворачивают диафрагму с сеткой до получения одинаковых отсчетов.

4. *Визирная ось должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (главное условие).*

Поверка производится двойным нивелированием одной и той же линии с разных ее концов. Длина линии 50—70 м.

Устанавливают нивелир окуляром над точкой А (рис. 92, а), приводят инструмент в рабочее положение и измеряют его высоту i_1 . В точке В устанавливают рейку и производят отсчет. Если визирная ось не параллельна оси уровня, то вместо правильного отсчета b_0 будет прочитан отсчет b_1 , содержащий ошибку x .

Из рис. 92, а видно, что

$$h = i_1 - b_0 = i_1 - (b_1 - x). \quad (114)$$

Меняют местами нивелир и рейку (рис. 92, б), приводят нивелир в рабочее положение, измеряют высоту инструмента i_2 и производят отсчет b_2 по рейке.

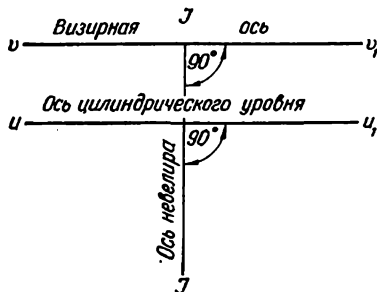


Рис. 91. Главное геометрическое условие.

Так как превышение постоянно, то отсчет b_2 будет ошибочен на ту же величину x , а потому

$$h = b'_0 - i_2 = b_2 - x - i_2. \quad (115)$$

Решая уравнение (115) относительно x , получим

$$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (116)$$

Ошибка x не должна превышать ± 4 мм. В противном случае, действуя исправительными винтами сетки нитей, устанавливают ее центр на отсчет

$$b'_0 = b_2 - x.$$

В заключение надо убедиться в том, что третье условие не нарушено.

Б. Проверки нивелира НВ-1. 1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.*

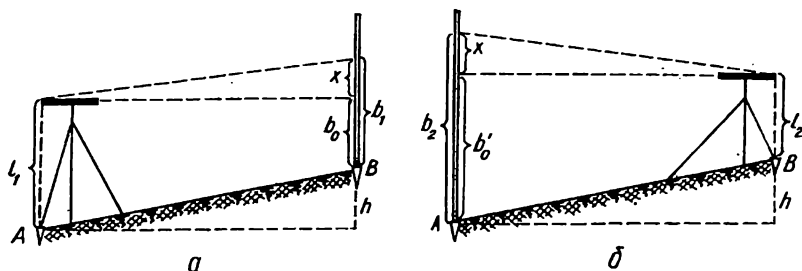


Рис. 92. К проверке параллельности визирной оси — оси цилиндрического уровня.

Действуя подъемными винтами, приводят пузырек уровня в нульпункт и поворачивают верхнюю часть инструмента на 180° . Если после этого пузырек остался в нульпункте, то условие выполнено. В противном случае, действуя исправительными винтами δ (см. рис. 82), перемещают пузырек в направлении нульпункта на половину отклонения.

2. *Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси нивелира.*

Проверка производится так же, как у нивелира НГ. Исправление производится поворотом сетки нитей. Для этого предварительно надо снять предохранительную крышку сетки нитей.

3. *При отвесном положении оси нивелира ось цилиндрического уровня и визирная ось трубы должны лежать в отвесных параллельных плоскостях.*

Производят предварительную установку нивелира по круглому уровню. Устанавливают трубу по направлению одного из подъемных винтов, приводят изображение пузырька цилиндрического уровня в контакт и производят отсчет по рейке, установленной в 50—70 м от инструмента. Вращением в разные стороны (на несколько оборотов) двух подъемных винтов, расположенных перпендикулярно линии визирования, наклоняют нивелир. При этом следят, чтобы отсчет по рейке не изменился, и замечают положение половинок концов пузырька уровня. Приводят нивелир в исходное положение и убеждаются в том, что отсчет по рейке не изменился. Действуя теми же подъемными винтами, наклоняют нивелир в другую сторону, сохраняя неизменным отсчет по рейке. Если при наклонах нивелира изображение концов половинок уровня оставалось в контакте или расходилось в одну сторону, то условие выполнено.

Если изображение расходилось в разные стороны, то исправление производят боковыми исправительными винтами уровня.

4. *Проверка главного условия — ось цилиндрического уровня должна быть параллельна визирной оси.*

Проверка осуществляется так же, как у нивелира НГ. Исправление производится следующим образом:

- а) действуя элевационным винтом, приводят среднюю нить сетки на отсчет, определяемый формулой;
- б) действуя исправительными винтами цилиндрического уровня, приводят концы его пузырька в контакт.

В. Проверки нивелира НТ. 1. *Визирная ось должна совпадать с геометрической.*

Геометрической осью называется воображаемая линия, соединяющая центры сечения цапф.

Устанавливают нивелир в 50—70 м от стены здания и отмечают на ней точку (рис. 93), в которую проектируется центр сетки. Поворачивают трубу в подставках на 180° вокруг геометрической оси. Если центр сетки проектируется в ту же точку *a*, то условие выполнено.

В противном случае отмечают другую точку *в*, куда проектируется центр сетки. Намечают середину *с* отрезка *ав*. Действуя исправительными винтами сетки, совмещают ее центр с точкой *с*.

2. *Оси цилиндрического уровня и визирная должны лежать в отвесных параллельных плоскостях при отвесном положении оси нивелира.*

Условие гарантируется заводом.

3. *Ось цилиндрического уровня должна быть параллельна нижней образующей цапф.*

Устанавливают уровень по двум подъемным винтам и, действуя ими, выводят пузырек на середину. Перекладывают трубу в лагерах. Если пузырек остался на середине, то условие выполнено. В противном случае, действуя исправительными винтами 4 (см. рис. 84), перемещают пузырек к нульпункту на половину дуги отклонения.

4. *Диаметры цапф должны быть равны.*

Условие гарантируется заводом.

5. *Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна оси нивелира.*

Условие гарантируется заводом.

6. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.*

Проверка выполняется, а ошибки устраняют так же, как у нивелира НГ.

7. *Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси нивелира.*

Проверка выполняется так же, как у нивелира НГ. Исправление производится поворотом всей трубы в подставках вокруг геометрической оси. Правильное положение сетки фиксируется поворотом винта упора 10 (см. рис. 84).

Условия 2, 4, 5 не всегда гарантируются заводом. Поэтому нередко трубу закрепляют в подставках, производят проверки, как глухого нивелира, и работают им, как НГ.

Г. Проверки нивелира НЛ-3. 1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.*

2. *Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна оси нивелира*

Эти проверки производятся так же, как у нивелира НГ.

3. *При горизонтальном положении визирной оси высотный штрих должен совпадать со средней горизонтальной нитью сетки.*

Проверка производится двойным нивелированием одной и той же линии. В результате определяется величина

$$x = \frac{i_1 + i_2}{2} - \frac{b_1 + b_2}{2}, \quad (117)$$

где i_1 и i_2 — высоты нивелира;

b_1 и b_2 — отсчеты по высотному штриху при наведении средней горизонтальной нити сетки на отсчеты, равные высотам нивелиров.

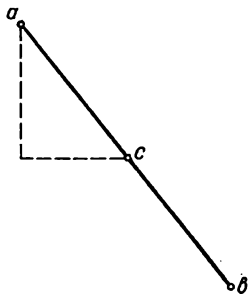


Рис. 93. К проверке нивелира НТ.

Если x окажется больше 2 мм, то вращением микрометричного винта цилиндрического уровня устанавливают высотный штрих на отсчет $b_0 = b_2 - x$ и, действуя исправительными винтами цилиндрического уровня, приводят его пузырек в нульпункт.

Коэффициент высотомера при изготовлении инструмента подбирают равным 5, юстировка величины коэффициента производится в мастерской.

Д. Проверка нивелира НСМ-2А. Основное условие, которому должен удовлетворять нивелир, таково: при наклонах трубы, не превышающих расчетных, линия визирования должна быть горизонтальна.

В полевых условиях проверки и юстировки следует считать выполненными, если:

- оси цилиндрических уровней перпендикулярны оси нивелира;
- горизонтальная нить сетки перпендикулярна оси нивелира (эти две проверки производятся так же, как у нивелира НГ);
- линия визирования горизонтальна (проверка производится аналогично проверке главного условия у глухого нивелира).

§ 39. Основные источники ошибок нивелирования

На точность нивелирования влияют главным образом ошибки:

визирования зрительной трубой m_b ;

установки пузырька уровня на нульпункт m_n ;

делений рейки m_d ;

несоблюдения условий, предъявляемых к инструментам m_y ;

округления при отсчете по рейке m_o ;

внешних условий $m_{вн}$.

Влияние перечисленных ошибок приводит к ошибке отсчета по рейке, $m_{от}$. Полагая, что ошибки действуют независимо друг от друга, находим:

$$m_{от} = \sqrt{m_b^2 + m_n^2 + m_d^2 + m_o^2 + m_{вн}^2}. \quad (118)$$

Ошибка визирования при увеличении трубы $30 \times$ будет $\frac{60''}{30} = 2''$. При расстоянии от нивелира до рейки 100 м ошибка отсчета будет $\frac{2''}{206\,265} \cdot 100\,000 \approx 1$ мм.

Ошибка установки пузырька уровня в нульпункт равна 0,10 т. Для уровней с ценой деления $\tau = 30''$ она составит $3''$. При расстоянии от нивелира до рейки 100 м ошибка отсчета будет $\frac{3''}{206\,265} \cdot 100\,000 = 1,5$ мм.

Допустимая средняя квадратическая ошибка нанесения дециметровых делений не более $\pm 0,33$ мм. Ошибка округлений при отсчете по рейке принята $\pm 0,5$ мм.

Таким образом, общая ошибка отсчета по рейке будет $m_{от} = \pm 1,9$ мм.

Действующие инструкции дают величину ошибок нивелирования с учетом самых неблагоприятных условий. Поэтому они всегда выше приведенных значений.

§ 40. Полевые работы по нивелированию трассы. Рекогносцировка местности. Разбивка пикетажа

Нивелирование местности начинают с ее изучения, которое называется рекогносцировкой. В зависимости от проекта будущего сооружения выбирают направление трассы, углы поворотов, отмечаемые на местности вехами с таким расчетом, чтобы между ними была взаимная видимость. После этого на выбранной и закрепленной трассе разбивают пикетаж.

Начальная точка, именуемая нулевым пикетом (пик. 0), на местности закрепляется деревянным колышком. От нее 20-метровой стальной лентой откладывают 100-метровые расстояния.

Пикеты закрепляют деревянными колышками, а рядом с ними забивают колышки-сторожки, на которых пишут номера пикетов (рис. 94, а).

При разбивке трассы по асфальту или в горной местности точки нивелирования отмечают краской.

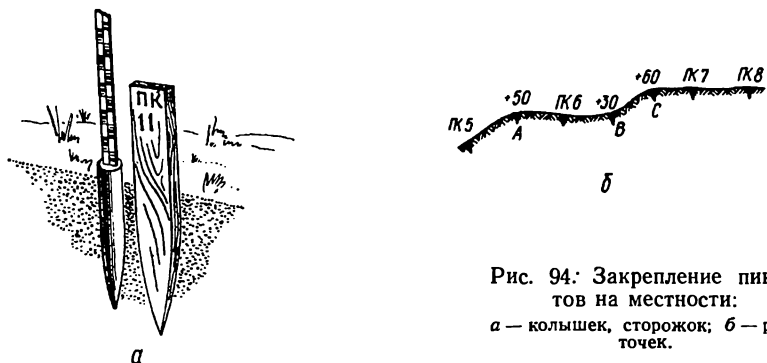


Рис. 94: Закрепление пикетов на местности:

а — колышек, сторожок; б — ряд точек.

Кроме пикетных точек по оси нивелируемой трассы отмечают также промежуточные или плюсовые точки, в которые забивают колышки, а при них сторожки (рис. 94, б).

Так, например, точка В — плюсовая +30 — находится на расстоянии 30 м от пик. 6, а точка С — 60. В точках — вершинах углов поворота магистрального хода — забивают деревянные колышки со сторожками, на которых отмечают пикетаж, номер угла поворота и делают надписи «угол вправо» или «угол влево».

Разбивка поперечников. В зависимости от требования инструкции и от рельефа местности на всей нивелируемой трассе будущего сооружения перпендикулярно к ее оси разбивают поперечники.

Их прокладывают через 50, 100 и более метров. В тех местах, где оси нивелирования проходят по косогорам, берегам рек, дорогам с канавами, насыпям, выемкам, разбивка поперечников обязательна. Длина поперечников 20—60 м (по 10—30 м в обе стороны от оси продольного нивелирования). На поперечниках также отмечают и затем нивелируют точки в характерных местах перегиба местности.

На рис. 95 (в плане) показана часть нивелирного хода с поперечниками, точки на которых также обозначаются колышками и сторожками при них. На сторожках пишется расстояние от оси нивелирования до данной точки на поперечнике.

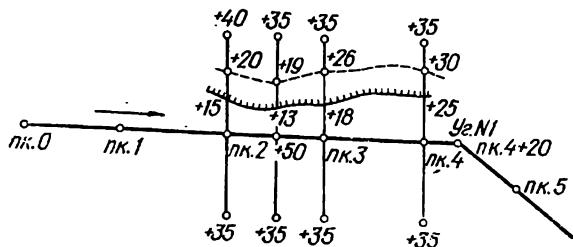


Рис. 95. Разбивка поперечников.

§ 41. Разбивка кривых

При сооружении дороги, канала и пр. переход от одной прямой на другую должен сопрягаться кривыми переменного и постоянного радиуса. Поэтому на углах поворота по оси нивелирования разбивают переходные и круговые кривые. Кривая (часть окружности определенного радиуса) разбивается по измеренному на местности углу поворота и выбранному радиусу кривизны. По этим данным из таблиц выписывают величины тангенса, кривой и биссектрисы. Разбивая их на местности, находят начало, середину и конец кривой.

От угла поворота магистрали на пик 3+30 (рис. 96) в сторону, обратную ходу нивелирования, откладывают величину тангенса, забивают колышек и на сторожке рядом с колышком пишут: НК (начало кривой) на пик. 2+75,75. Затем от угла поворота далее по ходу оси нивелирования также откладывают величину тангенса, забивают в полученной точке отложения деревянный колышек и на сторожке при нем пишут: КК (конец кривой) на пик. 3+83,09. Затем находят точку середины кривой, забивают колышек и на сторожке при нем пишут: СК (середина кривой) на пик. 3+29,42.

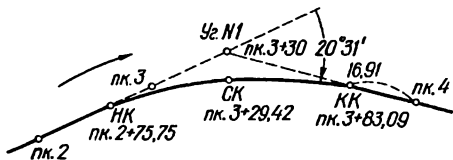


Рис. 96. Основные точки кривой.

Обозначив таким образом на местности главные точки кривой, продолжают разбивку пикетажа. От конца кривой (пик. 3+83,09) откладывают дополнение до следующего пик. 4, т. е. величину 16,91 м, отмечают на магистрали точку пик. 4 и ведут разбивку пикетажа до следующего угла поворота.

На всем протяжении оси нивелирования в стороне от нее на расстоянии примерно 20—30 м через каждые 10 пикетов устанавливают реперы.

При разбивке трассы ведется пикетажная книжка, в которой зарисовывается ситуация местности по ходу оси нивелирования.

После произведенной таким способом разбивки по оси будущего сооружения производят нивелирование всех точек на данной магистрали.

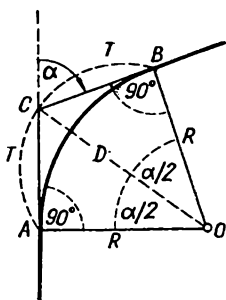


Рис. 97. К определению основных параметров кривой.

Из рис. 97 следует, что тангенс

$$T = AC = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (119)$$

где R — радиус кривой;

α — угол поворота, равный центральному углу;

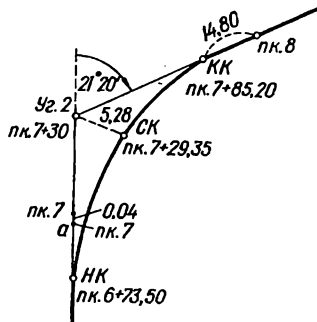


Рис. 98. Вынос пикетных точек на кривую.

кривая

$$KAB = \frac{2\pi R}{360} \cdot \alpha = \frac{\pi R \alpha}{180}; \quad (120)$$

биссектриса

$$BCD = OC - OD = \frac{R}{\cos \frac{\alpha}{2}} - R = R \left(\sec \frac{\alpha}{2} - 1 \right), \quad (121)$$

и, наконец, величина домера, равная $D=2T-K$.

По радиусу кривой R и углу поворота α на основании приведенных формул можно вычислить элементы кривой с помощью таблиц логарифмов или по таблицам натуральных значений тригонометрических функций. При наличии таблиц разбивки кривых расчет элементов кривой значительно упрощается и работа ускоряется.

Пример. Разбить главные точки на кривой по данным: радиус 300 м, угол поворота $21^\circ 20'$.

На местности (рис. 98) в точке Уг. 2 на пик. 7+30 измерен угол поворота $21^\circ 20'$. Согласно заданию требуется разбить кривую радиусом 300 м.

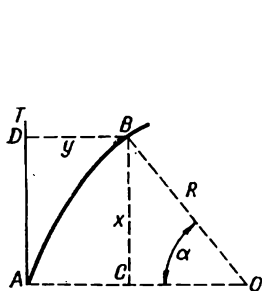


Рис. 99. Разбивка кривой способом координат.

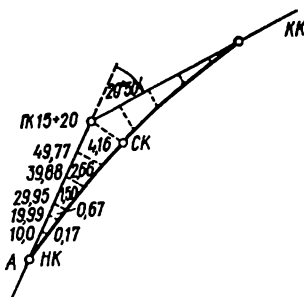


Рис. 100. Детальная разбивка круговой кривой.

По таблицам разбивки кривых находим:

тангенс	.	.	.	.	.	.	.	56,50
кривая	.	.	.	.	.	.	.	111,70
2Т	.	.	.	.	.	.	.	1,30
кр	.	.	.	.	.	.	.	5,28
биссектриса	.	.	.	.	.	.	.	
Расчет кривой:								
пик. 7+30,00	.	.	.	.	Уг. 2	.	.	
-56,50	.	.	.	.	тангенс	.	.	
пик. 6+73,50	.	.	.	.	НК	.	.	
+55,85	.	.	.	.	1/2 кр	.	.	
пик. 7+29,35	.	.	.	.	СК	.	.	
+55,85	.	.	.	.	1/2 кр	.	.	
пик. 7+85,20	.	.	.	.	КК исправл.	.	.	
Контроль расчета:								
пик. 7+30,00	.	.	.	.	.	.	.	
+56,50	.	.	.	.	.	.	.	
пик. 7+86,50	.	.	.	.	КК не исправл.	.	.	
-1,30	.	.	.	.	2Т кр (домер.)	.	.	
пик. 7+85,20	.	.	.	.	КК исправл.	.	.	

На местности производят следующую работу.

От угла поворота в обе стороны откладывают расстояния, равные тангенсу 56,50 м, получают точки начала и конца кривой. В точках забивают деревянные колышки и ставят сторожки, на которых пишут: НК на пик. 6+73,50 и КК на пик. 7+85,20.

Затем угол $180^\circ 0' - 21^\circ 20' = 158^\circ 40'$ делят пополам и получают биссектрису, на которой откладывают отрезок 5,28 м. Снова забивают колышек, на сторожке которого пишут: СК пик. 7+29,35.

Таким образом, три главные точки кривой, разбитой на местности, определены. Наконец, отложив от точки конца кривой 14,80 м, получают точку пик. 8 и продолжают разбивку по оси нивелирования обычным способом.

Вынос пикета на кривую. Точка пик. 7 (см. рис. 98) должна быть вынесена на кривую.

По Таблице для выноса точек с касательной на кривую для кривой радиусом 300 м и расстояния до пик. 7, равного 26,50 м, находят величины: кривая без абсциссы 0,04, ордината 1,17 м.

На местности от НК откладывают 26,50—0,04=26,46 м. В полученной точке а восстанавливают перпендикуляр, на котором откладывают величину ординаты и получают точку пик. 7, расположенную на кривой.

Детальная разбивка круговой кривой. При окончательном обозначении на местности оси пронивелированной дороги, канала и других сооружений необходимо разбить кривую более детально. Поэтому между точками НК, СК и КК намечают промежуточные точки кривой, придерживаясь в общем таких норм: при радиусе 1000 м — через 25 м, от 1000 до 500 — через 20, от 500 до 150 — через 10 и от 150 и менее — через 5 и 2.

Для детальной разбивки кривой, в зависимости от задания и ее размеров, применяют различные способы: координат, последовательных (продолженных) хорд, полярный, описанного многоугольника и т. д.

Способ координат. На рис. 99 изображена кривая АВ, точка О — центр окружности радиуса R, АТ — касательная (тангенс). Необходимо определить координаты точки В, удаленной от начала кривой точки А на расстояние К (например, на расстояние 10, 20, 30 и более метров).

Если за начало координат возьмем точку А, прямая АТ будет осью х-ов а прямая АО осью у-ов, то по формуле (120) длина кривой

$$K = \frac{\pi R \cdot \alpha}{180^\circ}.$$

Отсюда определяют величину угла

$$\alpha = \frac{180^\circ}{\pi R} \cdot K, \quad (122)$$

где К — расстояние между соседними точками кривой.

Подставляя в данную формулу соответственно 10 м, 20 и т. д. и значение радиуса R, определяют величину угла α для любой точки кривой.

Координаты x и y определяют по формулам

$$x = BC = R \cdot \sin \alpha; \quad (123)$$

$$y = DB = AO - OC = R - R \cdot \cos \alpha = R(1 - \cos \alpha) = 2R \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}. \quad (124)$$

Пример. Произвести детальную разбивку кривой на пик. 15+20. Радиус кривой 300 м. Угол поворота 20°50'. Точки на кривой разбить через 10 м.

По таблицам разбивки кривой находят величины: тангенс 55,15; кривая 109,08; Т_{кр} (домер.) или D=1,22 и биссектриса 5,03.

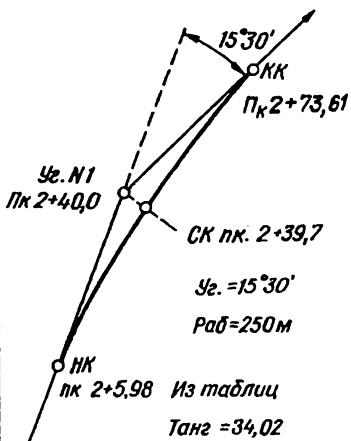
Откладывая на местности данные величины (рис. 100), находят НК, СК и КК. Закрепляют эти точки колышками и сторожками. Далее из таблиц выписывают данные в метрах для разбивки кривой радиусом 300 м, точки на которой берут через 10 м

Длина кривой, м	Абсцисса	Ордината
10	10,00	0,17
20	19,99	0,67
30	29,95	1,50
40	39,88	2,66
50	49,77	4,16

По этим данным точки кривой на местности разбивают следующим способом.

Пикетажная книжка

**Разбивка закругления
на пик 2+40,0**


$$y_{2.} = 15^{\circ}30'$$

$P_{a\delta}=250\text{ M}$

Из таблиц

$$\tan \alpha = 34,02$$

Крив. = 67,63

$$2 T-\kappa=0,42$$

Биссектр.=2,30

Лук. 2+40,00 угол №1
(танг)-34,02

· **ЛК 2+5,98 НК**

$$(1/2 \text{ κρυβ.}) + 33,81$$

ПК 2+39,79 · СК

(1/2 крив.) + 33,82

ПК 2+73,61. КК

или ПК 2+40,00
+34,02

пк 2+74,02 КК неиспр.

-0,42

пк 2+73,60 КК испр.

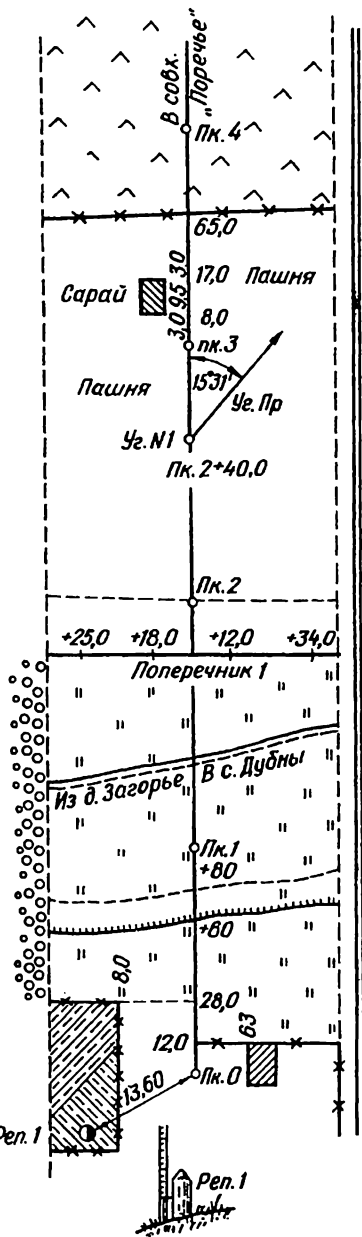


Рис. 101. Пикетажная книжка.

От точки *A*, начала кривой, откладывают по направлению угла поворота по линии тангенса абсциссу в 10 м. В конце этой линии с помощью рулетки восстанавливают перпендикуляр к линии тангенса и на нем откладывают ординату, равную 0,17 м. Затем откладывают абсциссу в 19,99 м и на перпендикуляре к ней — ординату, равную 0,67 м; продолжая детальную разбивку, получают расположенные на кривой точки, которые обозначают положение кривой на местности. Вторая половина кривой разбивается от ее конца по направлению к середине точно так же, как разбивались точки от начала кривой к середине.

Пикетажная книжка. При разбивке пикетажа в особой книжке производится зарисовка ситуации местности по оси нивелирования вправо и влево от нее.

На рис. 101 приведен образец такой книжки. Ее вели при разбивке пикетажа по оси нивелирования дороги.

Пикетаж ведется обычно на правой странице книжки, а на левой производят расчет кривых, различные выписки и заметки по ходу работы.

На вертикальной линии (оси нивелирования) отмечают точки пикетов, промежуточные (плюсовые) точки, а также точки углов поворота и поперечников. Зарисовывается ситуация местности, отмечаются овраги, реки, ручьи, дороги, строения и прочие предметы местности, обязательно отмечаются места установки реперов с зарисовкой как в плане, так и в перспективе, с привязкой к ближайшим предметам местности.

§ 42. Производство геометрического нивелирования

После разбивки пикетажа и зарисовки всех данных в пикетажной книжке производят нивелирование.

На рис. 102 схематически показано расположение пикетов, промежуточных точек, точек поперечников, реперов и места установки нивелира — станции нивелирования.

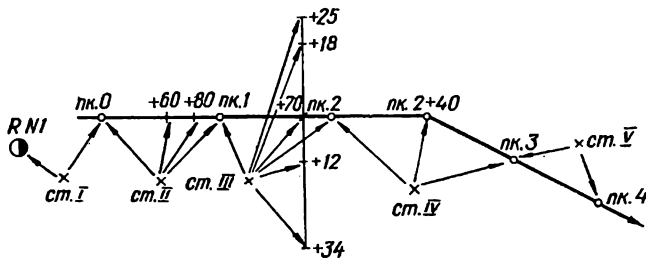


Рис. 102. Схема нивелирования трассы и поперечников.

После полевых проверок нивелира устанавливают его между репером *I* и пик. 0 на станции *I*. Приводят пузырек уровня на середину и наводят трубу нивелира на рейку, выставленную на репере *I*, производят отсчет по средней нити сетки и записывают его в журнал нивелирования (табл. 35), в графу «Задние отсчеты» против репера *I*. Затем наводят трубу на переднюю рейку, выставленную на пик. 0; отсчет записывают в графу «Передние отсчеты» против пик. 0.

Чтобы быть уверенным в правильности произведенных отсчетов по рейке с односторонними делениями, изменяют высоту нивелира и снова производят наблюдение по тем же рейкам — на репер *I* и на пик. 0.

Вновь полученные отсчеты записывают под первыми. Определяют разность между первым и вторым отсчетами на одну и ту же точку нивелирования для задней и передней реек. Если расхождение между этими двумя разностями не

превышает двойной точности отсчета по рейке, т. е. 4 мм, то наблюдения считают правильными.

Прежде чем производить отсчет по рейке, следует убедиться в том, что ось уровня перед отсчетом занимает горизонтальное положение.

Со станции I переходят на станцию II, устанавливая нивелир между связующими точками пик. 0 и пик. 1 с таким расчетом, чтобы можно было взять отсчеты по рейкам на промежуточных (плюсовых) точках $+60$ и $+80$. Заднюю рейку с репера переносят на колышек пик. 1. Теперь при наблюдении со станции II это будет передняя рейка, а рейка, оставшаяся на пик. 0, будет называться задней.

Сначала производят отсчеты на пик. 0, затем на пик. 1. Изменив высоту инструмента, создают его второй горизонт. Снова наводят трубу на рейки на пик. 0 и пик. 1. Потом рейку с колышка на пик. 0 снимают и переносят на плюсовые точки $+60$ и $+80$, на которые отсчет производят только один раз при втором горизонте инструмента.

На станции III между пик. 1 и 2 в промежуточной (плюсовой) точке $+70$ разбит поперечник. Наблюдения со станции III проводятся в следующем порядке: при первом горизонте инструмента сначала производят отсчет по рейке на пик. 1, потом на пик. 2. Изменив высоту инструмента при втором горизонте и, приведя нивелир в горизонтальное положение, снова наводят трубу на пик. 1 и 2. Далее переносят рейку с пик. 1 на точку $+70$ и на все точки поперечника ($+18$, $+25$ влево и $+12$ и $+34$ вправо) и производят отсчеты по рейке.

Промежуточные (плюсовые) точки нивелирного хода и точки поперечников нивелируются, как правило, только при одном горизонте инструмента.

Если между двумя смежными пикетами уклон местности значительный и с одной станции взять отсчеты по рейкам на пикетах невозможно, то одну или несколько промежуточных точек нивелируют как связующие точки.

В указанном выше порядке нивелирование производится и дальше по оси трассы, причем точки -углов поворота могут нивелироваться как промежуточные.

При нивелировании трассы производится привязка нивелирного хода к постоянным предметам местности, например к цоколю здания.

Если нивелирный ход проходит близ реки, озера, пруда, с пересечением трассой водотока, то необходимо нивелировать уровень воды, предварительно забивая деревянные колышки в уровень с поверхностью воды.

В случае перерыва в работе последняя точка нивелирования обязательно должна быть привязана к реперу. Привязка производится при двух горизонтах инструмента.

При нивелировании ровных крутых скатов может случиться, что с одной стоянки инструмента нельзя взять отсчет на два смежных пикета. Поэтому для передачи высоты с одной точки на другую между пикетами произвольно, без замеров расстояния, берутся дополнительные связующие (иксовые) точки.

На рис. 103 приведен случай применения иксовой точки, когда при наличии между пик. 5 и 6 крутого ската приходится брать промежуточную иксовую точку и нивелирование производить с двух станций (вместо одной).

Если нивелирный ход проложен между реперами, отметки которых известны, то достаточно с нивелиром пройти только в одном направлении. Если же нивелирный ход проложен между реперами, отметки которых неизвестны или дана отметка только одного репера, то между начальным и конечным реперами необходимо проложить контрольный ход для создания замкнутого нивелирного хода.

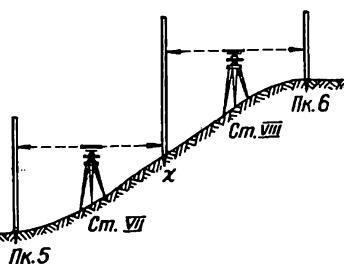


Рис. 103. Нивелирование пикетов и промежуточных точек.

Журнал нивелирования

1	Номер точки нивелирования	Отсчеты по рейке							Превышения		Горизонт инструмента, 2-й м	Абсолютные или условные отметки, м	Примечание
		читанные			средние								
		задние	передние	промежуточные	задние	передние							
							3	4	5	6			
I	2								8	9	10	11	12
	P. 1	1734 1702 <u>32</u>	0869 0837 <u>32</u>	1718	0853	0865	71,702	70,000	Вычисление отсчетов связующих точек методом превышений: +70,000 0,865 <u>70,865</u>				
II	пик. 0 +60 +80 пик. 1	1678 1634 <u>44</u>	1434 2003 2064 2018 <u>46</u>	1656	2041	0,385	72,499	70,865 71,065 70,496 + 0,405 <u>70,410</u> - 0,616 <u>69,794</u>					

III	пик. 1 +70 +12 } попе- +34 } реч- +18 } ник +25 } №1 пик. 2	0983 0960	1460 1436	1624 1578 2365 0560 2155	0972	1448	0476	71,440	70,480 69,816 69,862 69,075 70,880 69,285	Вычисление отменок промежуточных точек ме- тодом горизонта инстру- мента. Для ст. II второй горизонт инструмента ра- вен + 70,865 1,634 <u>72,499</u>
IV	пик. 2 +40 (уг. 1) пик. 3	1264 1240	0856 0835	1180	1252	0846	0406	71,244	70,004 70,064	Отметка точки + 60 равна 72,499 — 1,434 <u>71,065</u>
V	пик. 3 пик. 4	0655 0614	1271 1230 6232,5		0634,5		0616		70,410 69,794 —70,00	Отметка точки + 80 равна 72,499 — 2,003 <u>70,496</u>
								1477		
				—0,206		—0,206		69,794 —0,206		

Контрольный ход обычно выполняется вторым (контрольным) нивелиром, причем отсчеты берут только на связующих точках хода, которыми являются пикеты, иксовые и, частично, плюсовые точки.

В табл. 35 приведен журнал нивелирования узкой полосы участка местности.

§ 43. Обработка журнала нивелирования

Графы журнала (см. табл. 35) от 1 до 5 заполняются в поле во время нивелирования.

Прежде чем закончить работу на одной станции и перейти на другую, контролируют результаты наблюдений, определяя разности между двумя отсчетами на связующие точки по задней рейке, а затем по передней.

Обработка журнала производится в таком порядке.

1. Вычисляют среднее значение из отсчетов на связующие точки по задней и передней рейкам. Результат заносят в гр. 6 и 7 журнала нивелирования.

2. Вычисляют превышения между связующими точками по формуле

$$h = a - b, \quad (125)$$

где h — превышение;

a — среднее из отсчетов на заднюю рейку;

b — то же, на переднюю.

В примере на станции I превышение между репером 1 и пик. 0 будет $1718 - 0853 = +0865$. Его записывают в гр. 8.

Если $a < b$, то величина h будет отрицательная. Ее заносят в гр. 9 журнала.

Таким же способом определяют превышения между связующими точками и на всех последующих станциях.

3. Подсчитывают суммы превышений со знаком плюс и минус. Вытя одну величину из другой, находят превышение между конечными точками нивелирования.

4. Полученное превышение сравнивают с известным превышением между реперами (случай, когда отметки конечных реперов известны) и определяют величину невязки нивелирного хода.

5. При нивелировании отсчеты по рейке производят с точностью до 2 мм.

Если на протяжении 1 км при нивелировании трассы взято 10 станций, то ошибка на 1 км в среднем будет равна

$$\Delta = \pm 2 \text{ мм} \sqrt{10}, \text{ а на } L \text{ км } \Delta_1 = \pm 2 \text{ мм} \sqrt{L}.$$

Допустимая невязка нивелирного хода 4-го класса, проложенного между двумя реперами, будет

$$\Delta h = \pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (126)$$

где L — длина хода, км.

Для нивелирного хода длиной меньше 3 км

$$\Delta h = \pm 5 \text{ мм} \sqrt{n}, \quad (127)$$

где n — число станций.

Для всяких нивелирных ходов допустимая невязка будет

$$\Delta h = \pm 30 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (128)$$

где L — число километров нивелирного хода.

6. Невязка разбрасывается следующим образом. Если полученная величина не превышает предела допустимой, то раскладку ее производят между вычисленными отметками связующих точек, причем считается, что невязка возрастает пропорционально числу пройденных станций.

Невязку делят на число станций и получают величину K поправки для отметки связующей точки первой станции.

Для всех последующих связующих точек они будут соответственно равны поправке K , умноженной на порядковый номер станции.

Поправки округляют до миллиметров и вводят с обратным знаком в вычисленную отметку передней связующей точки каждой станции нивелирования.

7. При разомкнутом нивелирном ходе, когда известна отметка только начального репера, идут обратным ходом, т. е. возвращаются с нивелиром к начальному реперу и создают замкнутый нивелирный ход. В этом случае сумма превышений замкнутого хода должна быть равна нулю.

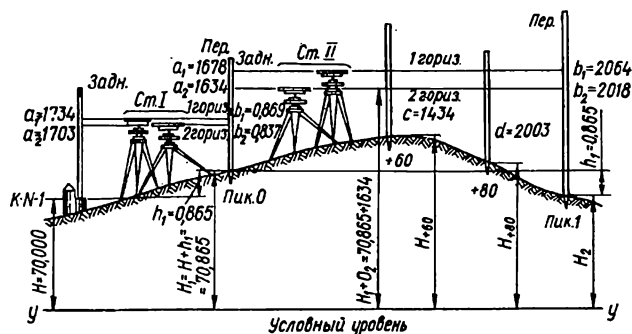


Рис. 104. Нивелирование трассы с изменением горизонта инструмента.

Полученная невязка разбрасывается вышеприведенным способом.

8. Если же нивелирование производилось двумя нивелирами (основным и контрольным), то полученную невязку определяют по формуле

$$m_p = \Sigma h_1 - \Sigma h_2, \quad (129)$$

где Σh_1 — сумма превышений по 1-му нивелиру;

Σh_2 — то же, по 2-му;

m_p — полученная невязка, мм.

Сравнив полученную невязку m_p с допустимой Δh и убедившись, что $m_p < \Delta h$, берут среднее из превышений 1 и 2-го нивелиров со знаком первого (основного) нивелира.

9. Далее, исходя от данной отметки начальной точки нивелирования (обычно репера), вычисляют отметки всех связующих и плюсовых точек, причем связующие точки вычисляются методом превышений, а промежуточные — методом горизонта инструмента.

Для более ясного представления сущности обоих методов вычисления отметок на рис. 104 схематически представлены положения нивелира I и II станциях и нивелирных реек на репере 1, пик. 0, на пик. 1 и на промежуточных точках (по данным приведенного выше журнала нивелирования).

10. Отметки связующих точек вычисляют по формуле

$$H_1 = H + h, \quad (130)$$

т. е. отметка последующей точки равна отметке предыдущей плюс соответствующее превышение между этими точками

$$h = a - b. \quad (131)$$

В приведенном примере, исходя из отметки репера 1, равной 70,000, определяют условную отметку пик. 0:

$$70,000 + 0,865 = 70,865 \dots \text{отметка пик. 0.}$$

К отметке пик. 0 прибавляют превышение между пик. 0 и пик. 1, равное — 0,385;

$$70,865 + (-0,385) = 70,480.$$

Таким способом вычисляют отметки всех связующих точек.

11. Отметки промежуточных точек определяют методом горизонта инструмента (при втором горизонте инструмента) по формуле

$$H_1 = (H + a) - b, \quad (132)$$

где H_1 — искомая отметка промежуточной точки;

$H + a$ — горизонт инструмента, равный отметке предыдущего пикета плюс отсчет по рейке на этом пикете;

b — отсчет по рейке на промежуточной точке.

Отсчет этот берут при втором горизонте нивелира, так как наблюдения (отсчеты) на все промежуточные (плюсовые) точки берутся при втором горизонте инструмента.

Для станции II высота второго горизонта будет равна:

$$70,865 + 1,634 = 72,499.$$

Вычитая из полученной величины последовательно отсчеты на все промежуточные точки, получают отметки этих точек:

$$\begin{array}{r} 72,499 \\ -1,434 \\ \hline 71,065 \text{ — отм. точки (+60)} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 72,499 \\ -2,003 \\ \hline 70,496 \text{ — отм. точки (+80)} \end{array}$$

Таким способом вычисляют отметки промежуточных точек на всех последующих станциях.

Отметки точек поперечников определяются так же, как и отметки плюсовых точек, т. е. при втором горизонте инструмента.

§ 44. Составление профиля

Для построения профилей применяется миллиметровая бумага, на листе которой прочерчивают ряд параллельных линий, как показано на рис. 105.

В зависимости от задания, берут масштаб 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000 или 1 : 10 000, в котором откладывают горизонтальные расстояния между точками нивелирования. Вертикальный масштаб, в котором точки нивелирования откладываются по вертикали, берут соответственно горизонтальному, обычно в 10 раз крупнее. Благодаря этому неровности на профиле выражаются более рельефно.

В стр. 4 (см. рис. 105) в заданном масштабе откладывают горизонтальные расстояния — пикеты в 100 м каждый. В промежутках между точками пикетов откладывают расстояния между плюсовыми точками.

Под стр. 4 подписывают номера пикетов, а в графе — расстояния между плюсовыми точками.

Под стр. 4 прочерчивают линию прямых и кривых (стр. 3). В стр. 2 располагается план местности перечерченный из пикетажной книжки (без обозначения пикетажа и числовых данных ситуации).

В стр. 1 показывают грунт местности, на которой проложен нивелирный ход.

В стр. 5 из журнала нивелирования вписывают вычисленные отметки связующих и плюсовых точек, округлив их до сотых долей метра. Они называются черными или отметками земной поверхности. На чертеже их показывают черной тушью.

В стр. 6 прочерчивают продолжение вертикальных линий и вписывают расстояния от нулевых точек до ближайшего предыдущего пикета.

В стр. 7 выписывают отметки точек проектной линии, так называемые красные отметки (на чертеже они воспроизводятся красной тушью).

В стр. 8 в виде дроби указывают: в числителе — величину уклона, в знаменателе — протяжение проектной линии под данным уклоном (эта строка заполняется после проведения проектной линии).

На этих перпендикулярах в заданном (вертикальном) масштабе откладывают отметки точек нивелирования — черные отметки.

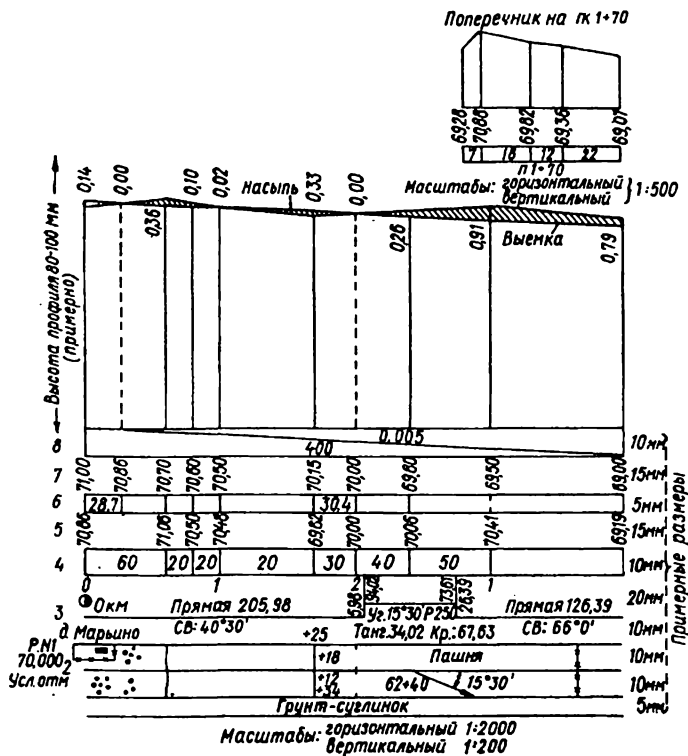


Рис. 105. Вычерчивание продольного профиля и поперечников.

Построив все точки продольного профиля согласно отметкам нивелирования и соединив их тонкой черной линией, получают продольный профиль проинвентаризованной узкой полосы земельного участка. Вертикали от точек перегиба местности также вычерчивают тонкими линиями.

Поперечные профили вычерчиваются так же, как в продольные.

§ 45. Проведение проектной линии

Прежде чем приступить к работам по планировке привелированного участка местности для постройки на нем железнодорожного полотна, шоссейной дороги или какого-либо другого сооружения, необходимо на профиле провести проектную линию будущего сооружения.

Уклоны проектной линии имеют большое значение при проектировании и намечаются в зависимости от характера сооружения. Обычно они регламентируются соответствующими инструкциями по данным работам.

Пусть точка A линии AB (рис. 106) имеет отметку H_a , а точка B — H_b . Разность отметок конечных точек прямой $H_b - H_a$ называется падением данной линии.

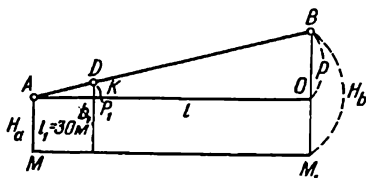


Рис. 106. Определение уклона линии.

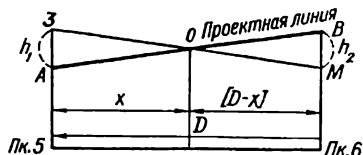


Рис. 107. Определение нулевой точки от ближайшего пикета.

Если эту разность разделим на горизонтальное расстояние между точками, т. е. на величину l , то получим уклон данной линии. Обозначив его через i , получим

$$i = \frac{H_b - H_a}{l} \text{ или } i = \frac{p}{l}. \quad (133)$$

Пример 1. Пусть отметка H_a точки A равна 70,20 м, а H_b точки B — 71,20. Расстояние между ними равно 200 м. Определить падение и уклон линии AB . Падение линии AB будет $71,20 - 70,20 = 1$ м, а уклон линии AB будет иметь

величину $\frac{1}{200} = 0,005$ м.

Пример 2. Определить отметку точки D (см. рис. 106), горизонтальное проложение l которой от точки A равно 30 м. Уклон линии $AB = 0,005$. Падением или превышением точки D над A будет величина $DK = P_1$ ($P_1 = 0,005 \times 30 = 0,15$ м).

Отметка точки D будет $70,20 + 0,15 = 70,35$.

Для нанесения проектной линии на продольный профиль надо наметить высоту (отметку) начальной точки этой линии, ее уклон и горизонтальное проложение на каждом отрезке трассы.

Проектная линия намечается с таким расчетом, чтобы количество земляных работ по насыпям и выемкам взаимно компенсировалось, т. е. чтобы землю из выемки можно было использовать для соседней насыпи.

На продольном профиле (см. рис. 105) проектная линия, начиная с отметки 71,00, на протяжении 400 м идет с уклоном 0,005. Таким образом, отметка этой линии в конце ее, т. е. на пик. 4, будет иметь величину $71,00 - (0,005 \times 400) = 69,00$.

Против каждой точки профиля с черной отметкой необходимо найти красную для соответствующей ей точки проектной линии. Зная уклон этой линии и расстояния точек от начальной точки проектной линии, отметка которой известна, нетрудно найти красные отметки любой точки (см. решение примера 2 и рис. 106).

Разность между величинами красной и черной отметок двух точек на одной и той же вертикали называется рабочей отметкой.

При насыпи рабочие отметки пишутся выше проектной линии, при выемках — ниже. Точки, в которых проектная линия пересекается с линией земной поверхности, называются точками нулевых работ. Рабочая отметка в них равна нулю. Рабочие отметки пишутся красной тушью, а нулевые (цифра 0 и отметка) — синей.

Расстояние точек нулевых работ от ближайшего предыдущего пикета определяется таким образом.

Пусть требуется определить расстояние x от ближайшего предыдущего пикета 5 (рис. 107).

AB — проектная линия; $ЗМ$ — линия профиля земной поверхности; $ЗА = h_1$ — рабочая отметка (выемка) на пик. 5; $ВМ = h_2$ — рабочая отметка (насыпь) на пик. 6.

Из подобия треугольников $ЗОА$ и $ОВМ$ (углы при точке O равны и стороны $ЗА$ и $ВМ$ параллельны между собой) получим —

$$\begin{aligned} xn_2 &= h_1(D - x); \\ xh_2 &= h_1D - h_1x; \\ xh_2 + xh_1 &= h_1D; \\ x(h_2 + h_1) &= h_1D, \\ x &= \frac{D}{h_1 + h_2} \cdot h_1. \end{aligned} \quad (134)$$

Таким образом, расстояние точки нулевых работ от ближайшего предыдущего пикета равно расстоянию между пикетами, деленному на сумму рабочих отметок на этих пикетах и умноженному на рабочую отметку предыдущего пикета.

Пример 3. Определить расстояние точки нулевых работ O (см. рис. 107) от пик. 5, если $D=100$ м, рабочие отметки: $h_1=1,80$; $h_2=1,42$ м. Расстояние будет иметь величину

$$x = \frac{100}{1,80 + 1,42} \cdot 1,80 = 55,90 \text{ м.}$$

Полученная величина расстояния до нулевой точки вписывается в соответствующее место в стр. 6 продольного профиля (см. рис. 105).

П р и м е ч а н и е. Если нулевая точка находится между плюсовыми точками, то расстояние x определяется от предыдущей плюсовой точки.

§ 46. Нивелирование застроенных и открытых участков местности

Для составления проекта архитектурно-строительных работ необходим топографический план. Одним из наиболее точных способов создания его является горизонтально-угломерная съемка с последующей нивелировкой заснятого участка.

В зависимости от рельефа и характера местности применяют различные способы нивелирования. Так, в открытой, равнинной местности на участках со спокойным рельефом используется метод «нивелирования по квадратам».

Если же местность неровная, покрытая оврагами, холмами, седловинами или же растительностью, застроенная, то лучшим является способ нивелирования по магистралям и поперечникам с использованием для нивелирования отдельных точек ситуации на данной местности.

Рассмотрим указанные выше способы нивелирования.

Нивелирование поверхности по квадратам. Предположим, что необходимо пронивелировать небольшой участок местности с более или менее спокойным рельефом, предназначенный под застройку (рис. 108, а).

Сначала прокладывают прямую и на ней в зависимости от масштаба съемки и рельефа местности откладывают отрезки равной длины. Затем из точек отложения восстанавливают перпендикуляры и на них откладывают линии той же длины. В полученных точках забивают деревянные колышки вровень с землей и при них сторожки, на которых пишут номера точек 1, 2, 3, и т. д.

Таким образом участок, подлежащий нивелированию, разбивается на квадраты.

Если участок небольшой и с одной стоянки нивелира отсчеты можно произвести на все вершины квадратов, нивелировку производят в таком порядке: установив нивелир в центре участка, например в квадрате 5, приводят инструмент в горизонтальное положение, затем, устанавливая рейки последовательно на точки 1, 2, 3 и т. д., делают отсчеты, записывая их в особый нивелирный журнал, представляющий собой лист бумаги с нанесенной на нем сетью квадратов (форма журнала с показаниями отсчетов приведена на рис. 108, а).

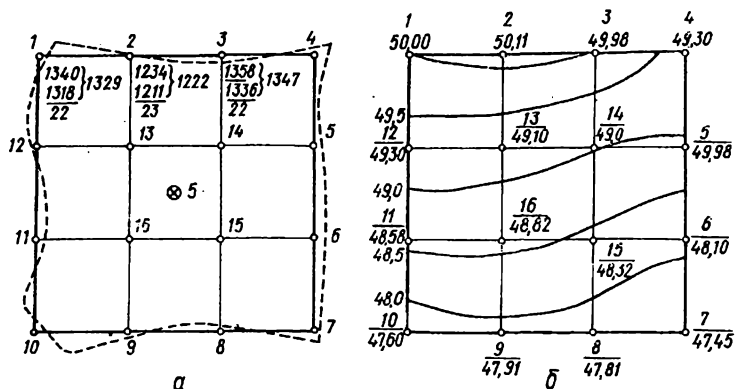


Рис. 108. Нивелирование по квадратам:

а — форма журнала; б — план участка с выписанными отметками.

Пусть отсчеты будут следующими: на точку 1 — 1340, на точку 2 — 1234 и т. д.

Для контроля все точки вершин квадратов нивелируем вторично при втором горизонте, а отсчеты записываем под первыми.

Обработка журнала нивелирования по квадратам. При каждой точке нивелирования выписывают среднее из двух отсчетов. Одной из точек, например точке 1, дают условную отметку или передают на нее отметку от ближайшего репера. Отметки всех точек вершин квадратов вычисляют методом горизонта инструмента. К отметке точки 1 прибавляют средний отсчет на эту точку и получают средний горизонт инструмента. Вычитая из него средние отсчеты на все пронивелированные точки, получают отметки этих точек. Затем составляют план пронивелированного участка, обычно в масштабе 1:500 или 1:1000, выписывая отметки точек до двух десятичных знаков.

На рис. 108, б представлен план с выписанными отметками и горизонталями. По такому плану можно составить профиль в любом направлении.

Нивелирование по квадратам участков значительной величины (100 га и более). Пусть участок местности с более или менее спокойным рельефом, заснятый угломерной съемкой (рис. 109), необходимо пронивелировать способом квадратов.

В этом случае поступают так: на стороне полигона 1—6, которая длиннее, отмеряют отрезки примерно по 50 м. В полученных точках с помощью экера или гониометра восстанавливают перпендикуляры и на них откладывают стороны квадратов в 40, 50, 100 м. В полученных точках забивают колышки, рядом ставят сторожки.

Нумеруют точки, как указано на рис. 109. Например, М будет иметь нумерацию: 4-я точка III ряда. Если же их сравнительно мало, то можно пронумеровать квадраты, как показано на рис. 108, а.

Нивелировку начинают с первого квадрата так: ставят нивелир примерно в его середине и делают отсчеты по рейкам, поставленным в точках а и б этого

же квадрата, затем записывают полученные отсчеты при вершинах квадратов. Запись ведется на листе бумаги с нанесенными на ней квадратами (рис. 110).

Точки *c* и *d* являются связующими. Отсчет на них берется два раза: из первого квадрата — 1234 и 1102, из второго — 1368 и 1235.

Контролем правильности проведенной нивелировки будет такой подсчет: $1234 - 1102 = 0132$ и $1368 - 1235 = 0133$. Расхождение между двумя разностями может быть не более 2—4 мм.

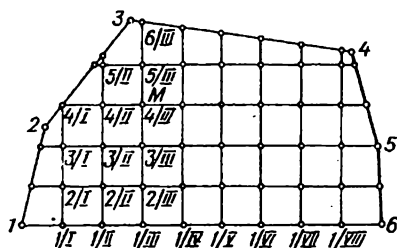


Рис. 109. Нивелирование по квадратам больших площадей.

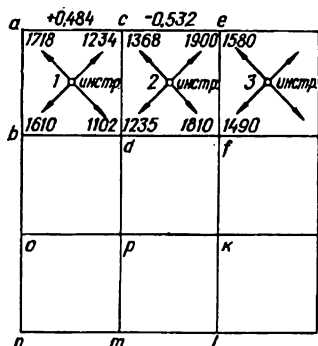


Рис. 110. Запись результатов нивелирования по квадратам больших территорий.

Обработку журнала производят методом превышений. Из заднего отсчета вычитают передний и получают: $1718 - 1234 = +0484$ — превышение между точкой *a* и точкой *c*. Далее из 1368 вычитают 1900 и получают $1368 - 1900 = -0532$. Таким образом вычисляют превышения между всеми точками полигона. Зная, что сумма превышений замкнутого полигона должна быть равна нулю, определяют невязку нивелирного хода; последнюю сравнивают с допустимой и, убедившись в том, что полученная не превышает предела допустимой невязки, разбрасывают ее равномерно на все вершины квадратов, и, придавая точке *a* условную отметку, например 70,000, вычисляют отметки всех вершин квадратов. Так, отметка точки *c* будет: $70,000 + 0484 = 70,484$, а точки *e* $70,484 + (-0532) = 69,952$ и т. д.

Затем вычисляют отметки точек вершин внутренних квадратов. Например, зная превышение между точками *c* и *m* хода *cdpm*, увязывают его и вычисляют отметки точек *d* и *p*. Таким же способом увязывают и находят отметки точек *k* и др.

Затем составляют план пронивелированного участка местности. При вершинах квадратов подписывают отметки точек до двух десятичных знаков и проводят горизонтали. Таким образом и получается план с изображением рельефа.

§ 47. Оптические дальномеры двойного изображения

Такой прибор состоит из двух частей: дальномерной насадки на оправу объектива зрительной трубы теодолита и дальномерной рейки, устанавливаемой на штатив. Основные технические характеристики оптических дальномеров двойного изображения показаны в табл. 36.

Устройство и принцип работы оптических дальномеров двойного изображения рассмотрим на примере дальномера ДН-04.

А. Дальномерная насадка ДН-04. Показана на рис. 111. В корпусе 4 насадки в одной половине светового отверстия расположена ахроматическая пара линз, а в другой — плоскопараллельная пластинка.

Типы оптических дальномеров (ГОСТ 11356—65)

Обозначение приборов по ГОСТу	Назначение	Основные характеристики
ДН-02	Проложение полигонометрических и теодолитных ходов высокой точности с относительной ошибкой не менее 1 : 5000	Дальномер или насадка на оправу объектива зрительной трубы теодолита. Измерение расстояний осуществляется по горизонтальной рейке со средней квадратической ошибкой ± 2 см на 100 м
ДН-04	Проложение теодолитных ходов повышенной точности	Дальномерная насадка к теодолиту. Измерение расстояний осуществляется по горизонтальной рейке со средней квадратической ошибкой ± 4 см на 100 м
ДН-06	Проложение теодолитных ходов, привязка аэроснимков, тахеометрические съемки застроенных территорий	Редукционная насадка на объективы труб геодезических приборов. Обеспечивает измерение горизонтальных проложений линий со средней квадратической ошибкой ± 6 см на 100 м
ДН-08	Проложение теодолитных ходов, привязка аэроснимков	Дальномерная насадка. Предназначена для измерения расстояний со средней квадратической ошибкой ± 8 см на 100 м
ДН-10	Тахеометрическая съемка, землеустроительные работы	Дальномерная насадка. Предназначена для измерения расстояний по вертикальной рейке со средней квадратической ошибкой ± 10 см на 100 м
ДН-20	Тахеометрическая съемка, землеустроительные работы	То же, но со средней квадратической ошибкой ± 20 см на 100 м

Клинья и пластинка заключены в оправу 11, которая связана с корпусом насадки четырьмя юстировочными винтами 1. Промежуточное полукольцо 2 обеспечивает заданный расчетом угол между клиньями 5 и 6, которые с плоскопараллельной пластинкой закреплены гайкой 8. Пружина 10, расположенная между гайкой и оптическими деталями, обеспечивает равномерное давление по окружности.

Сопрягаемые поверхности оправы и корпуса насадки имеют соответственно сферическую и коническую форму. Сферическая поверхность оправы, опираясь на коническую корпуса, при вывинчивании одного из юстировочных винтов и завинчивании другого, смещаясь, плавно наклоняет клинья и плоскопараллельную пластинку. Этим достигается изменение величины параллактического угла и, следовательно, коэффициента дальномера.

Юстировочные винты закрыты колпачком 7, на котором установлена откидная крышка 9, закрывающая оптические клинья. Насадку на теодолите закрепляют винтом 3.

Б. Рейка. Показанная на рис. 112 дальномерная рейка, устанавливаемая на штативе, представляет собой деревянный брус, по обе стороны которого натянуты шкалы, изготовленные методом пробивки штрихов на инварной полосе.

Для дальномера ДН-04 ошибка положения любого штриха, отнесенная к расстоянию до нулевого, составляет не более 1 : 7000.

Одна сторона рейки имеет сантиметровую шкалу, с помощью которой можно измерять расстояния от 10 до 80 м, вторая — двухсантиметровую — для из-

мерения расстояний от 20 до 125 м. Для получения более точного результата при измерении расстояний от 10 до 50 м используют сантиметровую шкалу, а от 50 до 125 м — двухсантиметровую.

Сантиметровая шкала имеет один нониус, а двухсантиметровая — два. Второй нониус двухсантиметровой шкалы является дополнительным. Он служит для уменьшения влияния ошибок за асимметрию базы при измерении больших расстояний.

Величина смещения второго нониуса на местности соответствует расстоянию 50 м. Ее добавляют как постоянное слагаемое.

На рейке 3 (см. рис. 112) установлены круглый уровень 1 и оптический визир 2.

Рейку устанавливают на штативе с помощью съемного треножника. Это позволяет в процессе измерений применять трехштативный способ.

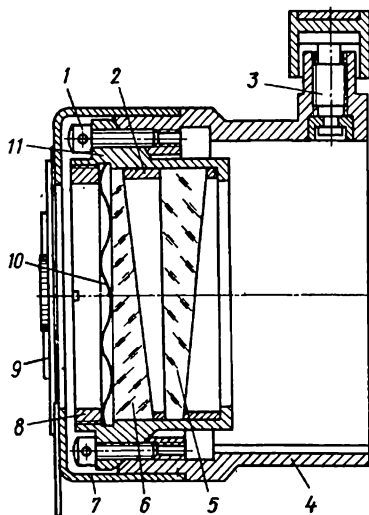


Рис. 111. Дальномерная насадка ДН-04.

§ 48. Измерение расстояний

После подготовки комплекта к работе расстояния измеряют в такой последовательности.

1. Наводят горизонтальную нить сетки (или ребро бипризмы) на середину рейки, но так, чтобы вертикальный штрих ее расположился вблизи нулевого штриха нониуса.

2. Наводящим винтом поворачивают алидаду горизонтального круга по азимуту так, чтобы вертикальная нить сетки двигалась по шкале нониуса. При этом изображение нониуса будет медленно смещаться относительно шкалы рейки. Алидаду вращают до тех пор, пока какой-либо штрих нониуса не совместится точно со штрихом рейки (рис. 113). При этом вертикальная нить сетки не должна выйти за пределы штрихов нониуса.

3. Производят отсчет по рейке.

Он включает:

целое число делений, равное номеру штриха шкалы рейки, расположенного левее нониуса;

десяти доли деления,

равные номеру совмещенного штриха нониуса, считая от нулевого;

сотые доли деления, равные числу делений нониуса от его нулевого штриха до вертикальной нити сетки;

тысячные доли деления, равные доле интервала нониуса, отсеченной вертикальной нитью сетки (оцениваются на глаз).

Для определения расстояния необходимо сделать несколько отсчетов по рейке при независимых совмещениях.

Для случая, показанного на рис. 113, отсчет, равный 33,653 м, соответствует измеренному расстоянию в метрах. Это по сантиметровой шкале. При измерении расстояний по двухсантиметровой шкале полученный отсчет необходимо

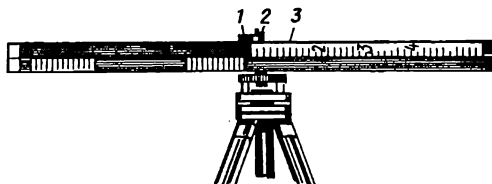


Рис. 112. Дальномерная рейка ДН-04:

1 — уровень; 2 — визир; 3 — рейка.

удвоить, но лучше суммировать два отсчета по рейке, что сразу же дает среднее значение результата. Если отсчет снимался по второму нониусу, то к сумме двух отсчетов следует прибавить 50 м.

Расхождение между отсчетами по одной стороне рейки не должно превышать 1/800 от величины отсчета.

4. Для получения горизонтального проложения необходимо ввести поправку за наклон линии визирования. Угол наклона отсчитывается по вертикальному кругу теодолита во время измерения данного расстояния.

Горизонтальное проложение измеренной линии вычисляют по формуле

$$S = S' - \delta Sa + C, \quad (135)$$

где S' — измеренное расстояние;

$\delta Sa = 2S' \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ — поправка за наклон;

C — постоянное слагаемое дальномера;

α — угол наклона измеряемой линии.

Точность измерения угла α не должна быть грубее 1'.

Формула (135) справедлива для углов наклона, не превышающих $\pm 25^\circ$. При больших углах следует использовать более точную формулу:

$$S = (S' + C) \cos \alpha \text{ — по первому нониусу;} \quad (136)$$

$$S = (S' + 50 + C) \cos \alpha \text{ — то же, по второму.}$$

Технические характеристики наиболее распространенных оптических дальномеров двойного изображения приведены в табл. 37.

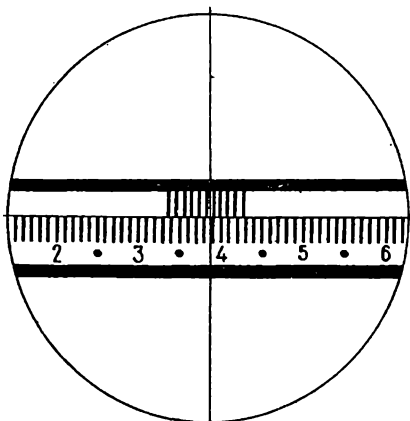


Рис. 113. Отсчет по рейке ДН-04.

§ 49. Оптические дальномеры

Опыт эксплуатации оптических дальномеров показал, что их применение при выполнении работ в таежной, заболоченной местности, в горах, в городских условиях экономически целесообразно, а часто они являются единственным возможным средством быстрого измерения расстояний с наименьшей затратой труда.

Как и всякий измерительный прибор, оптический дальномер имеет рабочий эталон, являющийся исходной величиной при измерении расстояний. В дальномерах линейным эталоном является рейка или база, а угловым — параллактический угол, создаваемый компенсаторами. Постоянство этих

эталонов определяет стабильность точности прибора и характеризуется постоянством его коэффициента, который определяют и систематически контролируют на специально разбитом базисе.

§ 50. Принцип измерения расстояний

Измерение расстояний с помощью оптических дальномеров основано на решении параллактического треугольника.

На рис. 114 показан параллактический треугольник ACB , в котором измеряемая линия $S = CD$ является высотой, база $l = AB$ — основанием, а точка C — вершиной параллактического угла.

Дальномеры двойного изображения

Техническая характеристика	Единица измерения	ДНР-06	ДН-04	ДН-10
Насадка:				
Световой диаметр компенсатора	мм	38	34	28
Коэффициент дальномера	—	100	100	200
Постоянное слагаемое (С) по сантиметровой шкале и с основным нониусом по двухсантиметровой шкале для теодолитов:				
Т5	1 мм	0	0	—
Т2	"	0,01	-0,01	—
Т10, Т20, Т30	"	0	-0,003	0
ОТШ	"	—	+0,006	—
ТТ4, ТТ5, ТЕ, ТТП	"	0,01	+0,01	—
Постоянное слагаемое с дополнительным нониусом двухсантиметровой шкалы ТТ4, ТТ5	"	0,01	50м+С	0
Посадочный диаметр оправы насадки	мм	46	46	38
Рейка:				
Расстояние между соседними штрихами (шкала для ДНР-06):	см	2	—	—
на одной стороне	"	—	1	1
то же, на другой	"	—	2	5
Пределы измерения расстояний:	м	20—200	—	—
по первой стороне рейки	"	—	10—80	20—100
то же, по второй	"	—	20—125	100—200
Средняя квадратическая ошибка измерений	1 см на 100 м	—	3—4	—
Цена деления круглого уровня	мин	5	5	10
Масса:				
Насадка	кг	0,17	0,15	0,09
Рейка	"	—	3,8	2,6
Треножник	"	—	0,7	0,7
Штатив (с отвесом)	"	—	5,3	5,3
Противовес	"	—	0,2	0,14
для Т5	"	0,20	—	—
» Т2 и Т10	"	0,22	—	—
Размеры:				
насадка	мм	—	—	∅56×40
рейка	"	—	—	96×30×1670
Диапазон работы по углу наклона	град	±20	—	—

Согласно чертежу

$$CD = AB \cdot \operatorname{ctg} \beta \quad (137)$$

или

$$S = l \cdot \operatorname{ctg} \beta.$$

Задачу определения расстояния S можно решить двумя способами.

Если величина постоянной базы l известна, то для определения S необходимо измерить величину параллактического угла β .

Приборы, служащие для определения расстояния таким способом, называются дальномерами с переменным параллактическим углом и постоянной базой.

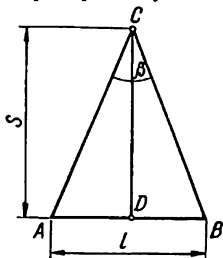


Рис. 114. Принцип измерения расстояния дальномерами.

Если же дальномер имеет постоянный параллактический угол, то для этого достаточно измерить величину базы l , на которую опирается параллактический угол β . Такие приборы называются дальномерами с постоянным параллактическим углом и переменной базой.

Однако, следует иметь в виду, что существуют дальномеры в конструкции которых сочетаются оба принципа определения расстояния. Они называются комбинированными.

В случае, если база расположена внутри прибора, дальномер называется внутрибазным. В остальных случаях — дальномером с базой вне прибора («с базой у цели»).

По принципу действия все рассматриваемые дальномеры относятся к оптическим двойного изображения.

Особенностью этих приборов является построение через одну оптическую систему двух изображений наблюдаемого предмета. Оба эти изображения находятся в поле зрения трубы.

Если предметом является рейка, концы которой отмечены марками, то в поле зрения такого дальномера наблюдаются (см. рис. 113) два ее изображения; причем с помощью специального оптического устройства (компенсатора дальномера) оба изображения можно совмещать в одно или же перемещать относительно друг друга до тех пор, пока не совместятся разноименные марки.

Если используется рейка с делениями и верньером, то в поле зрения дальномера будут видны два ее изображения, причем одно из них может быть использовано как шкала для снятия отсчетов с помощью верньера второго изображения.

Таким образом, этот тип дальномера не требует специальных отсчетных индексов или шкал, расположенных в плоскости сетки зрительной трубы. Он может быть выполнен в виде дальномерной насадки для зрительной трубы любого геодезического инструмента (теодолита, кипрегеля и т. д.).

§ 51. Характеристика и принцип работы дальномера ОТД

Дальномер ОТД является прецизионным самостоятельным оптическим прибором. Он предназначен для измерения расстояний в теодолитных и полигонометрических ходах в диапазоне 35—400 м с относительной ошибкой одного приема 1:6000. Дальнейшее увеличение измеряемого расстояния ведет к уменьшению точности измерений.

Большой диапазон измеряемых расстояний в сочетании с высокой точностью, возможность одновременной работы по рейке, устанавливаемой в зависимости от условий местности горизонтально или вертикально, быстрота наведения и снятия отсчетов, возможность применения трехштативного способа, малый вес — все это позволяет успешно использовать дальномер в различных климатических и географических условиях, в горах, на заболоченной местности, в песках и т. д.

ОТД относится к приборам двойного изображения с переменным параллактическим углом.

На рис. 115 показана схема измерения расстояний дальномером ОТД.

Основная рабочая формула его

$$S'_1 = \frac{l\rho''}{\beta''}, \quad (138)$$

где S'_1 — расстояние от вершины параллактического угла до плоскости марки;

l — длина базы — расстояние между марками;

β'' — параллактический

угол;

ρ'' — 206265.

Поскольку в приведенной формуле (138) величины l и ρ постоянны, объединим их и произведение l на ρ назовем коэффициентом дальномера K .

С учетом постоянного слагаемого ($C=C_1+C_2$), а также поправок за наклон измеряемой линии к горизонту δS_2 и изменения температуры δS_t , формула примет вид

$$S = \frac{NK}{\rho_0} + C - \delta S_\alpha + \delta S_t. \quad (139)$$

Здесь S — величина измеряемого расстояния приведения к горизонту;

N — количество баз дальномерной рейки;

$\rho_0 = \beta_k + \beta_n$ (β_k — постоянная и β_n — переменная части параллактического угла).

Коэффициент K определяют из измерений базиса, интервалы которого известны с достаточно высокой точностью.

Поправка за наклон измеряемой линии имеет вид:

$$\text{при горизонтальной рейке } \delta S_\alpha = S'^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

где $S' = S' + C$; α — угол наклона измеряемой линии к горизонту;

при вертикальной рейке $\delta S_\alpha = S' \sin^2(\alpha + 12')$.

Поправки за изменение температуры берут из табл. 38.

Основные технические характеристики дальномеров ОТД и ДВГ приведены в табл. 39.

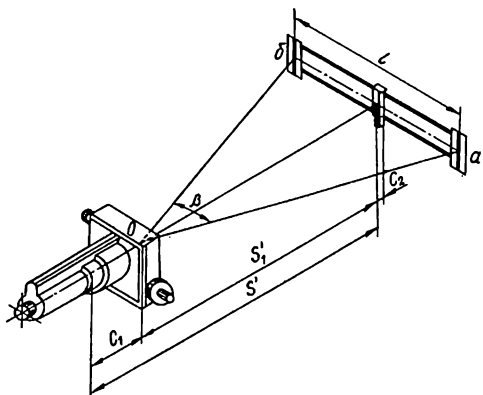


Рис. 115. Измерение расстояний с помощью дальномера ОТД.

§ 52. Радиофизические дальномеры

Общие принципы работы. Радиофизические методы измерения расстояний основаны на определении времени, необходимого электромагнитным колебаниям для преодоления расстояний в прямом и обратном направлениях.

Расстояние D определяется по формуле

$$D = \frac{v\tau}{2}, \quad (140)$$

где v — скорость распространения электромагнитных колебаний в атмосфере;
 τ — время, за которое эти колебания проходят расстояние $2D$.

Точность измерения расстояний такими дальномерами зависит прежде всего от полноты учета условий распространения колебаний, определяющих величину скорости v , которая может быть вычислена по формуле

$$v = \frac{C}{n}, \quad (141)$$

где C — скорость распространения электромагнитных колебаний в пустоте (скорость света);

n — показатель преломления атмосферы.

Т а б л и ц а 38

Поправки δS_t для дальномера ОТД

S, м	t - t ₀ , град С									
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
40	0,4	0,8	1,2	1,6	2,1	2,5	3	3,4	3,8	4,2
60	0,7	1,4	2	2,7	3,4	4	4,8	5,5	6,1	6,8
80	0,8	1,7	2,5	3,5	4,2	5	6	7	7,7	8,5
100	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
120	1	2	4	5	6	7	8	10	11	12
140	1	3	4	6	7	9	10	12	13	15
160	2	3	5	7	8	10	12	14	15	17
180	2	4	6	8	10	12	14	16	18	19
200	2	4	6	8	11	14	16	18	19	21
250	3	6	8	11	14	17	20	22	25	28
300	4	7	10	14	18	21	25	28	32	35
350	4	8	12	16	20	25	29	33	37	41
400	5	10	14	19	24	29	34	38	43	48

П р и м е ч а н и я: 1. Поправки даются в сантиметрах.

2. t — температура во время измерения; t_0 — температура при определении коэффициента дальномера.

3. Поправка принимается со знаком, который имеет разность $t - t_0$.

На XI Генеральной ассамблее Международного геодезического и географического союза (МГГС) в 1957 г. было принято и рекомендовано для использования значение скорости электромагнитных волн (света) в пустоте, равное $299792,5 \pm 0,4$ км/сек.

Величина показателя преломления n зависит от таких факторов, как длина волны, температура, влажность и давление воздуха, время суток и года, характер подстилающей поверхности.

Если в дальномерах используются электромагнитные колебания диапазона радиоволн, их называют радиодальномерами, если же света — то световыми дальномерами.

В первых в качестве несущей частоты используют сантиметровый диапазон УКВ, так как их распространение в атмосфере характеризуется такими особенностями:

дальность действия не зависит от времени суток и года, хотя зависит от рельефа местности;

при помощи УКВ, используя направленные антенны, можно получить остро-направленный луч;

распространение УКВ в известной мере аналогично распространению света.

Техническая характеристика дальномеров ОТД и ДВГ

Наименование показателей	Единица измерения	ОТД	ДВГ
Зрительная труба:			
увеличение	×	31	14,5
угол поля зрения	0,1	1°20'	2° 8'
диаметр выходного зрачка	мм	1,5	1,5
фокусное расстояние объектива	"	310	145
пределы фокусирования	м	16÷∞	2÷∞
предельные углы наклона	град	±22	±40
Отсчетная система:			
диаметр горизонтального круга	мм	—	88
то же, вертикального	"	55	—
увеличение отсчетного микроскопа	×	25	12,5
цена деления вертикального круга	мин	10	10
то же, горизонтального	град	—	1
точность отсчитывания по горизонтальному кругу	мин	—	6
то же, по вертикальному	"	1	1
диапазон измерения параллактических углов	сек	500—5000	
увеличение отсчетного микроскопа	×	61,5	
число делений дальномерной шкалы	ед.	120	
цена деления шкалы микроскопа	—	0,1 деления дальномерной шкалы	
	"	0,01	
точность отсчета по дальномерной шкале	"		
цена деления круглого уровня	мин	—	5
то же, цилиндрического	сек	45	
цена деления шкал базовых линеек	мм	—	1
точность отсчета по шкалам линеек	"	—	0,1
Диапазон измеряемых расстояний и соответствующие им коэффициенты:			
измерение до недоступных точек, м			
17,5—60	К	—	100
60—120	"	—	200
120—300	"	—	500
измерение с применением дополнительной базовой рейки, м			
2—75	"	—	100
75—150	"	—	200
150—375	"	—	500
Рейка:			
базы, образуемые марками первой стороны рейки	м	0,404—2,020	
то же, второй стороны	"	0,4—2,0	
увеличение визира	×	4,3	—
угол поля зрения	град	5	—
диаметр выходного зрачка	мм	1,4	—
цена деления уровней	мин	5	—
цена деления термометра	град С	1	—

Наименование показателей	Единица измерения	ОТД	ДВГ
Вес:			
дальномер	кг	4,0	4,2
штатив	"	5,3	3,5
дальномерная рейка	"	3,5	—
вежа	"	—	1
марка	"	—	0,25
дальномер в футляре	"	—	9

Примечания: 1. Значения параллактических углов — двойные.

2. Постоянные слагаемые для ДВГ, подлежащие проверке в полевых условиях, м: $C_{100}=0,01$; $C_{200}=0$; $C_{500}=-0,04$.

Электромагнитные колебания характеризуются тремя параметрами: амплитудой A , круговой частотой ω и начальной фазой φ_0 .

$$\alpha = A \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (142)$$

Для передачи сигналов на расстояние надо, чтобы несущие высокочастотные незатухающие колебания передавали характер сигнала. Радионизмерения высокой точности легче производить на более длинных волнах. Эти частоты значительно меньше чем частоты сантиметрового диапазона УКВ ($\approx 3000 \times 10\,000$ мГц) и тем более — светового диапазона ($\approx 1,5 \cdot 10^8$ мГц).

Обычно измерительные частоты в радиофизических дальномерах принимают 10—30 мГц. Поэтому на несущие высокочастотные колебания воздействуют так, чтобы сообщить им закон передаваемого сигнала с нужной частотой. Это воздействие может изменять амплитуду, частоту или начальную фазу высокочастотных электромагнитных колебаний и называется модуляцией.

В случае, когда в соответствии с характером передаваемого сигнала изменяется амплитуда, имеем дело с амплитудной модуляцией, если же изменяется частота, то с частотной, а при изменении фазы — с фазовой.

По принципу действия радиофизические дальномеры делятся на импульсные (прерывистого излучения) и фазовые (непрерывного).

При импульсном интервал времени τ определяется непосредственно; при непрерывном — время τ определяется косвенно, через сдвиг фазы прямого излучения относительно фазы отраженного.

Рассмотрим в общих чертах схемы определения расстояний импульсным и фазовым методами.

Основными элементами импульсной схемы являются импульсный генератор, передатчик, переключательное устройство, индикатор и приемник (рис. 116).

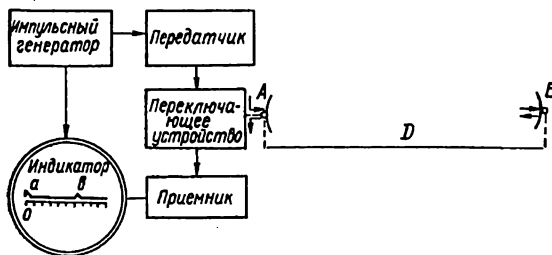


Рис. 116. Схема устройства и измерения расстояний с помощью радиодальномеров.

Генератор в точке A формирует импульсы (порции электромагнитной энергии), повторяющиеся через равные промежутки времени. Их продолжительность мала и измеряется микросекундами или их долями. Смежные импульсы разделяются паузами, в сотни раз более продолжительными, чем сами импульсы.

Эти импульсы излучаются в направлении отражателя, установленного в точке B , и называются зондирующими. Отразившись в точке B , импульс возвращается к точке A и поступает в приемник. В момент излучения зондирующего импульса переключающее устройство автоматически подключает к излучателю передатчик, а затем, когда нужно принять отраженный сигнал, — приемник. Часть излучаемой энергии зондирующего импульса через переключающее устройство поступает в приемник и оттуда в индикатор.

Индикатором служит электроннолучевая трубка. При поступлении части энергии зондирующего импульса на вертикально-отклоняющие пластины электроннолучевой трубки на ее экране возникает всплеск-отметка. Отраженный импульс через приемник также подается на вертикально-отклоняющие пластины индикатора и, в свою очередь, образует всплеск-отметку на некотором расстоянии от первой. В течение одной секунды излучается большое число импульсов и, следовательно, описанный процесс повторяется многократно. В результате на экране индикатора появляется сплошная световая дорожка (развертка) с двумя световыми выступами a и b — изображениями излученного и отраженного импульсов.

Расстояние между световыми выступами пропорционально времени τ , за которое импульс прошел двойное расстояние $2D$. Зная масштаб развертки, можно на экран индикатора нанести шкалу, отградуированную в единицах длины.

Схема фазового метода состоит в следующем.

В точке A установлен передатчик и приемник, а в точке B — отражатель. Передатчик непрерывно излучает электромагнитные колебания, модулированные частотой f (длина волны λ_1), которые, отражаясь в точке B , возвращаются к точке A и поступают в приемник.

Пусть в начальный момент t_0 (рис. 117, a) передатчик излучил сигнал в фазе φ_0 . Этот сигнал пройдет расстояние от передатчика до отражателя (рис. 117, b) и вернется к приемнику в фазе φ_1 в момент времени t_1 . Разность $t_1 - t_0 = \tau$ определяет интервал времени, необходимый электромагнитным колебаниям для перемещения на расстояние $2D$.

На рис. 117, b показана картина для момента t_1 , когда сигнал достиг приемника.

В расстоянии $2D$ укладывается $\frac{2D}{\lambda_1}$ колебаний или $\frac{2Df_1}{v}$, так как $\lambda_1 = \frac{v}{f_1}$.

Каждому колебанию соответствует изменение фазы на угол, равный 2π (360°), поэтому к моменту времени t_1 текущая фаза излучения передатчика

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{4\pi Df}{v}. \quad (143)$$

Следовательно, в каждый последующий момент времени разность фаз $\Delta\varphi$

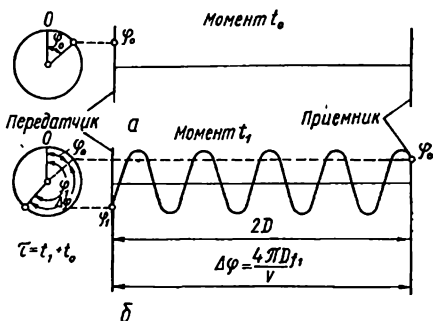


Рис. 117. Фазовый метод измерения расстояний.

излучаемого колебания и возвращающегося в приемник колебания для данного расстояния будет

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_0 = \frac{4\pi D f_1}{v}, \quad (144)$$

а так как $2\pi f_1 = \omega$ есть круговая частота, получим

$$\Delta\varphi = \frac{2D}{v} \omega. \quad (145)$$

Измеряемое расстояние, с учетом формулы (145),

$$D = \frac{v}{2\pi f_1} \Delta\varphi = \frac{\lambda_1}{4\pi} \Delta\varphi = \frac{v}{2\omega} \Delta\varphi. \quad (146)$$

Разность фаз $\Delta\varphi$ измеряют при помощи специального устройства — фазового индикатора, на который одновременно поступают часть излучаемой энергии и энергия отраженных колебаний.

Фазовые индикаторы позволяют определять разности фаз в пределах одного периода изменения фазы, т. е. от 0 до 2π . Поэтому для определения расстояний, превышающих половину длины рабочей волны, соответствующей частоте модуляции, формула будет иметь вид

$$D = \frac{v}{2\omega} (2\pi N + \Delta\varphi), \quad (147)$$

где N — число полных волн, уложившихся в расстоянии $2D$.

Если значение N неизвестно, расстояние D не может быть определено однозначно.

Разрешение неоднозначности (определения числа N) осуществляется измерением расстояния D при помощи электромагнитных колебаний разных частот.

Измерение расстояний с высокой точностью импульсным методом очень затруднительно из-за сложности и громоздкости аппаратуры. Поэтому в геодезических и маркшейдерских работах используются фазовые системы, позволяющие достигать высокой точности измерения расстояний при достаточно компактной аппаратуре.

При измерении расстояний определяются значения показателя преломления на начальной и конечной точках линии. Из них выводится среднее арифметическое значение n , используемое потом для вычисления измеряемого расстояния.

Следует отметить достоинства и недостатки радио- и светодальномеров, определяющиеся особенностями распространения электромагнитных колебаний соответствующего диапазона, конструктивными особенностями приборов.

Радиодальномеры обладают большей дальностью действия, чем светодальномеры. Объясняется это, во-первых, применением в них активных «отражателей», ретранслирующих сигналы, принятые от передающей станции, тогда как в световых дальномерах используются пассивные отражатели; во-вторых, меньшим затуханием радиоволн в атмосфере по сравнению со световыми.

Радиодальномеры позволяют вести измерения почти при любых метеорологических условиях и в любое время суток.

Однако по точности измерения расстояний они уступают световым. Объясняется это большим влиянием внешних условий на распространение радиоволн.

Преимуществами света являются прямолинейность распространения и возможность узкой направленности луча при помощи оптических систем.

Поэтому характер подстилающей поверхности почти не влияет на точность измерения сдвига фаз. Радиолуч имеет телесный угол около 10° и поэтому возможно отражение волн от складок рельефа и местных предметов. Отраженные колебания, накладываясь на основные, могут изменять разность фаз. Это вносит ошибки в измерение расстояния.

§ 53. Радиодальномер РДГ

Геодезический радиодальномер РДГ фазового типа. Он предназначен для геодезических и маркшейдерских работ. Дальность действия от 200 м до 30 км. В качестве несущей частоты используются радиоизлучения сантиметрового диапазона. В комплект радиодальномера входят: одна ведущая и две ведомых приемопередающих станции, аккумуляторные батареи типа 6 СТ-54 напряжением 12 в. Каждая станция имеет барометр-анероид и аспирационный психрометр.

Для измерения расстояния необходима согласованная работа двух станций — ведущей и ведомой. Связь между наблюдателями во время работы осуществляется с помощью радиотелефона.

РДГ работает при температуре воздуха от -30 до $+50^{\circ}\text{C}$ и атмосферном давлении не менее 460 мм рт. ст., при влажности воздуха $65 \pm 15\%$. Общий вес комплекта 70 кг.

§ 54. Радиодальномер «Луч»

В ЦНИИГАиК разработан геодезический фазовый радиодальномер «Луч». Выносные приемопередающие устройства этого дальномера могут работать в режиме ведущей и ведомой станций, т. е. взаимозаменяемы.

Несущей частотой этого дальномера является диапазон 8600—8900 мГц, которому соответствует длина волны $\lambda \approx 3,5$ см.

В радиодальномере «Луч» имеется возможность выносить приемопередатчик с дистанционным управлением на мачту высотой до 25 м, что позволяет обходиться без постройки дорогостоящих геодезических сигналов.

«Луч» предназначен для измерения длины линий при прокладке полигонометрических ходов и развития сетей триангуляции.

В комплект станции входят: приемопередатчик, индикаторный блок, батарея аккумуляторов, барабан с кабелем.

В табл. 40 приведены технические характеристики радиодальномеров.

Т а б л и ц а 40

Технические характеристики радиодальномеров

Наименование показателей	Единица измерения	Марка радиодальномера	
		РДГ	«Луч»
Год и место изготовления	—	СССР, 1961	СССР, 1967
Частота:			
несущая	Ггц	2,70—3,00	8,60—8,90
модулирующая	мгц	10	—
Диаметр отражателя (антенны)	см	46	46
Диаграмма направленности антенны	град	15	15
Напряжение источника питания	в	12	12
Потребляемая мощность станции	вт	80	80
Состав комплекта	Количество станций	1 ведущая 2 ведомых	3 взаимозаменяемых
Масса комплекта	кг	300	45
Диапазон рабочих температур	град С	$-30 \div +50$	$-30 \div +50$
Время измерения одной стороны	мин	60	60
Дальность действия	км	0,2—40	0,2—40
Точность измерения расстояний	—	$\pm(5+8 \times 10^{-6}D)$	$\pm(3+3 \times 10^{-6}D)$

§ 55. Светодальномер «Кристалл»

Светодальномер «Кристалл» предназначен для измерения длины линий при построении геодезического обоснования крупномасштабных съемок и других инженерных работ.

Это фазовая система с визуальным способом наблюдений и плавным изменением частот, разработанная ЦНИИГАиК в 1963—1966 гг.

Технические характеристики дальномера приведены в табл. 41.

Т а б л и ц а 41

Технические характеристики отечественных светодальномеров

Наименование показателей	Единица измерения	Марка		
		„Кристалл“	СТ-64М	„Кварц“
Год изготовления	—	1963	1964	1966
Модулятор	—	Ячейка Керра		
Модулирующая частота	мгц	30—33	32,6—35,6	30
Метод разрешения неоднозначности	—	Плавное изменение частоты		Фиксированные частоты
Способ индикации разности фаз	—	Визуальный		Фотоэлектрический
Потребляемая мощность	вт	45	35	140
Масса комплекта	кг	79	70	150
Диапазон рабочих температур	град С	—20 ÷ +30	—20 ÷ +35	—
Время измерения одной стороны	мин	20—40	15—20	—
Дальность действия	км	0,10—5	0,09—5	1—50
Точность измерения расстояния	см	±(2—5)	±1 см до 1 км, более 1 км 1/100000	±(1—2) × 10 ⁻⁶ Д)

Особенностью схемы является использование одной оптической системы для передачи и приема световой энергии и одного конденсатора Керра, выполняющего одновременно роль модулятора и демодулятора. При этом в совмещенной оптической системе передатчика и приемника вся действующая площадь объектива работает одновременно на передачу и прием световой энергии. Излучаемый световой поток от отраженного отделяется посредством кристаллического биполяризатора, который поляризует отражаемый им свет источника в одной плоскости, а проходящий через него световой поток, идущий от отражателя — в плоскости, перпендикулярной к первой.

Для того, чтобы один конденсатор Керра мог работать и модулятором и демодулятором, нужно, чтобы плоскости плоскополяризованных составляющих светового потока, возвращающегося от отражателя, были повернуты относительно таких же составляющих излучаемого потока на 90°. Этот поворот достигается пропусканием пучка света через «четвертьволновую» пластинку два раза: первый раз в прямом направлении, а другой раз — при возвращении от отражателя.

Генератор модулирующей частоты состоит из задающего и выходного каскадов, связанных индуктивно.

При плавном изменении частоты задающего каскада в пределах 15—16,5 мгц, частота напряжения выходного каскада, подаваемая на конденсатор Керра, плавно изменяется в пределах 30—33 мгц.

Из-за нестабильности частоты плавного генератора (уход до 60 гц/мин) в

дальномере имеется калибрующее устройство, создающее при помощи кварцевого генератора в 300 гц одиннадцать опорных кварцевых точек в диапазоне частот 30—33 мгц. Для этого используются колебания гармоник от 100-й по 110-ю. Колебания модулирующего генератора и соответствующих гармоник подаются на смеситель. При приближении моделирующей частоты к частоте гармоник в наушниках телефона слышен звук с понижающейся высотой тона. При совпадении частот этот звук исчезает, а при расхождении — повышается.

Отражатель светодальномера — это блок из семи трипелъпризм, укрепленный в дюралевом корпусе. Приемопередатчик его устанавливается на стандартном штативе и может легко отделяться от него. На штатив можно устанавливать отражатель, теодолит или марку. Это позволяет использовать дальномер для прокладывания полигонометрических ходов по трехштативной системе.

В комплект входят: приемопередатчик, блок питания, упаковочный ящик с принадлежностями, две аккумуляторные батареи, два отражателя и три штатива.

§ 56. Светодальномер топографический СТ-64

СТ-64 предназначен для измерения расстояний при создании геодезического обоснования городского, поселкового и промышленного строительства, а также геологоразведочных и маркшейдерских работ.

Внешний вид прибора с отражателем и его опτικο-электронная схема показаны на рис. 118.

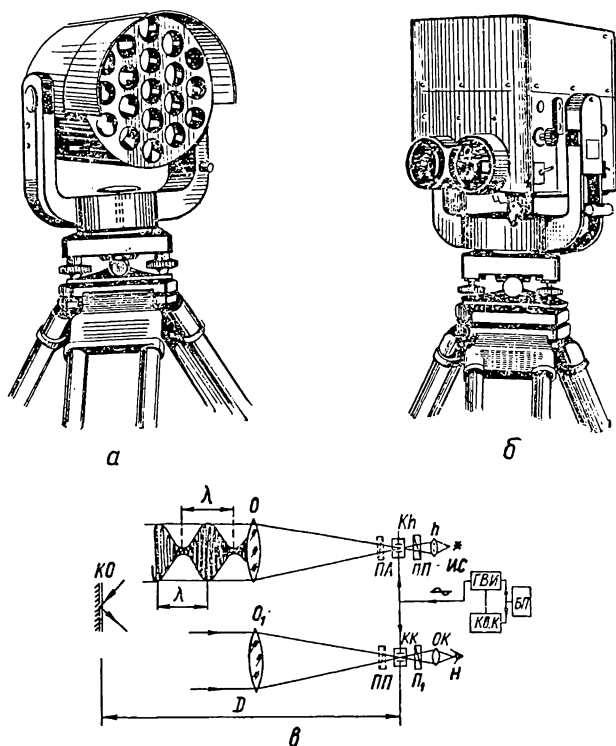


Рис. 118. Топографический светодальномер СТ-64.
а — отражатель; б — прибор; в — принципиальная схема.

Измерения выполняются преимущественно в дневное время. СТ-64 относится к классу высокоточных малых (топографических) дальномеров.

При измерениях этим прибором расстояние D находится как половина произведения длины волны модуляции света λ на число N ее уложений в измеряемом расстоянии.

$$D = \frac{1}{2} \lambda \cdot N = \frac{1}{2} \frac{C}{f} N, \quad (148)$$

где D — измеряемое расстояние;

λ — длина волны модуляции света;

N — число волн;

C — скорость света;

f — частота модуляции.

Наблюдения производятся по компенсационному способу экстремума. Наблюдаются минимумы светового потока, прошедшего двойное расстояние D между приемопередатчиком и отражателем КОВ момент минимума при помощи электронного кварцевого калибратора К_ВК определяется частота модуляции светового потока, которая выделяется электронным генератором ГВЧ в диапазоне 32,6—35,6 мГц.

Для определения числа волн N наблюдения производят на двух или более минимумах. По известной скорости света и частоте модуляции расстояние вычисляется по формуле (148).

Прибор состоит из оптико-механического и электронных блоков ГВЧ, Кв. К, БП. Модулятором и фазовым детектором светового потока служат ячейки Керра КК. Источником света ИС используется лампа накаливания СГ-2.

КОМПЛЕКТ ПРИБОРА (ЕД.):

Приемопередатчик	1	Зарядный выпрямитель	1
Отражатель	2	Штативов	3
Аккумуляторная батарея	1	Барометр-анероид	1

§ 57. Оптические квантовые дальномеры (ОКД)

Есть несколько экспериментальных конструкций оптических квантовых дальномеров. ЦНИИГАиК разработан фазовый светодальномер «Кварц», в котором источником света использован газовый оптический квантовый генератор ЛГ-56. Это позволило увеличить дальность его действия в дневное время до 30 км, что особенно важно для работы в северных районах страны.

Конструкция дальномера позволяет работать на століке геодезического сигнала и на штативе.

Комплект ОКД состоит из приемопередатчика, светодальномера «Кварц», отражателя и блока питания.

Прибор предназначен для измерения базисных сторон триангуляции и сторон полигонометрии всех классов.

Другой отечественный лазерный светодальномер — фазовый дальномер ГД-314 — имеет дальность действия до 2000 м. Его точность ± 2 см. Генератором излучения в нем служит полупроводниковый ОКГ из арсенида галлия с длиной волны излучения 842 нм и мощностью 0,5 мВт. Основные части: приемо-передатчик (вес 6 кг), блок питания (15 кг), отражатель.

§ 58. Измерение наклонов с помощью микрокренометра

Для периодического определения крена сооружений можно воспользоваться специальным прибором — микрокренометром конструкции Н. Г. Видуева и В. П. Гржибовского (рис. 119). Он состоит из жесткой металлической плиты 1 (размер 37×36×1,2 см) и трех прецизионных уровней 2, расположенных веером через 45°. Средний уровень имеет специальное отсчетное приспособление в виде микрометрических винтов с лимбами 3.

Перед установкой прибора все его уровни должны быть тщательно исследованы на обычном геодезическом экзаменаторе. В приборе установлены прещизонные уровни с ценой деления $5''$ на 2 мм дуги ампулы. Цена деления лимба отсчетного приспособления $1'',55$.

Перед началом наблюдений, пользуясь микрометренными винтами, пузырьки всех трех уровней выводят на середину. Величина крена сооружения в плоскости оси каждого уровня характеризуется смещением пузырька с нульпункта. Крен сооружения может быть представлен в виде вектора, модулем которого есть тангенс угла смещения пузырька уровня с нульпункта. Направление вектора совпадает с направлением оси уровня. Чтобы отыскать величины и направления максимального крена, достаточно сложить векторы-крены по правилу перпендикуляров.

Крен сооружения за время Δt определяется из выражения

$$\varphi = Cn, \quad (149)$$

где C — цена деления счетного приспособления;

n — количество делений.

При малых кренах за модули можно принимать величины углов смещения пузырька уровня с нульпункта, выраженные в делениях ампулы уровня или в градусной мере.

Средний уровень микрокренометра служит для контроля. Контрольное определение направления и величины максимального крена производится графически с использованием правила перпендикуляров.

Точность определения отклонения точек сооружения от вертикали $\pm 0,08\text{ мм}$ на высоте 20 м и $\pm 0,4\text{ мм}$ — 100 м .

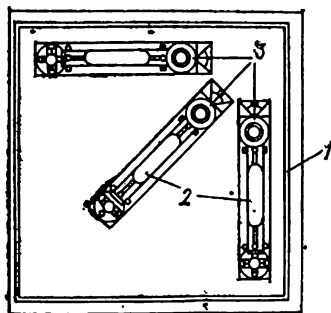


Рис. 119. Внешний вид микрокренометра.

§ 59. Мерные приборы и их компарирование

Широкое применение в геодезической практике строительно-монтажного производства нашли стальные рулетки шириной 15 — 20 и толщиной $0,3$ — $0,5\text{ мм}$. Длины их, в соответствии с ГОСТ 10815—64, таковы, м : ленты землемерные (ЛЗ) — 20 , 24 и 50 ; ленты землемерные рулеточные (ЛЗР) — 24 , 50 и 100 . Бывают ленты штриховые, у которых за длину принимается расстояние между штрихами, нанесенными у концов против середины вырезов для шпилек, и шкаловые, у концов которых нанесены миллиметровые и сантиметровые деления. Их используют для измерения расстояний с повышенной точностью.

Для высокоточных измерений используют стальные и инварные проволоки. Если измерения ведутся на участке, где выполняются электросварочные работы, при условии, что точность результатов измерений удовлетворяет техническим допускам, применяют тесняные рулетки. В противном случае, во избежание электротравм и пережигания полотна стальной рулетки, к измерениям приступают после окончания электросварочных работ. Кроме металлических рулеток часто пользуются стальными линейками длиной до 500 мм с миллиметровыми делениями.

Высокая техническая ответственность, необходимая при обеспечении геометрическими данными монтажных подразделений, обязывает иметь доброкачественные и тщательно выверенные мерные приборы, позволяющие получать достоверные результаты измерений. Поэтому геодезист должен иметь рабочие и контрольные мерные приборы, в зависимости от класса точности линейных измерений.

Контрольный мерный прибор периодически компарируют на стационарном компараторе или при помощи нормальной (женевской) линейки, имеющей уравнивание длины с известным температурным коэффициентом.

Рабочую стальную рулетку с контрольным мерным прибором сравнивают натяжением с силой 10 кГ, используя чувствительный динамометр. Длину контрольных и рабочих приборов определяют как при укладке на плоскости, так и в подвешенном состоянии.

Контрольный прибор является эталоном. Он служит только для проверки рабочих приборов. Контрольным мерным прибором используют стальную 20-метровую рулетку с миллиметровыми делениями. Ее периодически компарируют на стационарном компараторе или нормальной (женевской) линейке, т. е. при определенных натяжении и температуре устанавливают общую длину, длины метровых и дециметровых интервалов. Рабочие приборы сравнивают с контрольным, определяя длины упомянутых интервалов.

В результате компарирования длину мерного прибора характеризуют уравнением

$$l = l_0 + \Delta l + \alpha l_0 (t - t_0), \quad (150)$$

где l_0 — номинальная длина мерного прибора, которая принималась при его изготовлении;

Δl — поправка к номинальной длине при температуре t_0 ;

α — температурный линейный коэффициент (для стали $\alpha = 0,00012$);

t_0 — температура компарирования мерного прибора;

l — длина мерного прибора при температуре t .

Если длина ленты отличается от номинальной не более чем на 1—2 мм, этим обычно пренебрегают. В противном случае в результате измерений вводят поправку за компарирование.

Линейные измерения на монтажной площадке производят для определения длин конструкций, занимающих различное положение в пространстве, горизонтальных проекций прямой фиксированных точек и т. д.

Условия для измерений линий до монтажа сборных элементов и после резко отличаются, причем в последнем случае существенно усложняются, а требуемая точность получения конечных одноименных данных остается одинаковой.

Все измерения необходимо выполнять с обязательным контролем, так как после получения данных приступают к очередной строительной или монтажной операции и допущенные ошибки могут вызвать переделку дорогостоящих работ, изменение конструктивных решений узлов монтируемых элементов.

РАЗБИВОЧНЫЕ СЕТИ НА СТРОИТЕЛЬНОМ ОБЪЕКТЕ

§ 60. Строительная координатная сетка

Плановая геодезическая сеть на местности, строго соответствующая сетке координат на проектном генеральном плане предприятия, называется строительной координатной сеткой, или сокращенно строительной сеткой.

Для получения аналитических данных проектного размещения всех видов инженерных сооружений постоянного и временного назначения на строительном генеральном плане наносят сетку квадратов, большинство сторон которой совмещают с линиями застройки или располагают параллельно им. Такая сеть условной системы координат значительно облегчает составление проектного разбивочного чертежа отдельного сооружения. Положение сооружения в плане определяют координатами точек пересечения основных осей, одну из которых берут с плана графически или задаются ею, а координаты второй, расположенной по диагонали, получают аналитически согласно габаритным размерам. Все другие разбивочные оси рядов и поперечных створов колонн определяют линейными размерами.

В зависимости от размеров и важности строительного объекта координатная сетка представляет собой сеть квадратов со сторонами 400, 200 и 100 м или прямоугольников с такими же сторонами.

Построенная и закрепленная на местности координатная сетка дает возможность вести разбивку сооружений на любом участке, не нарушая взаимной аналитической связи между сооружениями, предусмотренной генеральным планом.

Построение на местности строительной координатной сетки должно быть произведено с высокой точностью. Необходимо, например, сетку основных квадратов (прямоугольников) разбивать с относительной точностью не ниже $1:5000$ — $1:10\,000$ (точность полигонометрии I разряда), а высоты (отметки) вершин квадратов сетки — с точностью нивелирования 3 и 4-го классов.

Организация, выполняющая строительно-монтажные работы, заказывают специализированной геодезической организации построение строительной координатной сетки. Она должна иметь в своем составе геодезистов, которые принимают от специализированной организации построенную на местности сетку и пользуются ею при разбивке сооружений на площадке.

Строительную сетку разбивают от существующих на местности геодезических пунктов. Если их нет, создается самостоятельная сеть этих пунктов. Точность их определения обеспечивает надлежащее построение строительной координатной сетки. Пункты сетки следует размещать, сохраняя максимальное их число и строго учитывая предстоящую горизонтальную и вертикальную планировки площадки.

§ 61. Привязка строительной координатной сетки к геодезической основе

Построение строительной координатной сетки начинают с определения на местности положения нескольких исходных геодезических пунктов (I, II, III, IV и V, рис. 120), по их проектным координатам.

Если в районе площадки имеются пункты государственных сетей или местного значения, то, решая обратные геодезические задачи, вычисляют расстояния и направления, связывающие запроектированные геодезические пункты с существующими. Построив на местности ряд засечек, определяют положение искомым пунктов.

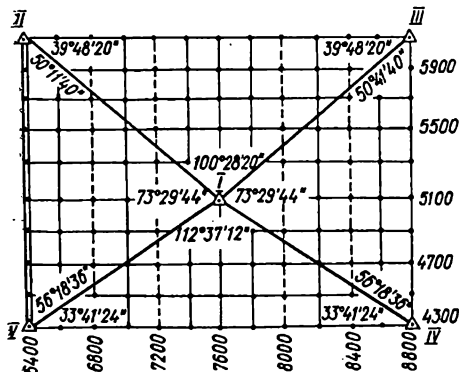


Рис. 120. Построение строительной координатной сетки.

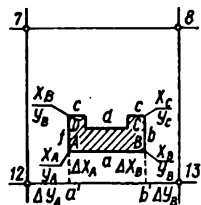


Рис. 121. Разбивка сооружений от координатной сетки.

После провешивания линий внешнего контура производят предварительную разбивку координатной сетки на местности. Провешивание по сторонам II—III, III—IV, IV—V и V—II (см. рис. 120) выполняют с отбивкой расстояний по 200 м обычной 20-метровой лентой. На концах пролетов устанавливают

временные грунтовые знаки. Затем производят провешивание линий по всем установленным створам с отбивкой проектных расстояний.

По вершинам квадратов предварительно разбитой сетки производят угловые и линейные измерения, точность которых должна соответствовать классам полигонометрических ходов, принятых проектом. Затем измеряют длину базиса (сторона II—V) и углы на пунктах триангуляции. После этого выполняют уравнильные вычисления и вычисления координат пунктов триангуляции в системе строительной координатной сетки, уравнивают полигонометрические ходы и вычисляют координаты вершин квадратов строительной сетки площадки.

По полученным координатам вершин предварительно разбитых квадратов и проектным их значениям решают обратные геодезические задачи, получают элементы редукции, пользуясь которыми, смещают предварительно намеченные точки вершин в их проектное положение.

Знаки постоянного типа, закладываемые в вершинах квадратов сетки, будут служить в нивелирных реперами, т. е. высотной опорой при строительно-монтажных работах. Для определения высот этих знаков производят их нивелирование. По направлениям, совпадающим с полигонометрическими ходами повышенной точности и I-го класса, прокладывают нивелирные ходы 3-го класса, а по остальным направлениям — 4-го.

Передачу высот на пункты строительной сетки производят с точностью нивелирования 3-го класса как минимум от двух пунктов нивелирных сетей старшего класса, имеющих в районе строительной площадки. Окончательно закрепляют вершины квадратов строительной сетки железобетонными монолитами в виде усеченной пирамиды. Их закладывают с учетом максимального промерзания грунта в данном районе на глубину не менее 1,5 м (для южных районов). Верхнюю часть монолита заглубляют на 5—8 см от поверхности земли.

Закрепление вершин квадратов указанными знаками постоянного типа производят там, где не предусмотрено возведение каких-либо сооружений, учитывая необходимость сохранения таких знаков на длительный срок. В местах, о которых заведомо известно, что там будут производиться земляные работы, устраивают облегченные знаки временного типа. Данные о заведомо уничтожаемых знаках в результате выполнения вертикальной планировки территории, а также о местах, в которых следует заложить знаки временного типа, могут быть получены из анализа планировочных отметок.

Окончательно установив знаки в вершинах квадратов строительной координатной сетки, выборочно выполняют контрольные линейные и угловые измерения. Последние производят не в каждой вершине сетки, а в шахматном порядке.

Точность линейных и угловых контрольных измерений аналогична предусмотренной для полигонометрических ходов I разряда. Отклонения результатов контрольных измерений сторон от их проектного значения (200 м) должны быть в пределах $1:5000—1:10\,000$; отклонения контрольных значений углов от 90° не должны превышать $\pm 20''$.

После приемки работ по разбивке координатной сетки от исполнителя, ответственность за сохранность геодезических знаков, заложенных в вершинах квадратов, несет заказчик (строительно-монтажная организация).

При наличии строительной координатной сетки разбивка сооружений на местности выполняется способом перпендикуляров (абсцисс и ординат).

Пример. Требуется определить на местности положение сооружения ABC (рис. 121), для которого вычислены координаты угловых точек в системе координатной сетки генерального плана, перенесенной на местность.

На основании рис. 121 по координатам точек A, B, C, D, указанным на разбивочном чертеже, можно судить о нахождении проектируемого сооружения в квадрате 7—8—12—13 строительной координатной сетки вблизи стороны 12—13. Значения абсцисс X_A и X_B , а также абсцисс X_C и X_D попарно одинаковы. Следовательно, оси сооружения параллельны координатным осям строительной сетки. Для определения на местности точек A и B необходимо определить рас-

стояния ΔY_A , ΔX_A и ΔY_B , ΔX_B . Эти расстояния, соответствующие приращениям координат по осям, находят из выражений

$$\left. \begin{aligned} \Delta Y_A &= Y_A - Y_{12}; \quad \Delta X_A = X_A - X_{12}; \\ \Delta Y_B &= Y_B - Y_{13}; \quad \Delta X_B = X_B - X_{13}. \end{aligned} \right\} \quad (151)$$

Отложив на местности от точки 12 по линии 12—13 величину ΔY_A , получим точку a' . Восстановив в этой точке перпендикуляр к линии 12—13 и отложив на перпендикуляре величину ΔX_A , находим искомую точку A . Аналогично поступаем для определения других точек. Чтобы проверить правильность действий, измеряют расстояние между полученными точками.

§ 62. Разбивка и построение строительной координатной сетки

Имеется два случая разбивки геодезической строительной сетки: когда она строится на небольшой площадке с благоприятным рельефом и когда разбивается на крупных участках (2—4 км²). В первом случае разбивка начинается от самой длинной стороны сети генерального плана (рис. 122, а) и продолжается по всему внешнему контуру строительной сетки, а затем производится разбивка заполняющих квадратов.

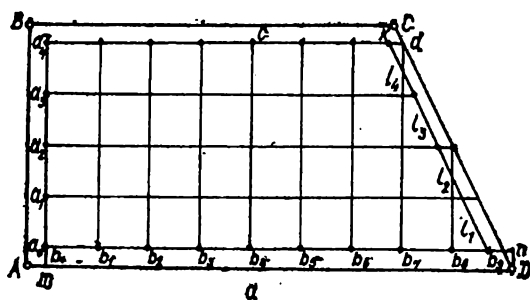
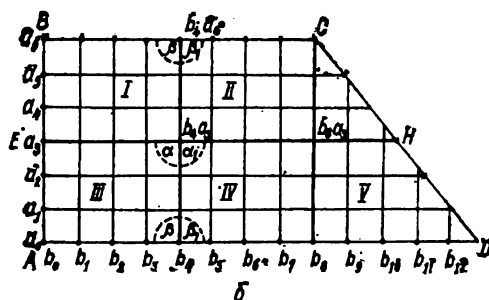


Рис. 122. Схема разбивки строительной сетки:

a — на участке малых размеров; b — на более крупных площадках.



Во втором случае разбивка начинается с прокладки главной оси строительной сетки генерального плана, параллельной красной линии застройки, на расстоянии, обеспечивающем беспрепятственное пользование центрами сетки при строительных работах (это необходимо согласовать с группой ПОР при составлении генерального плана).

На вынесенной оси строят несколько поперечников: в начале, середине и конце. При этом одновременно вычисляют и закрепляют длину сторон квадратов. Таким образом строят несколько групп квадратов по обе стороны главной оси EH (рис. 122, б).

Так как участки малой площади, в особенности в городских условиях, перед началом строительных работ обносят забором, то строительную сетку необходимо разбивать на некотором расстоянии от линий отвода.

Возьмем для примера контур промышленной площадки $ABCD$ (см. рис. 122, a), у которой самая длинная сторона отвода AD .

Чтобы обеспечить привязку геодезической строительной сетки к сетке генерального плана и границам отвода в тесненных условиях, первую ось строительной сетки откладывают параллельно линии отвода AD , а для этого восстанавливают перпендикуляр к линии AD на расстоянии 3—4 м от точки A (точка m). Это расстояние выбирается в зависимости от условий для измерения лентой по земле вдоль границ AD и AB . Перпендикуляр ma_0b_0 должен иметь примерно такое же расстояние и от линии AB . В конце перпендикуляра вбивают прочный кол с центром из гвоздя. Эта точка будет начальной при построении строительной сетки. Для получения координат точек a_0b_0 необходимо установить сначала вспомогательную точку n путем восстановления перпендикуляра к линии AD и точки D длиной, равной отрезку $m-a_0b_0$. Затем по теодолиту, визируя с точки a_0b_0 на вспомогательную точку n , устанавливают точку b_0 в створе линии a_0b_0-n . Расстояние точки b_0 от линии DC определяется с соблюдением тех же условий, что и при установке точки a_0b_0 (3—4 м от линии отвода).

После закрепления точки b_0 прочным кольшком с центром, уточняют центрирование теодолита в точке a_0b_0 и строят угол 90° .

Перпендикуляр, восстановленный из точки a_0b_0 , является стороной строительной сетки, а также осью a условных координат, линия a_0b_0 — осью b . Затем в конце перпендикуляра из точки a_0b_0 устанавливают вежу, откладывают по направлению a_0a_4 запроецированное количество сторон квадратов.

После установки кольев с центрами из маленьких гвоздей в точках a_1, a_2, a_3 и a_4 , не снимая теодолита с точки a_0b_0 , приступают к разбивке вершин квадратов по линии $a_0b_0-b_0$. Разбивку вершин углов по этой линии необходимо продолжать до тех пор, пока от точки a_0b_0 будет хорошая видимость на металлическую вежу, установленную на углу последнего квадрата, например, на точку b_4 (см. рис. 122, a). Такую вершину закрепляют, как и предыдущие, прочным временным знаком с центром, переносят сюда инструмент, центрируют его на точке b_4 и строят прямой угол к линии $a_0b_0-b_0$, закрепляя заданное таким образом направление временным знаком, устанавливают вежу и производят разбивку квадратов, установку кольев с центрами на их вершинах перпендикулярно к линии $a_0b_0-b_0$. Определив и закрепив вершину угла a_0b_4c , возвращаются к точке b_4 и продолжают разбивку по линии $a_0b_0-b_0$. Как и в предыдущем случае, доходят до вершины угла (например, точка a_0b_7d), закрепляют эту вершину, как и все остальные, переходят на нее с теодолитом, строят прямой угол, а на полученном направлении откладывают намеченное количество сторон квадратов. Случается, что намеченная вершина a_4b_7 не помещается на границе отвода. Тем не менее желательно, если позволит местность, закрепить ее на общем основании, так как она замыкает прямоугольник сети квадратов.

Если будет необходимо закрепить постоянными знаками точки в конце линий (l_1, l_2, l_3, l_4), то их можно определить, вычислив длины этих линий по формулам

$$l_1 = \frac{h_1}{\sin \alpha}; \quad l_2 = \frac{h_2}{\sin \alpha}; \quad l_3 = \frac{h_3}{\sin \alpha}; \quad l_4 = \frac{h_4}{\sin \alpha}, \quad (152)$$

где $h_1, h_2 \dots$ — длина стороны соответствующего квадрата или прямоугольника сети;

α — угол пересечения двух неперпендикулярных сторон.

После окончания разбивки точек $b_8; b_9; a_1b_8; a_2b_8$ и перенесения точек на линию b_9-K переходят на точку a_4b_7 .

Здесь строят прямой угол, по провешенной линии устанавливают вершины квадратов и закрепляют их временными знаками. При этом замечают величину отклонения прокладываемой линии от прежде установленного знака в точке b_4 , а также расстояние его от точки a_4d . Продолжая разбивку, доходят до линии

a_1b_0 и, установив последний кол с центром, определяют величину отклонения его от точки a_4 по ходу и по поперечному направлению.

Если отклонения не превышают 1 : 5 000 длины хода, то невязки раскладываются пропорционально длинам путем перемещения ближайших колец по линиям, параллельным невязкам.

Вычислив величину невязки на каждую сторону квадрата соответствующей линии, составляют список распределения их на каждую сторону, делают соответствующие исправления центров на колышках, а если необходимо, — перебивают колышки.

При недопустимой невязке необходимо проверить измерения согласно заданному направлению.

После окончательного определения и закрепления вершин углов квадратов приступают к разбивке заполняющей сети методом створных засечек двумя или одним теодолитом. Затем временные знаки заменяют постоянными. Перед этим для каждого из них делается выноска. Знаки наносятся на временных центрах на металлических пластинах зубилом или легким ударом керн. Колышки с выносок не убирают.

Через десять дней, необходимых для осадки знака, по закрепленным выноскам при помощи ручной дрели наносят окончательный центр и чеканят его цветной проволокой (алюминиевой или медной).

На более крупных (до 4 км²) строительных площадках разбивку сетки выгоднее выполнять от двух пересекающихся линий, одна из которых (ЕН) совпадает с главной осью застройки генерального плана (см. рис. 122, б).

Работу начинают с прокладки линии ЕН и установки временных знаков по вершинам квадратов в точках b_1a ; b_2a_3 и так далее, до точки Н. После этого переходят на точку главного поперечника b_4a_3 и строят смежные прямые углы по обе стороны главной оси. Затем производят измерения, учитывая все поправки, и устанавливают знаки по вершинам квадратов a_4b_4 ; a_5b_4 ; a_6b_4 , а также по другую сторону главной оси в точках a_2b_4 и a_0b_4 . Закончив работу по главному поперечнику, переходят в точку a_3b_8 . Измерения выполняют так же, как и на главном поперечнике, с установкой временных знаков. Закончив разбивку поперечников, измеряют углы в точках a_0b_4 и a_6b_4 .

Если при измерении получают прямые углы, то приступают к измерениям и установке временных знаков в вершинах квадратов.

Таким образом, получают четыре основные прямоугольные фигуры и один треугольник.

Невязки в полученных фигурах ликвидируются смещением центров на колышках или самих колышков по методу, описанному выше в настоящем параграфе.

§ 63. Случай перенесения главной оси сетки на закрытую местность

Рассмотрим случай, когда необходимо проложить ось по лесистой местности, дать достаточно точное расстояние между точками Е и Н, если они расположены на линиях отвода (рис. 123).

В данном случае положение точки Е на линии АД и точки Н на линии СВ известно. А поскольку измерения при отводе участка производят упрощенным способом, то длина линии ЕН, вычисленная по координатам этих измерений, не будет соответствовать длине, необходимой для построения сетки. В данном случае необходимо проложить линию ЕН из местности и уточнить ее длину. Для осуществления этих требований необходимо по имеющимся на плане отвода данным (угловым и линейным) вычислить сначала дирекционный угол линии ЕН, а затем и угол α при точке Е. По заданному направлению, т. е. по углу α , производим прокладку линии ЕН.

Установив по теодолиту с точки Е первый знак, на расстоянии хорошей видимости на шпильку или стальную вежу переносят теодолит на этот знак (точка a_1) и продолжают дальнейшую прокладку линии.

Если угол при последней точке (например d_1) окажется равным 180° , то проложенная линия Ed_1 совпадет с проектным направлением. Но такие случаи составляют исключение, и, как правило, приходится определять поправки за отклонение.

Вычисление поправок начинают с определения длины перпендикуляра h_4 в точке d_1 к линии EH (см. рис. 123). Для вычисления поправок обозначим линию Ed_1 через L , d_1H — через l , $\angle Ed_1H$ — через β ; $Ed_1 - a_1d_1$ — через S .

Первая поправка h_4 определяется по формуле

$$h_4 = \frac{Ll(180 - \beta)}{\rho(L + l)}. \quad (153)$$

Остальные поправки определяются из подобия треугольников после определения величины h_4 по формуле

$$h_1 = \frac{sh_4}{L}. \quad (154)$$

Рис. 123. Схема перенесения на местность линии по координатам концов, когда они не могут быть смещены от углов отвода.

Вычисленные поправки выносят при помощи рулетки в требуемом направлении, вбивают новые колья и измеряют по ним углы. Обнаружив ошибки, делают дополнительные измерения и исправления.

Временные знаки устанавливаются на всех углах квадратов или прямоугольников через 200 м в виде кольев с центрами и заменяются впоследствии постоянными знаками в количестве, необходимом для разбивочных работ.

После разбивки главной оси застройки приступают к разбивке главных поперечников, а по ним — основных квадратов.

§ 64. Разбивка строительной координатной сетки.

Способ микротриангуляции

По выбранному в соответствии с генеральным планом направлению на местности теодолитными ходами с точностью 1:500—1:1000 разбивается сеть квадратов.

Длина сторон 200 м. Вершины квадратов закрепляются временными знаками: достаточно прочными деревянными кольями с центрами из мелких гвоздей без шляпок, металлическими штырями или обрубками фасонного железа с накерненными на них центрами, железными трубами. В последнем случае в трубку забивается деревянная пробка, а в нее — гвоздь, фиксирующий центр.

Полученная сеть фигур, близких к квадратным, дополняется диагоналями. В результате этого образуются цепочки треугольников (рис. 124, а).

В образованных сетях по методу полигонометрии II класса измеряют необходимое количество базисов (2 базиса B) и все углы треугольников. Углы измеряют двумя приемами оптическим теодолитом Т2.

Сети треугольников уравнивают, получая окончательные координаты всех вершин квадратов, вынесенных на местность, а также координаты вершин проектных квадратов.

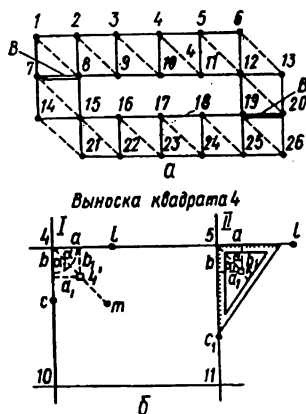


Рис. 124. Схема разбивки квадратов сети методом микротриангуляции: I — при помощи теодолита и ленты; II — при помощи треугольника.

По полученным парам координат решением обратных задач получают элементы редукции: углы a, a_1 , гипотенузы 4—4', 5—5' и катеты aa_1, bb_1 , по которым выносят на местность вершины проектных фигур (рис. 124, б).

Редуцирование на местности проектных точек можно выполнить с помощью теодолита и рулетки, а при незначительной величине редукций,— по трегульнику.

§ 65. Способ посредственных линейных измерений при разбивке строительной сетки

Способ посредственных линейных измерений заключается в следующем.

В четырехугольнике измеряют две стороны и все углы. Другие две стороны вычисляются по формулам, приведенным ниже.

Так, если измерены стороны a и b четырехугольника и все углы, то стороны a_1 и b_1 будут:

$$a_1 = \frac{a \sin 2 + b \sin (1 + 4)}{\sin 4}; \quad b_1 = \frac{b \sin 3 + a \sin (3 + 4)}{\sin 4}. \quad (154)$$

На рис. 125 измеренные стороны показаны двойной линией. Контроль можно получить, приняв вычисленные стороны за исходные.

Тогда

$$a = \frac{a_1 \sin 4 + b_1 \sin (2 + 3)}{\sin 2}; \quad b = \frac{b_1 \sin 1 + a_1 \sin (1 + 2)}{\sin 2}. \quad (155)$$

В приведенных формулах цифрами обозначены углы (рис. 125).

Если имеется сеть четырехугольников или квадратов, то достаточно измерить стороны по внешнему контуру, чтобы определить длину всех сторон внутри сети.

Для упрощения вычислительных работ разбивку сети в первой стадии выполняют теодолитными ходами точно с 1 : 2000 с построением углов, уклоняющихся от 90° не более $\pm 2^\circ$. А так как синусы углов, близкие к 90°, можно считать равными приблизительно 1, то приведенные формулы имеют вид

$$\begin{aligned} a_1 &= a + b \sin (1 + 4); \\ b_1 &= b + a \sin (3 + 4). \end{aligned} \quad (156)$$

Кроме того, разработана специальная табл. 42 для элементов $b \sin (A+B)$.

Таким образом, вычисление сторон сводится к простому суммированию цифр.

На второй стадии разбивки все углы измеряются оптическим теодолитом, а стороны — по наружному контуру сети с точностью полигонометрии II класса. Увязка выполняется от базиса по горизонтальным рядам фигур, а затем по вертикальным (см. рис. 125).

После вычисления окончательных координат определяют элементы редукции, по которым на местность выносят вершины углов проектных фигур (см. рис. 124, б).

Элементы редукций получают решением обратных задач по парам координат, т. е. проектных и полученных по данным предварительной разбивки сетки.

Направления элементов редукции определяются знаками разностей координат, полученных при решении обратных задач.

§ 66. Замена временных знаков постоянными

Часть постоянных знаков строительной сетки сохраняется многие годы как обоснование для будущих досъемок и разбивок в соответствии с потребностями действующего предприятия.

2	3	6	7	10	11	14	15	18	19
1	4	5	8	9	12	13	16	17	20
a									
b									

Рис. 125. Схема разбивки сети квадратов, вычисленных по формуле Зубрицкого (углы обозначены цифрами).

Значения величин $b \sin (A+B)$

$\theta \sin (1+2)$	Величина b, μ									$\theta \sin (1+2)$
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
179°57'00"	0,00873	0,01745	0,02618	0,03491	0,04364	0,05236	0,06110	0,06982	0,07854	180°03'0"
57'1	0,00844	0,01687	0,02531	0,03374	0,04218	0,05062	0,05905	0,06749	0,07592	02'9
57'2	0,00814	0,01629	0,02444	0,03258	0,04073	0,04887	0,05702	0,06516	0,07330	02'8
57'3	0,00785	0,01571	0,02356	0,03142	0,03927	0,04712	0,05498	0,06283	0,07069	02'7
57'4	0,00756	0,01513	0,02269	0,03025	0,03782	0,04538	0,05294	0,06050	0,06807	02'6
57'5	0,00727	0,01454	0,02182	0,02909	0,03636	0,04363	0,05090	0,05818	0,06545	02'5
57'6	0,00698	0,01396	0,02094	0,02792	0,03490	0,04189	0,04887	0,05585	0,06283	02'4
57'7	0,00669	0,01338	0,02007	0,02676	0,03345	0,04014	0,04683	0,05352	0,06021	02'30"
57'8	0,00640	0,01280	0,01920	0,02560	0,03200	0,03840	0,04480	0,05120	0,05760	02'2
57'9	0,00611	0,01222	0,01833	0,02444	0,03054	0,03665	0,04276	0,04887	0,05498	02'1
58°00"	0,00582	0,01164	0,01745	0,02327	0,02909	0,03491	0,04073	0,04654	0,05236	02'0
58'1	0,00553	0,01105	0,01658	0,02211	0,02764	0,03316	0,03869	0,04422	0,04974	01'9
58'2	0,00524	0,01047	0,01571	0,02094	0,02618	0,03142	0,03665	0,04189	0,04712	01'8
58'3	0,00494	0,00989	0,01484	0,01978	0,02472	0,02967	0,03462	0,03956	0,04450	01'7
58'4	0,00465	0,00931	0,01396	0,01862	0,02327	0,02792	0,03258	0,03723	0,04189	01'6
58'5	0,00436	0,008730	0,01309	0,01745	0,02182	0,02618	0,03054	0,03490	0,03927	01'5
58'6	0,00407	0,00814	0,01222	0,01629	0,02036	0,02443	0,02850	0,03258	0,03665	01'4
58'7	0,00378	0,00756	0,01135	0,01513	0,01891	0,02269	0,02647	0,03026	0,03404	01'3
58'8	0,00349	0,00698	0,01047	0,0146	0,02095	0,02495	0,02844	0,03228	0,03612	01'2
58'9	0,00320	0,00640	0,00960	0,01280	0,01600	0,01920	0,02240	0,02560	0,02880	01'1
179°59'00"	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455	0,01746	0,02037	0,02328	0,02619	180°01'0"
59'1	0,00262	0,00521	0,00785	0,01047	0,01309	0,01571	0,01833	0,02094	0,02356	00'9
59'2	0,00233	0,00465	0,00698	0,00931	0,01164	0,01396	0,01629	0,01862	0,02094	00'8
59'3	0,00204	0,00407	0,00611	0,00814	0,01018	0,01222	0,01429	0,01629	0,01832	00'7
59'4	0,00174	0,00349	0,00524	0,00698	0,00872	0,01047	0,01222	0,01396	0,01570	00'6
59'5	0,00145	0,00291	0,00436	0,00582	0,00727	0,00872	0,01018	0,01163	0,01309	00'5
59'6	0,00116	0,00233	0,00349	0,00465	0,00582	0,00698	0,00815	0,00931	0,01048	00'4
59'7	0,00087	0,00175	0,00262	0,00349	0,00436	0,00524	0,00611	0,00698	0,00786	00'3
59'8	0,00048	0,00116	0,00175	0,00233	0,00291	0,00349	0,00407	0,00466	0,00524	00'2
59'9	0,00029	0,00058	0,00087	0,00116	0,00146	0,00175	0,00204	0,00233	0,00262	00'1

Другая часть, попадающая под запроектированное по генеральному плану сооружение, закрепляется при разбивке сетки прочными временными знаками.

После использования для разбивки упомянутых сооружений такие знаки ликвидируются. Поэтому выноски главных осей необходимо закреплять прочными временными знаками, требующимися для разбивки ближайших зданий и сооружений. Это выгоднее, чем пользоваться знаками строительной сетки, расположенными на значительном расстоянии. Тем не менее, большинство временных знаков необходимо заменять постоянными.

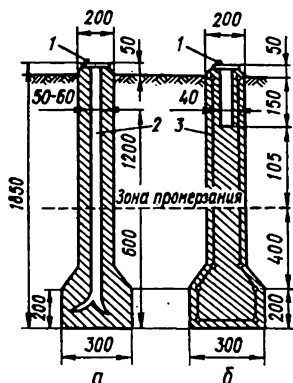


Рис. 126. Типы постоянных знаков:

а — с трубой или штырем во всю длину; б — с арматурой и штырем в 150 мм; 1 — шип для установки рейки; 2 — труба; 3 — арматура.

Наиболее практичным знаком является бетонный монолит с трубой или рельсом во всю длину (рис. 126, а), или же монолитный железобетонный знак (рис. 126, б) с закладной частью в виде штыря длиной 150 мм, к концу которого приваривается пластинка размером 100×100 и толщиной 3—4 мм для фиксации на ней центра после установки знака на местности. К пластинке необходимо приварить небольшой шип для установки нивелирной рейки. Или же вместо шипа тупым керном выбить небольшой овальный бугорок.

Перед заменой знака необходимо сделать выноску центра (если это не было сделано при разбивке сетки). Для этого над существующим центром натягивается тонкий шпагат по концам которого до уровня земли забивают по два деревянных колышка (рис. 127).

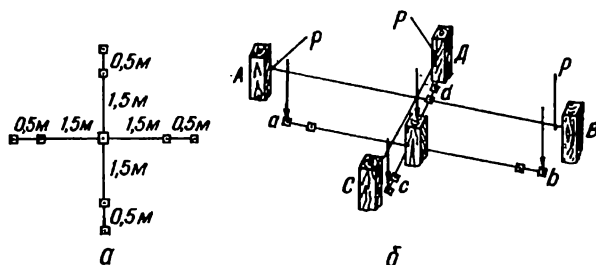


Рис. 127. Схема замены временных знаков постоянными, когда знак находится на уровне земли (а) и выше уровня (б).

Расстояние от центра до первого колышка около 1,5, а до второго — 2 м.

По натянутому над центром знака шпагату в торцы кольев вбивают небольшие гвозди, оставляя на поверхности 0,5 см их длины для прикрепления шпагата.

Вторые две пары кольев также забивают под натянутый над центром пер-

пендикулярно к первому шпагат. Потом шпагаты натягивают приблизительно по направлению сторон сети квадратов.

При установке кольев необходимо следить за тем, чтобы натянутые шпагаты не касались один другого, а после установки по натянутым шпагатам намечают место ямы и следят за тем, чтобы не забросить землей забитые колья и линии шпагатов. Яма должна быть на 10—15 см глубже требуемой и заполнена рыхлым грунтом.

В яму осторожно опускают железобетонный монолитный знак, натягивают на гвозди оба шпагата и по отвесу устанавливают его по временному центру, намеченному легким ударом по керну или небольшой крестообразной насечкой.

При засыпке землей знак необходимо поддерживать, тщательно утрамбовывая каждый слой в 25—30 см, и не допускать смещения.

Так устанавливается знак, когда верх его должен быть на уровне поверхности земли.

Когда разбивка строительной сетки производится с учетом отметок будущей вертикальной планировки площадки, проект которой еще не осуществлен в натуре, устанавливаемые знаки могут оказаться ниже или выше существующей поверхности земли. Для центрирования знаков в первом случае необходимо пользоваться колышками с центрами, установленными на уровне поверхности земли (см. рис. 127, а) по отвесу.

В случае, когда верх знака должен быть выше еще неспланированной поверхности, необходимо приготовить четыре колышка соответствующей длины, т. е. несколько выше столба над поверхностью земли, а приблизительно в 5 см от верхнего торца сделать небольшие петли из гвоздей для прикрепления шпагатов.

Такие колья вбивают в землю несколько дальше от забитых ранее кольев центрирования. Правильность установки их проверяется отвесом по натянутым на петли шпагатам над центрами ранее установленных кольев (см. рис. 127, б).

Затем натягивают шпагаты и продолжают работу. Когда же высота столба значительно выше поверхности земли, необходимо изготовлять монолиты несколько большей длины.

Постоянные центры наносят через 8—10 дней после установки знаков, так как они могут быть смещены при осадке грунта. После этого шпагатом и отвесами намечают окончательные центры сначала при помощи керна, а после снятия шпагатов (струн) намеченные керном точки просверливают ручной дрелью и чеканят медной или алюминиевой проволокой. После чего ранее намеченные центры уничтожают клепкой.

После нанесения центров все знаки подвергаются нивелированию 4-го класса от ближайших постоянных или специально установленных 2 реперов.

При разбивке сетки на местности, когда элементы редукции достаточно велики, временные знаки заменяются постоянными при помощи теодолита и рулетки. Теодолит устанавливают на знаке, на углу 4 квадрата (см. рис. 124, б), где надлежит построить проектный угол, т. е. угол квадрата по элементам редукции. Визируя последовательно на точки 5 и 10, устанавливают шпильки в точках l и c на расстояниях 3—4 м от точки 4. Затем по данным редукции строят углы a и a_1 и закрепляют общую сторону углов (точка m , рис. 124, б) тоже шпилькой, но на расстоянии 4—5 м от точки 4.

По натянутым струнам с точки 4 на точки e , m и c отмеряют рулеткой элементы редукции a , b и 4—4'. Очевидно, что точка 4' является проектной вершиной квадрата, а величины a_1b_1 — контрольными. После этого оставляют на месте шпильки в точках e , m и c и готовят яму в точке 4'. Опускают железобетонный знак, на металлической пластинке которого резцом или зубилом нанесен временный центр крестообразного вида. Между точками 4— m натягивается струна, а по ней отмеряют расстояние 4—4', где центрируется знак.

Ориентированный знак плотно утрамбовывается. Временный знак 4 сохраняется дней 8—10, после чего проверяют величину отрезка 4—4', а также контрольные величины a_1b_1 и ручной дрелью сверлят окончательный центр. Затем знаки нивелируют.

При незначительных элементах редукции редуцирование производят при помощи треугольника (см. рис. 124, б).

§ 67. Расчет точности строительной координатной сетки

Координатная сетка должна быть построена так, чтобы обеспечить выполнение планировочных работ, выдержав установленные СНиП допуски для соответствующих видов сооружений. Среднюю квадратическую ошибку M определения на местности точки сооружения относительно начального пункта строительной сетки определяют по формуле

$$M = \sqrt{m_0^2 + m^2}, \quad (157)$$

где m — средняя квадратическая ошибка планируемой точки сооружения относительно ближайшего пункта строительной сетки;

m_0 — то же, определения этого пункта сетки относительно начального ее пункта.

При $m_0 = m$ величина M определяется

$$M = m_0 \sqrt{2}.$$

Таким образом, строительная координатная сетка должна быть построена так, чтобы ошибка любого ее пункта относительно начального не превышала m_0 .

В общем случае координаты пункта T строительной сетки определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} X_T &= \frac{X_T^I P_1 + X_T^{II} P_2 + X_T^{III} P_3 + X_T^{IV} P_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}; \\ Y_T &= \frac{Y_T^I P_1 + Y_T^{II} P_2 + Y_T^{III} P_3 + Y_T^{IV} P_4}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} \end{aligned} \right\} \quad (158)$$

где $X_T^I, Y_T^I, X_T^{II}, Y_T^{II}, X_T^{III}, Y_T^{III}, X_T^{IV}, Y_T^{IV}$ — координаты пункта T , вычисленные от пунктов A, B, C, D ;
 P_1, P_2, P_3, P_4 — веса этих значений координат.

За веса принимают величины, обратно-пропорциональные квадратам средних квадратических ошибок

$$P_1 = \frac{1}{m_1^2}, \quad P_2 = \frac{1}{m_2^2}, \quad P_3 = \frac{1}{m_3^2}, \quad P_4 = \frac{1}{m_4^2},$$

где m_1, m_2, m_3, m_4 — средние квадратические ошибки значений координат точки T , полученных от пунктов A, B, C, D .

Каждая из величин m_1, m_2, m_3, m_4 , которую можно обозначить через m_i , будет

$$m_i^2 = m_a^2 + m_b^2, \quad (159)$$

где m_a — средняя квадратическая ошибка координат пунктов A, B, C или D относительно начального пункта сетки;

m_b — то же, ошибка определения приращения координат по сторонам AT, BT, CT, DT .

Веса P_1, P_2, P_3, P_4 , обозначаемые в дальнейшем через P_i , определяются по формуле

$$\frac{1}{P_i} = \frac{1}{P_a} + \frac{1}{P_b}. \quad (160)$$

Вес P координат пункта T будет

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = [P_1]. \quad (161)$$

Средние квадратические ошибки m_x и m_y координат пункта T будут

$$m_x = \frac{\mu_x}{\sqrt{P}}; \quad m_y = \frac{\mu_y}{\sqrt{P}}, \quad (162)$$

где μ_x и μ_y — средние квадратические ошибки значений координат с весом равным единице.

Общая средняя квадратическая ошибка M_0 положения пункта относительно начального пункта строительной сетки определится по формуле

$$M_0^2 = m_x^2 + m_y^2 \quad (163)$$

или

$$M_0 = \sqrt{\frac{\mu_x^2 + \mu_y^2}{P}}. \quad (164)$$

С учетом сказанного ранее,

$$M_0 \leq m_0. \quad (165)$$

Отсюда

$$\sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2} \leq m_0 \sqrt{P}. \quad (166)$$

Подставляя в формулу (х) значения μ_x и μ_y , получим

$$\sqrt{m_{l_0}^2 + l_0^2 \frac{m_r^2}{\rho^2}} \leq m_0 \sqrt{P}, \quad (167)$$

где m_{l_0} — средняя квадратическая ошибка определения длины стороны фигуры сетки;

m_r — то же, определения направления стороны (l_0), сек;

ρ — величина радиана в секундах, равная 206265".

При заданном значении m_0 и определенной величине P по этой формуле можно найти необходимую точность определения длин и направлений сторон фигур сетки. Веса P пунктов сетки будут разными. Вычисление ведется для минимального значения веса $P_{\min}$. Поэтому,

$$\sqrt{m_{l_0}^2 + l_0^2 \frac{m_r^2}{\rho^2}} \leq m_0 \sqrt{P_{\min}}. \quad (168)$$

При вычислении исходят из условия, что $m_{l_0} = l_0 \frac{m_r}{\rho}$.

Тогда

$$\left. \begin{aligned} m_{l_0} &= \frac{m_0}{\sqrt{2}} \sqrt{P_{\min}}, \\ m_r &\leq \frac{m_0 \rho}{l_0 \sqrt{2}} \sqrt{P_{\min}}. \end{aligned} \right\} \quad (169)$$

Средняя квадратическая ошибка определения угла m_β будет: $m_\beta = m_r \sqrt{2}$. Поэтому

$$m_\beta \leq \frac{m_0 \rho}{l_0} \sqrt{P_{\min}}. \quad (170)$$

Таким образом, при вычислении необходимой точности измерений длин и углов фигур строительной координатной сетки необходимо задаваться величиной m_0 и вычислять $P_{\min}$.

Веса P пунктов строительной сетки вычисляются способом последовательных приближений. Сначала находят веса пунктов сетки в первом приближении. Их координаты вычисляются от начального пункта сетки. Затем, во втором приближении, ищут веса пунктов, координаты которых определяются как от начального, так и от пунктов с ранее найденными координатами. Аналогичным образом вычисляются значения весов в третьем и последующих приближениях. Вычисления заканчивают, если найденный вес пункта отличается от предыдущего своего значения не более чем на 0,1—0,2.

С весом, равным единице, определяется положение пункта сетки от начального по одной из сторон, длина которой равна l_0 . Средняя квадратическая ошибка μ_0 положения этого пункта будет

$$\mu_0 = \sqrt{\mu_X^2 + \mu_Y^2}.$$

Эта формула может быть переписана в виде

$$\mu_0^2 = \chi^2 l_0 + l_0^2 \frac{m_r^2}{\rho^2} = l \left(\chi^2 + l \frac{m_r^2}{\rho^2} \right), \quad (171)$$

где χ — коэффициент случайного влияния при измерении длин линий.

При другом значении l средняя квадратическая ошибка положения пункта определится по формуле

$$\mu^2 = \chi^2 l + l^2 \frac{m_r^2}{\rho^2} = l \left(\chi^2 + l \frac{m_r^2}{\rho^2} \right).$$

В строительной сетке величины $l_0 \frac{m_r^2}{\rho^2}$ и $l \frac{m_r^2}{\rho^2}$ одного порядка, поэтому

$$\frac{\mu_0^2}{\mu^2} = \frac{l_0}{l}. \quad (172)$$

При средней квадратической ошибке μ_0 , соответствующей весу P , равному единице, вес P_B при средней квадратической ошибке μ определится из известной в теории ошибок измерений пропорции

$$\frac{P_B}{P} = \frac{\mu_0^2}{\mu^2}; \quad P_B = \frac{\mu_0^2}{\mu^2}. \quad (173)$$

Эту формулу с учетом (172) можно переписать в виде

$$P_B = \frac{l_0}{l}. \quad (174)$$

При $l_0 = 100$ м, вес

$$P_B = \frac{100}{l}. \quad (175)$$

Значения P_B для l от 40 до 400 м приведены в табл. 43.

Т а б л и ц а 43

Значения P_B																			
$l, \text{ м}$	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400
Вес P_B	2,5	1,7	1,2	1,0	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2

По формуле (175) находят первые приближенные значения весов пунктов, координаты которых передаются от начального пункта строительной сетки.

Начиная со второго приближения вычисление весов производится по формуле (160). При этом значение P_a представляет собой вес исходного пункта, вычисленного ранее по формуле (161).

Пример. Вычисление весов пунктов строительной сетки, изображенной на рис. 128.

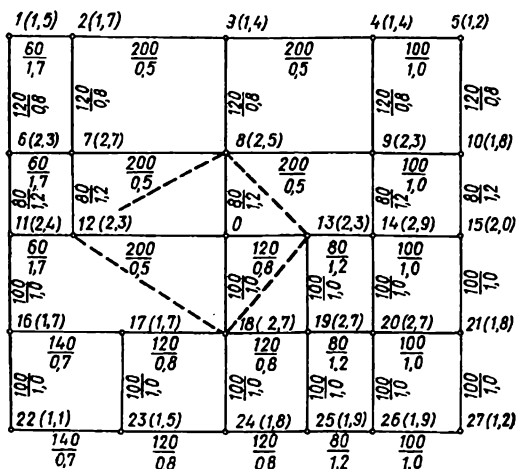


Рис. 128. Схема определения весов пунктов строительной координатной сетки.

Возле каждой стороны сетки выписаны ее длина и вес P_a . Вычисления весов приведены в табл. 44. В первом приближении найдены лишь веса пунктов 8, 12, 13 и 18, а во втором — тех, координаты которых определены от пунктов 0, 8, 12, 13 и 18.

Отдельные значения весов вычисляются по формуле (160), а общий вес — по (161).

На рис. 129 приведена номограмма для вычисления весов по формуле (160). В третьем и последующих приближениях вычисляются веса определяемых пунктов с учетом ранее найденных весов исходных пунктов.

В приведенном примере минимальный вес 1,1 имеет пункт 22 (см. рис. 128).

Подставляя это значение веса в формулы (169) и (170), определяем необходимую точность производства линейных и угловых измерений при определении координат пунктов строительной сетки. При $m_0 = 1$ см m_p и m_e будут равны:

$$m_p \leq 20'', \quad m_e \leq 0,7 \text{ см}$$

или

$$\frac{m_l}{l_0} \leq \frac{1}{14000}$$

Приведенный расчет весов пунктов сетки используется не только для определения $P_{\min}$, но также и для оценки точности пунктов сетки в процессе планировочных работ.

В том случае, если строительная координатная сетка представляет собой систему квадратов, вычисления весов ее пунктов несколько проще. В этом случае всегда $P_a = 1$.

Вычисление весов пунктов строительной сетки

Пункты		P_B	Приближения							
определяемые	исходные		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2		4	5	6	7	8	9	10	11
1	2 6	1,7 0,8				0,4 0,4	0,4 0,4	0,8 0,6	0,8 0,6	0,9 0,6
						0,8	0,8	1,4	1,4	1,5
2	1 3 7	1,7 0,5 0,8			0,2 0,3	0,2 0,3	0,5 0,3 0,5	0,5 0,3 0,5	0,8 0,3 0,6	0,8 0,3 0,6
					0,5	0,5	1,3	1,3	1,7	1,7
3	2 4 8	0,5 0,5 0,8				0,3 0,2 0,6	0,3 0,3 0,6	0,4 0,3 0,6	0,4 0,3 0,6	0,4 0,4 0,6
				0,5	0,5	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4
4	3 5 9	0,5 1,0 0,8			0,2 0,2	0,2 0,3	0,3 0,3 0,5	0,3 0,3 0,6	0,3 0,5 0,6	0,3 0,5 0,6
					0,4	0,5	1,1	1,2	1,4	1,4
5	4 10	1,0 0,8				0,3 0,2	0,3 0,3	0,5 0,5	0,5 0,5	0,6 0,6
						0,5	0,6	1,0	1,0	1,2
6	1 7 11	0,8 1,7 1,2			0,4 0,3	0,4 0,3	0,4 0,9 0,6	0,4 0,9 0,6	0,5 1,0 0,8	0,5 1,0 0,8
					0,7	0,7	1,9	1,9	2,3	2,3

Продолжение табл. 44

Пункты		$P_{\text{в}}$	Приближения							
определяемые	исходные		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7	2	0,8				0,3	0,3	0,5	0,5	0,5
	6	1,7				0,5	0,5	0,9	0,9	1,0
	8	0,5		0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	12	1,2		0,3	0,3	0,6	0,6	0,7	0,7	0,8
				0,6	0,6	1,8	1,8	2,5	2,5	2,7
8	3	0,8			0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
	7	0,5			0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
	9	0,5			0,2	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4
	0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
			1,2	1,2	2,0	2,1	2,5	2,5	2,5	2,5
9	4	0,8				0,3	0,3	0,5	0,5	0,5
	8	0,5		0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
	10	1,0				0,2	0,4	0,6	0,6	0,6
	14	1,2			0,3	0,4	0,7	0,8	0,8	0,8
				0,3	0,6	1,3	1,8	2,3	2,3	2,3
10	5	0,8					0,3	0,3	0,4	0,4
	9	1,0			0,2	0,4	0,6	0,6	0,7	0,7
	10	1,2				0,2	0,4	0,6	0,7	0,7
					0,2	0,6	1,3	1,5	1,8	1,8
11	6	1,2				0,4	0,4	0,7	0,7	0,8
	12	1,7		0,4	0,4	0,7	0,7	0,9	0,9	1,0
	16	1,0				0,3	0,3	0,7	0,6	0,6
				0,4	0,4	1,4	1,4	2,2	2,2	2,4
12	7	1,2			0,4	0,4	0,7	0,7	0,8	0,8
	11	1,7			0,3	0,3	0,8	0,8	1,0	1,0
	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
			0,5	0,5	1,2	1,2	2,0	2,0	2,3	2,3

Пункты		P_B	Приближения							
опреде- ляемые	исход- ные		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2		4	5	6	7	8	9	10	11
13	0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	14	1,2			0,3	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8
	19	1,0			0,3	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7
			0,8	0,8	1,4	1,6	1,9	2,3	2,3	2,3
14	9	1,2			0,2	0,6	0,6	0,7	0,8	0,8
	13	1,2		0,5	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8
	15	1,0				0,2	0,4	0,6	0,6	0,6
	20	1,0				0,4	0,4	0,7	0,7	0,7
				0,5	0,7	1,8	2,1	2,7	2,9	2,9
15	10	1,2				0,2	0,4	0,6	0,6	0,7
	14	1,0			0,3	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
	21	1,0				0,4	0,4	0,4	0,6	0,6
					0,3	0,6	1,4	1,7	1,9	2,0
16	11	1,0			0,3	0,3	0,6	0,6	0,7	0,7
	17	0,7			0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,5
	22	1,0					0,4	0,4	0,5	0,5
					0,5	0,5	1,4	1,4	1,7	1,7
17	16	0,7				0,3	0,3	0,5	0,5	0,5
	18	0,8		0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
	23	1,0				0,4	0,4	0,6	0,6	0,6
				0,4	0,4	1,3	1,3	1,7	1,7	1,7
18	0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	17	0,8			0,3	0,3	0,5	0,6	0,5	0,5
	19	0,8			0,4	0,4	0,6	0,6	0,6	0,6
	24	1,0			0,3	0,3		0,6	0,6	0,6
			1,0	1,0	2,0	2,0	2,7	2,7	2,7	2,7

Пункты		P_B	Приближения							
опреде- ляемые	исход- ные		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
19	13 18 20 25	1,0 0,8 1,2 1,0		0,4 0,4	0,4 0,4	0,6 0,6 0,5 0,4	0,6 0,6 0,5 0,4	0,6 0,6 0,8 0,6	0,7 0,6 0,8 0,6	0,7 0,6 0,8 0,6
				0,8	0,8	2,1	2,1	2,6	2,7	2,7
20	14 19 21 26	1,0 1,2 1,0 1,0			0,3 0,5	0,4 0,5	0,6 0,8 0,4 0,4	0,7 0,8 0,4 0,4	0,7 0,8 0,6 0,6	0,7 0,8 0,6 0,6
					0,8	0,9	2,2	2,3	2,7	2,7
21	15 20 27	1,0 1,0 1,0				0,2 0,4	0,4 0,4	0,6 0,7 0,4	0,6 0,7 0,4	0,6 0,7 0,5
						0,6	0,8	1,7	1,7	1,8
22	16 23	1,0 0,7				0,3 0,3	0,3 0,3	0,6 0,5	0,6 0,5	0,6 0,5
						0,3	0,6	1,1	1,1	1,1
23	17 22 24	1,0 0,7 0,8			0,3 0,3	0,3 0,3	0,6 0,3 0,5	0,6 0,3 0,5	0,6 0,4 0,5	0,6 0,4 0,5
					0,6	0,6	1,4	1,4	1,5	1,5
24	18 23 25	1,0 0,8 0,8		0,5	0,5	0,7 0,3 0,4	0,7 0,3 0,4	0,7 0,5 0,5	0,7 0,5 0,5	0,7 0,5 0,6
				0,5	0,5	1,4	1,4	1,7	1,7	1,8

Продолжение табл. 44

Пункты		P_B	Приближения							
опре- ляемые	исход- ные		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1	2	3	4	5	6	7	8*	9	10	11
25	19	1,0			0,4	0,4	0,7	0,7	0,7	0,7
	24	0,8			0,3	0,3	0,5	0,5	0,5	0,5
	26	1,2					0,5	0,5	0,7	0,7
					0,7	0,7	1,7	1,7	1,9	1,9
26	20	1,0				0,4	0,4	0,7	0,7	0,7
	25	1,2				0,4	0,4	0,7	0,7	0,7
	27	1,0						0,4	0,4	0,5
						0,8	0,8	1,8	1,8	1,9
27	21	1,0					0,4	0,4	0,6	0,6
	26	1,0					0,4	0,4	0,6	0,6
							0,8	0,8	1,2	1,2

§ 68. Высотная опорная сеть на строительной площадке

Для высотной разбивки инженерных сооружений, планировки поверхности площадки по отметкам, а также для последующих вертикальных съемок и разбивок, строится высотная опорная сеть в виде нивелирных ходов и полигонов.

Высотное геодезическое обоснование на строительной площадке развивают продолжением сети нивелирных ходов 3 и 4-го классов. На крупных объектах и там, где требуются данные высотной основы повышенной точности, фундаментальные реперы связывают нивелированием 2-го класса.

Пункты нивелирных сетей всех классов создают достаточно густую сеть высотных пунктов, отстоящих один от другого на 150—250 м. Это дает возможность в любой части застраиваемых территорий производить высотные разбивки сооружений.

Точность нивелирных ходов различных классов характеризуется допусками, приведенными в табл. 45.

Основное требование, предъявляемое к пунктам высотного обоснования, — это их устойчивость, на которую в значительной мере влияют нарушения грунтовых условий, изменение режима грунтовых вод и близость разработок грунта, связанных со строительством подземных сооружений и частей зданий. Указанные обстоятельства изменяют высоту нивелирных знаков (особенно грунтовых).

Практика показала, что иногда изменение высоты нивелирных знаков может быть весьма значительно (до 50 см). Эти соображения заставляют периодически производить контрольную передачу отметок на реперы строительной площадки не от одного, а от двух реперов опорной нивелирной сети.

Точность нивелирных ходов различных классов

Класс нивелирования	Формулы для подсчета допустимых невязок, мм, в ходах и полигонах при числе станций на 1 км		Средняя ошибка определения высот пунктов, мм
	до 15	более 15	
2-й	$\pm (5 \sqrt{L})$	$\pm (6 \sqrt{L})$	0,30
3-й	$\pm (10 \sqrt{L})$	$\pm (2,6 \sqrt{n})$	0,85
4-й	$\pm (20 \sqrt{L})$	$\pm (5 \sqrt{n})$	2,12

При размещении реперов на строительной площадке необходимо соблюдать следующие условия:

располагать их по участкам строительства равномерно;
грунтовые реперы размещать в точках, находящихся не ближе 5 м от мест разработки грунта и гарантированных от разрушения при проведении строительных работ, а также не ближе 5 м от оси сетей подземных коммуникаций;

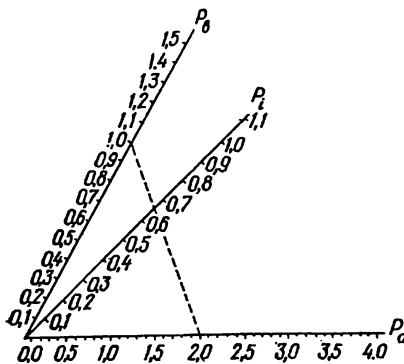
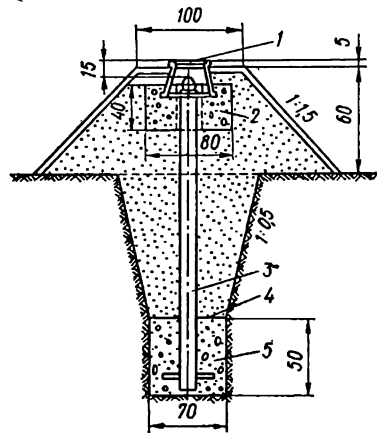
Рис. 129. Номограмма для вычисления веса P .

Рис. 130. Устройство грунтового репера:

1 — люк; 2 — подушка (бетон); 3 — рельс или труба; 4 — граница промерзания; 5 — фундамент репера (бетон).

настенные знаки постоянного типа закладывать в здания и сооружения, рассчитанные на длительную эксплуатацию, по истечении сроков их осадки; положение реперов должно быть удобным для пользования ими.

Во избежание уничтожения реперов в процессе строительства их размещают в увязке со строительным генеральным планом.

При выборе типа реперов следует исходить из особенностей участков строительства: на участках, где возводятся сложные и ответственные сооружения, устанавливают фундаментальные (рис. 131, в) бетонированные реперы, а участки со вспомогательными сооружениями могут иметь облегченные реперы временного типа (рис. 131, а, б, г, д).

Объекты и элементы нового строительства в высотном отношении размещают в строгой увязке с уже существующими объектами района. Поэтому отметки создаваемых на строительной площадке реперов должны определяться от отметок реперов, имеющихся в районе работ. Сведения о таких реперах можно получить в органах Государственного геодезического надзора и геодезических службах городов.

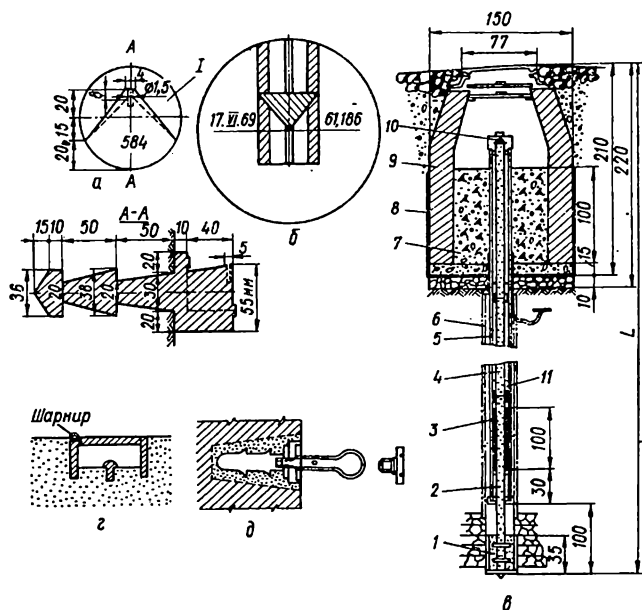


Рис. 131. Типы геодезических грунтовых и настенных реперов и марок:

a — I, II — соответственно вид с торца и продольный разрез стеного лепера:

б — стенная марка;

σ — глубинный неза

новании: 1 — металлический башмак; 2 — сальник; 3 — заполнение битумом; 4 — реперная труба; 5 — защитная труба; 6 — обсадная труба; 7 — утепляющая засыпка; 8 — изоляция из толя или рубероида; 9 — кирпичный или железобетонный колодец; 10 — реперная головка; 11 — деревянные диафрагмы;

д — марка с шарнирно-закрывае­мой крышкой;
 е — стенная марка со съёмной сферической головкой.

На строительной площадке намечают один или два репера, на которые намечено передать отметки от исходных реперов, и проектируют наиболее удобный и короткий путь проложения нивелирных ходов от исходных реперов к определяемым.

В результате передачи высот установленные на строительной площадке реперы получают два значения отметок. Величина расхождения дважды полученных отметок не должна превышать предела, определяемого формулами табл. 45. За окончательный результат принимаются средние значения отметок.

Если в районе строительства имеется лишь один исходный репер, то передача отметки на реперы строительной площадки производится обязательно двойным ходом, т. е. нивелирный ход прокладывается от исходного репера к определяемому и обратно.

Нивелирная сеть на строительной площадке делится на основную и дополнительную. Сеть основного нивелирования равномерно покрывает всю площад-

ку строительства (например, центры строительной координатной сетки). Высоты этих пунктов определяют с точностью нивелирования 4-го класса. Такая точность необходима при возведении зданий и сооружений, прокладке сетей подземных и воздушных коммуникаций и строительстве дорожной сети.

При монтаже стальных конструкций и технологического оборудования определение высот реперов должно быть произведено с точностью $\pm 1-1,5$ мм. Высотной основой для таких монтажных работ могут служить пункты, высоты которых определяют нивелированием повышенной точности (3-го класса). В другом случае монтажные работы приходится выполнять на основе частной нивелирной сети, развиваемой специально для конкретного участка монтажных работ.

Дополнительную нивелирную сеть на строительной площадке развивают для того, чтобы создать такую густоту пунктов, при которой на любую точку строительства можно передать отметку при одной постановке нивелира. Дополнительную нивелирную сеть закрепляют на местности реперами временного типа, а также большим количеством нулевых точек, фиксирующих «нулевой» горизонт строительного объекта. Точность определения пунктов дополнительной нивелирной сети в два раза ниже точности основной сети.

§ 69. Расчет норм точности геодезических разбивочных работ по строительным допускам

Величина отклонения осей зданий, отдельных конструкций и элементов от их проектного положения зависит от следующих факторов:

точности инструментов и приборов, применяемых для разбивки зданий и выверки конструкций;

совершенства методов производства этих работ;

геометрических погрешностей конструкций и элементов при их изготовлении;

совершенства технологического процесса возведения зданий;

уровня механизации монтажных работ;

внешних воздействий, а также влияния субъективных и других случайных факторов, не поддающихся учету.

Основным критерием, характеризующим точность разбивочных и монтажных работ, является допустимая ошибка замыкания конструкции m_3 . Она состоит из двух компонентов: ошибок монтажных работ, включая ошибки изготовления конструкций m_m , и ошибок разбивочных работ m_p .

Поскольку каждый из компонентов независим, получим

$$m_3 = \sqrt{m_m^2 + m_p^2}. \quad (176)$$

$$\text{При} \quad m_p = \frac{1}{3} m_m. \quad (177)$$

для практических целей принимают

$$m_3 = m_m. \quad (178)$$

Отсюда видно, что ошибки разбивки, составляющие 30—35% ошибок монтажа, теряют свое значение, и тогда ошибка замыкания конструкций практически зависит только от точности монтажных работ.

Приведенные соображения по нормам точности геодезических разбивочных работ согласуются с выпускаемыми с 1955 г. Государственным комитетом по строительству «Строительными нормами и правилами (СНиП)», где приводятся допуски отступлений от проектных размеров при приемке готовых сооружений. Естественно, что наиболее прогрессивный метод строительства (сборный) отражен в СНиП достаточно полно. Издан очень важный для стандартизации СНиП I-A. 3—62 о применении единой модульной системы при назначении размеров сборных конструкций и изделий. Этим в разумных пределах ограничено разнообразие в размерах одноименных частей зданий и определено

колебание размеров сооружений в целом. Дополнением к этому СНиПу является СНиП I-A. 4—62, где регулируется система допусков. К сожалению, в СНиПах иногда не бывает норм точности для разбивочных геодезических работ. СНиПы выпущены также не на все виды работ. Нормы допустимых ошибок на основные виды геодезических разбивочных работ приведены в следующем параграфе.

§ 70. Строительные допуски

Назначение строительных допусков производится на основании расчета точности конструкции. При этом определяется суммарный допуск и устанавливаются величины компенсирующих элементов, поглощающих накапливающиеся погрешности в цепи элементов, составляющих данную конструкцию.

Суммарный допуск конструкции определяется формулой

$$\Delta_k = \sqrt{\sum_1^n \Delta_i^2}, \quad (179)$$

где Δ_k — суммарный допуск конструкции;

Δ_i — проекции погрешностей: изготовления элементов конструкции; соединения элементов при монтаже; геодезических разбивочных работ (вынесение осей и проектных горизонтов).

Все эти погрешности суммируются по длине расчетного участка, начиная от его базовой (начальной) оси и кончая замыкающим звеном.

Пример. Пусть разбиты поперечные оси здания через интервалы (рис. 132), равные длинам стеновых панелей и швов между ними.

Обозначим:

S — нормальная ширина шва между панелями A и B стены;

l — номинальная длина панели;

Δ_p — допуск на разбивку осей панелей;

Δ_m — то же, на изготовление панелей;

Δ_m — » на совмещение оси панели с разбивочной осью.

В рассматриваемом примере допуск на толщину вертикального шва между панелями зависит от всех трех допусков:

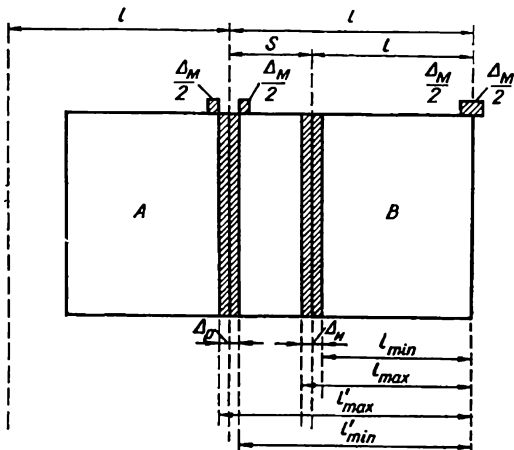


Рис. 132. Расчет суммарного допуска конструкций.

$$S_{\min} = l'_{\min} - l_{\max} - \frac{\Delta_m}{2} - \frac{\Delta_m}{2};$$

$$S_{\max} = l'_{\max} - l_{\min} + \frac{\Delta_m}{2} - \frac{\Delta_m}{2}.$$

(180)

Вычитая из одного уравнения другое, получим

$$S_{\max} - S_{\min} - l'_{\max} - l'_{\min} + l_{\max} - l_{\min} + 2\Delta_m. \quad (181)$$

или допуск на толщину вертикального шва между панелями будет

$$\Delta_s = \Delta_p + \Delta_n + 2\Delta_m. \quad (182)$$

Следовательно, допуск на размер шва между панелями равен сумме допусков на разбивку осей, на изготовление панелей и двух допусков на монтаж.

Данные расчета точности следует учитывать при разработке проекта организации геодезических разбивочных и монтажных работ. В рабочем проекте должны быть указаны производственные и конструкционные допуски.

Величины допускаемых погрешностей устанавливаются исходя из предельных размеров конструкций и предельных положений элементов конструкций в узлах сопряжения. Разность между наибольшими и наименьшими предельными размерами (положениями) является допуском размера (положения).

Действующая система допусков построена по принципу группировки погрешностей отдельных производственных процессов в классы точности на основе расчета точности конструкции в зависимости от назначения этой конструкции и технологии строительного производства.

СНиПы предусматривают следующие разбивочные (геодезические) допуски в зависимости от принятого класса точности разбивки (табл. 46, 47).

Т а б л и ц а 46

Допуски осевых разбивочных размеров

Интервал между осями, мм	Допуск, мм, при классах точности разбивки		
	1-р	2-р	3-р
До 9000	2	5	6
9000—15 000	3	6	8
15 000—21 000	4	7	10
21 000—27 000	4	8	12
27 000—33 000	5	9	14
Более 33 000	$4\sqrt{n}$	$8\sqrt{n}$	$11\sqrt{n}$

П р и м е ч а н и е. n — количество промеров 20-метровой мерой.

Т а б л и ц а 47

Допуски отметок высотных маяков

Разность отметок маяков, мм	Допуск, мм, при классах точности разбивки		
	1-р	2-р	3-р
В пределах одной станции технического нивелирования	6	10	20
Для двух соседних элементов	2	4	10

Геодезическое обоснование, создаваемое на площадке, по своей точности, как правило, не удовлетворяет требованиям строительных допусков. Его следует рассматривать лишь как основу для размещения сооружений на площадке, например, взаимного размещения в плане и по высоте двух или нескольких промышленных цехов, связанных технологическими поточными линиями.

Детальная разбивка сооружений производится на основе локальных геодезических сетей. Например, при возведении здания его основные оси разбивают с относительной ошибкой $1:5000$. Они являются плановой основой при монтаже всех элементов конструкций данного здания. Все высотные разбивки при монтаже строительных конструкций должны базироваться на отметках минимум двух реперов, определенных из геометрического нивелирования III—IV классов. Точность создания таких локальных геодезических сетей должна быть оговорена в геодезической части проекта.

§ 71. Нормы точности разбивки сооружений

Рассмотрим нормы точности геодезических работ для разбивки сооружений на различных видах строительных работ.

Земляные работы. Для установления норм точности здесь используются в основном допуски в размерах земляных сооружений.

На основании данных, приведенных в СНиПе, приняты нормы точности, указанные в разделе А табл. 48, I.

Каменные работы (раздел Б, табл. 48, I). Размеры частей сооружения из буттового камня при ведении кладки по шнуру, отвесу и правилу могут быть получены с точностью около 2—4 см. Кирпичная, а также тесовая кладка при тщательной работе могут быть точнее, 1—0,5 см. Точность разбивки кладки относительно осей ее массива надо считать нормальной около 1 см, а точность разбивки осей зависит от рода и назначения сооружения, о чем сказано ниже (СНиП III-В. 4—62).

При кладке **подводных сооружений** осуществлять проектные размеры точнее 5—10 см практически трудно, хотя на глубоководных реках с быстрым течением ими приходится довольствоваться.

Свайные работы (раздел В, табл. 48, I) нормированы в зависимости от расположения свай в кустах, свайных полях и шпунтах. Очевидно, более высокой точности разбивки требуют сваи в шпунтах, а ниже всего требования к сваям в полях.

Деревянные конструкции (раздел Г, табл. 48, I) должны разбиваться с большой точностью. По существу же наибольшая точность разбивки должна быть для сборных конструкций, что видно из приведенных норм.

Металлические конструкции (раздел Д, табл. 48, I) выполняются с еще большей точностью, чем деревянные. Каркасы зданий, фермы кранов, мостов и стропил, затворы плотин и т. п. обычно по техническим условиям монтажа собирают с точностью около $1:3000$ — $1:5000$. Следовательно, разбивку положения их опор нужно делать с не меньшей точностью.

Расстояние между колоннами для каркасов зданий разбивают с точностью 3—5 мм, повышая эту норму иногда до 1—2 мм.

Смешанные конструкции. В сооружениях, возводимых из различных материалов, точность разбивки должна соответствовать тому материалу, который определяет их форму или внешние контуры. В зданиях с металлическими каркасами разбивку выполняют с точностью, требующейся для металлических конструкций, а не каменных. Если же металл полностью погружается в массив сооружения из бетона или камня, то точность разбивки должна соответствовать точности, применяемой для каменных и бетонных работ. К таким сооружениям относятся все виды железобетонных сооружений, где железо в качестве арматуры входит в виде отдельных стержней или же сложной металлической решетки. В этих случаях установка арматуры подчиняется точности укладки бетона и определяется готовыми формами, установленными для укладки бетона с точностью разбивки бетонного массива.

Нормы допусков геодезических разбивок

Наименование видов работ и частей сооружений	Допустимые или относительные ошибки, см			Примечание
	продольная	поперечная	вертикальная	
I. По видам строительных работ				
<i>А. Земляные работы</i>				
Котлованы под здания и сооружения	5	5	5	
Земляное полотно железных и автогужевых дорог:				
верх полотна	—	2	5	
откосы	Не круче заданных проектом			
Водоотводные канавы	—	5	5	
Дренажи	—	5	0,0003	
Бермы у насыпей	—	5	2	
Наброска из камня под водой	2%	2%	1—6	
Укрепления земляного полотна	—	2	2	
<i>Б. Каменные работы</i>				
Фундамент и стены	—	2	2	
Столбы и простенки	0,5	0,5	0,5	
Отклонение стен и углов от вертикали:				
на один этаж высотой до 4 м	—	0,7—2,0	—	
на все здание	—	2—3	—	
Своды каменные, бетонные и кирпичные	—	1%	1%	
Облицовка стен	—	0,5	0,2	
<i>В. Свайные работы</i>				
Сваи в кустах и шпунты, прикрываемые насадкой	1d	1d	—	d—диаметр свай
Сваи в свайных полях	2d	2d	—	
<i>Г. Деревянные конструкции</i>				
Расстояние между осями конструкций	—	0,5	—	
Рубленые стены и ряжи	2	2	2	
Стропила и деревянные фермы	1—0,2	0,5—0,8	0,3—0,6	
Допуски при монтаже домов заводского изготовления:				
нижняя обвязка	0,5	0,5	0,2	
отклонение от вертикали на один этаж	—	2,0	—	

Наименование видов работ и частей сооружений	Допустимые или относительные ошибки, см			Примечание
	продольная	поперечная	вертикальная	
Д. Металлические конструкции				
Поверхность кладки опоры для установки колонн и плит под них	—	Уклон 0,0002	0,1	
Колонны: положение внизу отклонение от вертикали при высоте h , см	0,2 0,0003 h	0,2 и не более 3 см	0,2	
Подкрановые балки и пути — расстояния между соседними опорами	1:1000	0,5	0,5	
Е. Бетонные и железобетонные конструкции				
Сборные железобетонные конструкции (СНиП I-A. 4—63):				
основания колонн	0,5	0,5	0,2	
допуски при разбивке осей	0,8	0,5—1,5	0,1	
отклонение от вертикали при высоте 5 м и выше	—	1—2	—	
Монолитный бетон и железобетон:				
колонны и опоры элементов	0,5	0,5	0,4	
отклонение стен от вертикали	0,5	0,5	—	
II. По видам сооружений				
А. Промышленное строительство				
Цехи заводов и фабрик, здания силовых станций и т. п.				
Каркасы стен:				
металлические на 100 м	1	1	0,4	
сборного железобетона на 100 м	3	3	0,5	
монолитного железобетона и камня	5	5	0,5	

Наименование видов работ и частей сооружений	Допустимые или относительные ошибки, см			Примечание
	продольная	поперечная	вертикальная	
Колонны (см. разд. I)				
Разрывы между цехами: независимые с общим оборудованием	— 10—50	— 10	— —	По точности монтажа оборудования
Оси трубопроводов и тоннелей для них	1:2000	2—5	1	
Направление труб при их продавливании	—	1:2000	—	
Канализация и дренажные коллекторы	1:2000	2,0	0,2	
Линии электропередачи и связи	1:1000	5	—	
Железнодорожные подъездные пути	1:2000	5	0,5	
Эстакады и мосты (см. раздел В. «Мосты...»)	—	—	—	
Промышленные печи и трубы:				
стены коксовых и других промышленных печей	0,2	0,2	—	На 1 м, но не более 6 мм То же, но не более 10 мм
стены доменных печей	0,1	0,1	—	
вертикальность кирпичных и железобетонных труб:				
до 100 м	0,001	0,001	—	От высоты трубы От диаметра и не более 30 мм
более 100 м	0,0005	0,0005	—	
диаметры колец кладки труб	—	0,005	—	
Б. Строительство городов и поселков				
Длина квартала	10	15	—	СН 212—62
Красная линия застройки	5	3	1—3	
Отдельные здания длиной до 100 м	5	2	1	
То же, длиной более 100 м	10	2	1	
Разрывы между зданиями в квартале	5	5	—	
Оси трубопроводов	1:2000	5	—	
Укладка канализационных труб	1:2000	2	0,2	
Канализационные и смотровые колодцы	1:2000	5	1	

Наименование видов работ и частей сооружений	Допустимые или относительные ошибки, см			Примечание
	продольная	поперечная	вертикальная	
В. Мосты, виадуки и эстакады				
Положение центров каменных, железобетонных и металлических опор относительно точек плановой и высотной основы для разбивки:				
мостов с пролетными строениями из металла или железобетона в виде простых консольных или неразрезных балок, арок с затяжками и двух шарнирных арок с одной подвижной опорой, устанавливаемых на опоры в собранном виде	От 1 см до 1:5000	1:100000	1	l—пролет моста, см
арочных трехшарнирных металлических или железобетонных мостов, устанавливаемых в готовом виде	От ±1 см до 1:10000	1:100000	1	
при сборке или изготовлении пролетного строения на месте способом полунавесной сборки от двух опор встречно, бетонировании или кладке в подмостях или кружалах	От ±1 см до 1:30000	1:100000	1	См. также СНиП III-Д. 2—62
Положение центра кессона или опускного колодца при доставке их на плаву	5	5	2	
Положение центра опоры при разбивке фундамента в перемычке, на искусственном острове или на земле	2	2	1	
Очертание чистой кладки опор выше обреза фундамента относительно осей опор	1	1	1	
Свайные деревянные опоры и опоры подмостей	2	2	1	
Сваи-оболочки	3	3	3	

Наименование видов работ и частей сооружений	Допустимые или относительные ошибки, см			Примечание
	продольная	поперечная	вертикальная	
Положение узлов ферм на подмостях	0,2	0,2	0,2	
Положение опорных частей металлических ферм	0,5	0,5	0,1	
Боковые грани сводов и надсводного строения	1	1	1	
<i>Г. Тоннели и метро</i>				
Допустимое расхождение встречных забоев:				
тоннели прямолинейные	1 : 10000	$10\sqrt{l}$	2	<i>l</i> —длина встречных забоев
то же, криволинейные	По расчету	$5\sqrt{l}$	2	
Центры стволов шахт	2	2	1	
Передача координат через порталы, штольни и шахты	1 : 20000	1	0,5	

В местах соединения частей сооружения, возводимых из различных материалов, требующих различной точности разбивки, должна быть соблюдена большая из двух точностей.

Повышенные требования предъявляются к разбивочным работам для сборных железобетонных конструкций (СНиП I-A. 4—63).

Нормативные требования к точности геодезической разбивки по видам сооружений приводятся в табл. 48, II.

Приведенные выше нормы точности нельзя считать неизменными, так как они отражают только уровень современной техники и действующих требований к качеству работ при их приемке. По мере развития строительной техники и совершенствования способов производства работ будут изменяться и нормы разбивок.

В настоящее время в нашей стране все больше внедряются индустриальные методы строительства. На площадках здания и сооружения собирают из деталей и узлов, изготовленных заблаговременно на заводах.

С одной стороны, это упрощает и ускоряет выполнение работ, снижает их стоимость, а с другой — повышает требования к точности производства геодезических разбивочных работ. Все это и отражено в нормах, приведенных в табл. 48.

Однако и эти нормы будут изменяться, преимущественно в сторону повышения точности разбивок. Причем, в связи с появлением новых видов строительства и все большего совершенствования строительной техники они будут дифференцироваться. Сейчас же они вполне пригодны для выполняемых строительных работ. Пользуясь ими, можно устанавливать также нормы точности разбивки сооружений, не указанных в таблицах, но аналогичных сооружениям, приведенным в них.

§ 72. Построение на местности линий заданной длины

При съемочных работах на местности измеряют расстояния между некоторыми существующими точками. При разбивке сооружений производят обратное действие, т. е. от заданной точки A в заданном направлении AB находят положение точки B , находящейся от начальной точки на расстоянии, предусмотренном проектом.

Для этого от начальной точки A в заданном направлении компарированной лентой или рулеткой откладывают проектное расстояние и на местности отмечают предварительно найденную точку B^1 . При откладывании отрезка заданной длины учитывают температуру воздуха и превышение между конечными точками A и B .

Располагая полученными данными, вычисляют поправки за компарирование, температуру и приведение к горизонту, после чего вычисляют длину фактически отложенного на местности расстояния $AB^1 = L_{\text{отлож}}$. Сравнивая фактически отложенное расстояние с его проектным значением, получают общую поправку ΔL , т. е. отрезок, на который следует переместить ранее отмеченную точку B^1 , чтобы она заняла проектное положение B .

В настоящее время при разбивке осей сооружений значительной протяженности применяют свето- и радиолокационные дальномеры. Такими дальномерами измеряют отрезок, близкий к проектной длине разбиваемой оси, а затем отмеченную точку смещают в нужном направлении на величину разности измеренного отрезка и его проектной длины.

Пример. На местности отложили мерный прибор длиной d целое число раз и получили две точки M_1 и M_2 (рис. 133, а), между которыми должна находиться конечная точка C откладываемого расстояния.

После введения всех поправок в расстояния AM_1 и AM_2 определяют длины отрезков a и $d - a$, откладывая от M_1 отрезок a , а от M_2 — отрезок $d - a$, предварительно определяют положение точки C . В месте расположения точки C закладывают монолит с металлической пластиной размером 150×150 мм, на которой фиксируют точку C .

Далее расстояние AC измеряют с установленной точностью и получают длину отложенной линии. Сравнивая ее значение с заданной длиной, находят поправку CC_1 , которую откладывают, пользуясь измерителем и масштабной линейкой, на пластине и окончательно фиксируют конечную точку заданного отрезка AC .

Для расстояния $AC = 200$ м при центрировании теодолита и визирных целей с помощью оптического отвеса ошибка за поперечное смещение в длине отложенной линии будет около $\pm 2,5$ мм; при $AC = 400$ м она соответственно равна ± 5 мм.

При применении нитяного отвеса ошибки для тех же расстояний будут соответственно ± 3 и ± 6 мм.

На точность измерений расстояний влияют различного рода ошибки; одни из них носят случайный характер, другие — систематический.

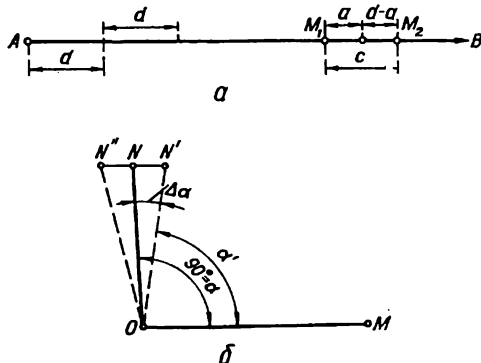


Рис. 133. Отложение на местности:
а — длины линий; б — заданных проектных углов.

При измерении расстояния S отложением n раз мерного прибора длиной l накопление случайных ошибок происходит пропорционально $\sqrt{n}$, а систематических — n . Согласно теории ошибок измерений средняя квадратическая ошибка результата измерения и средние квадратические случайные ($m_{сл}$) и систематические (m_c) ошибки находятся в зависимости

$$m_S^2 = m_{сл}^2 n + m_c^2 n^2 \quad (183)$$

или, поскольку

$$m_{сл} = \mu \sqrt{l}, \quad m_c = \lambda l \quad \text{и} \quad n = \frac{S}{l},$$

то

$$m_S^2 = \mu^2 S + \lambda^2 S^2, \quad (184)$$

где μ — коэффициент случайного влияния, определяемый опытным путем для данного вида мерного прибора;

λ — коэффициент систематического влияния.

На строительном объекте измеряют линии разной длины: отложением мерного прибора несколько раз, а чаще — один раз. При этом контролируют результаты по ранее определенным точкам или повторным измерением по измененной программе действий.

В случае повторных равноточных измерений отрезка длиной в одно отложение мерного прибора за окончательный результат принимают среднее арифметическое из полученных данных.

Средняя квадратическая ошибка суммы n измерений линии будет.

$$m_{\Sigma} = m_S \sqrt{n}, \quad (185)$$

откуда $m_S = \frac{m_{\Sigma}}{\sqrt{n}}$ (m_S — средняя квадратическая ошибка одного измерения).

В свою очередь, средняя квадратическая ошибка арифметического среднего из результатов измерений определяется формулой

$$M = \frac{m_S}{\sqrt{n}} = \frac{m_{\Sigma}}{n}. \quad (186)$$

Величина m_{Σ} определяется по формуле (185), поэтому

$$M^2 = \frac{m_{сл}^2}{n} + m_c^2. \quad (187)$$

Из этой формулы вытекает, что с увеличением числа повторных измерений отрезка случайная средняя квадратическая ошибка уменьшается в $\sqrt{n}$ раз, тогда как систематическая средняя квадратическая ошибка остается постоянной в данном ряду равноточных измерений.

Рассмотрим наиболее существенные источники ошибок измерений.

1. *Ошибка компарирования мерного прибора.* Принимая среднюю квадратическую ошибку совмещения штрихов и отсчета при помощи лупы равной 0,05 мм, при двукратном сравнении мерного прибора с женеvской линейкой средняя квадратическая ошибка компарирования составит

$$m_1 = 0,05 \sqrt{l} \text{ мм}, \quad (188)$$

где l — длина мерного прибора, м.

При компарировании 20-метровой стальной рулетки $m_1 = \pm 0,25$ мм.

2. *Ошибка за отклонение мерного прибора от створа измеряемой линии.* Отклонение концов мерного прибора (длиной l) от заданного створа на величину ϵ обусловит ошибку в длине линии

$$m_2 \approx \frac{2\epsilon^2}{l}. \quad (189)$$

Для $l=20$ м и $\epsilon=30$ мм m_2 будет равно 0,09 мм.

3. *Ошибка за наклон мерного прибора.* От неточного определения превышения концов мерного прибора, уложенного на наклонной площадке, ошибка в длине линии может быть вычислена по формуле

$$m_3 = \frac{h}{l} m_h, \quad (190)$$

где m_h — средняя квадратическая ошибка определения превышения h концов измеряемого (откладываемого) отрезка длиной l .

При $h \leq 0,03 l$ и $m_h = \pm 5$ мм получим $m_3 = \pm 0,15$ мм.

4. *Ошибка за натяжение прибора.* Если при измерении линии мерный прибор длиной l натягивают с силой F (кг), учитываемой со средней квадратической ошибкой m_F , то ошибка в длине линии составит величину

$$m_4 = \left(\frac{p^2}{12F^3} + \frac{1}{\omega E} \right) l m_F, \quad (191)$$

когда мерный прибор находится на весу, и

$$m_4^1 = \frac{1}{\omega E} m_F, \quad (192)$$

при укладывании мерного прибора на плоскости.

Здесь p — масса мерного прибора, кг; ω — площадь поперечного сечения прибора, мм²; E — модуль упругости, равный для стали 2×10^4 и для инвара $1,6 \times 10^4$.

Средняя квадратическая ошибка в длине отрезка, отложенного стальной 20-метровой рулеткой сечением $10 \times 0,15$ мм ($\omega = 1,5$ мм²), масса которой $p = 0,23$ кг, при натяжении силой со средней квадратической ошибкой $m_F = 0,5$ кг, согласно формулам (191) и (192), будет $m_4 = 0,52$ и $m_4^1 = 0,33$ мм; при $m_F = 3$ кг получим соответственно $m_4 = 2,2$ и $m_4^1 = 2$ мм. Натяжение с точностью 0,5 кг может быть достигнуто при применении динамометра.

5. *Ошибка за влияние ветра при измерении рулеткой на весу.* Действие ветра со скоростью v (м/сек) на подвешенную рулетку длиной l (м) и шириной a (мм) создает дополнительную нагрузку и увеличивает стрелу провеса при постоянном натяжении.

Поправку в отсчет по рулетке при измерении по весу между фиксированными точками, если определена стрела провеса f , вычисляют по формуле

$$m_5 = \frac{8}{3} \cdot \frac{f}{l}. \quad (193)$$

Окончательный вид формулы (193) после преобразований будет

$$m_5 = 0,65 \cdot 10^{-3} H^{-2} \delta^2 l^2 v^4 \quad (194)$$

или

$$m_5 = 0,65 H^{-2} \delta^2 l^2 v^4 \text{ мм.} \quad (195)$$

При $v = 3,5$ м/сек, $l = 20$ м, $\delta = a = 6$ мм, $H = 10$ кг вычислим:

$$m_5 = 0,65 \cdot 10^{-2} (6 \cdot 10^{-3})^2 (2 \cdot 10)^3 (3,5)^4 = 0,28 \text{ мм}$$

6. *Ошибка за температурную разность прибора.* Среднюю квадратическую ошибку в длине линии вычисляют по формуле

$$m_6 = \alpha l m_t, \quad (196)$$

где α — коэффициент линейного расширения стали, равный $12 \cdot 10^{-6}$; l — длина мерного прибора, м; m_t — средняя квадратическая ошибка учета температуры мерного прибора.

Для $l = 20$ м, $m_t = \pm 1^\circ$, найдем $m_6 = \pm 0,24$ мм.

7. Ошибка, обусловленная отсчетами и фиксацией концов мерного прибора. Суммарное влияние ошибок отсчета и фиксации концов мерного прибора вычисляют по формуле

$$m_7 = \sqrt{m_{\text{окр}}^2 + m_{\text{ф}}^2}, \quad (197)$$

где $m_{\text{окр}} = \frac{a}{\sqrt{3}}$ — средняя квадратическая ошибка округления при отсчете или

отложении; $m_{\text{ф}}$ — то же, фиксации конца отложенного отрезка.

Примем $a = \pm 0,2$; $m_{\text{ф}} = \pm 0,3$ мм и получим $m_7 = \pm 0,32$ мм.

Из рассмотренных факторов ошибки m_1, m_2, m_5 относятся к систематическим, а m_3, m_4, m_6, m_7 — к случайным.

С учетом формулы (183) средняя квадратическая ошибка результата измерения линии будет

$$m_S^2 = (m_3^2 + m_4^2 + m_6^2 + m_7^2) n + (m_1 + m_2 + m_5)^2 n^2, \quad (198)$$

для одного отложения мерного прибора

$$m_l^2 = m_3^2 + m_4^2 + m_6^2 + m_7^2 + (m_1 + m_2 + m_5)^2. \quad (199)$$

Подставляя предвычисленные числовые значения средних квадратических ошибок по каждому источнику погрешностей, найдем

$$m_l = \sqrt{(0,15)^2 + (0,52)^2 + (0,24)^2 + (0,32)^2 + (0,25 + 0,09 + 0,28)^2} = \pm 0,92 \text{ мм.}$$

Если же предполагается измерение линии, равной длине мерного прибора, повторить n раз, то согласно формуле (187)

$$M^2 = \frac{m_3^2 + m_4^2 + m_6^2 + m_7^2}{n} + (m_1 + m_2 + m_5)^2. \quad (200)$$

При трехкратном измерении, принимая предвычисленные значения ошибок, найдем $M_3 = \pm 0,73$ мм.

§ 73. Построение на местности заданных углов.

При построении на местности угла заданной величины, необходимо от заданного в натуре направления в данной точке найти второе направление. Порядок действий должен исключать основную инструментальную (коллимационную ошибку).

При построении угла теодолит устанавливают в точке O , в которой надо построить угол MON проектной величины (рис. 133, б). Совмещают нулевой штрих верньера с нулевым штрихом лимба и вращением лимба наводят трубу на точку M . Затем при закрепленном лимбе открепляют алидаду и, вращая ее, откладывают на лимбе проектный угол α (при КП или КЛ). В таком положении алидаду закрепляют. Наблюдая в трубу теодолита в полученном направлении, закрепляют на желаемом расстоянии от точки O специальный знак, на котором отмечают точку N' .

Таким образом закрепляют на местности угол MON' , построенный одним полуприемом (при КП или КЛ). Затем переводят трубу через зенит, открепляют алидаду и вновь повторяют построение угла, но уже при другом положении трубы. При наличии коллимационной ошибки во втором полуприеме будет отмечена вторая точка N'' .

В этом случае измеряют расстояние $N'N''$ между отмеченными точками, делят его пополам и намечают точку N , положение которой будет фиксировать искомое направление ON , составляющее с начальным угол α , свободный от влияния коллимационной ошибки трубы.

При построении на местности угла с повышенной точностью вначале на стороне OM в назначенной точке O одним полуприемом строят проектный угол. В полученном направлении откладывают проектное расстояние ON' и полу-

чают на местности некоторый угол α' , составленный направлениями OM и ON' . Этот угол фактически отличается от проектного угла α на величину $\Delta\alpha$, т. е. $\Delta\alpha = \alpha - \alpha'$.

Затем отложенный на местности угол MON' тщательно измеряют несколькими (3—4) приемами и вычисляют среднее значение величины построенного угла α' , т. е. определяют его значение с повышенной точностью. Из сравнения измеренного значения угла с проектным определяют $\Delta\alpha$, затем вычисляют длину отрезка NN' (линейное смещение), на который надо переместить предварительно отмеченную точку N' , чтобы она заняла проектное положение N .

$$NN' = ON' \operatorname{tg} \Delta\alpha.$$

Ввиду незначительности $\Delta\alpha$ величина смещения будет

$$NN' = \frac{ON' \Delta\alpha''}{\rho''}. \quad (201)$$

Отмеченную ранее на местности точку N' перемещают по перпендикуляру к линии ON' на длину отрезка NN' , получая таким образом на местности заданный проектный угол α .

Необходимую точность построения угла рассчитывают исходя из заданной допустимой погрешности смещения точки N с проектного направления. Если средняя квадратичная ошибка такого смещения не превышает величины m , то средняя квадратическая ошибка m_α построения угла α может быть найдена по формуле

$$m''_\alpha \leq \rho'' \frac{m}{S}, \quad (202)$$

где $S = ON$.

Ошибка измерения, выноса и построения на местности угла в основном зависит от ошибок: центрирования инструмента (m_κ); редукции из-за неточного центрирования визирных целей (m_p); инструментальных (m_n) и внешних условий (m_b); собственно измерений (m_c).

Суммарная величина средней квадратической ошибки измеренного угла определяется формулой

$$m_\beta = \sqrt{m_\kappa^2 + m_p^2 + m_n^2 + m_b^2 + m_c^2}. \quad (203)$$

При предвычислениях точности ошибок измерения угла применяют принцип равных влияний и принимают $m_\kappa = m_o = m_n = m_b = m_c = m$.

Вследствие этого

$$m_\beta = m \sqrt{5}, \quad (204)$$

откуда

$$m = \frac{m_\beta}{\sqrt{5}}.$$

Принимают m_β за допустимую величину средней квадратической ошибки измерения угла, заданную инструкцией либо предвычисленную для данного вида работ, определяют необходимую точность каждого источника погрешностей.

1. Среднюю квадратическую ошибку центрирования теодолита определяют по формуле

$$m_\kappa = \rho \frac{e}{S_1 S_2 \sqrt{2}} C, \quad (205)$$

в которой e — линейный элемент центрирования, мм; S_1, S_2 — длины сторон измеряемого угла, м; $C = \sqrt{S_1^2 + S_2^2} - 2S_1 S_2 \cos \beta$ — расстояние между точками визирования, м; β — измеряемый угол; $\rho = 206265''$.

При одинаковых длинах сторон угла, равного 180° , и линейной величине e ошибка за центрирование будет наибольшей, а для 90 или 270° — наименьшей.

Современные теодолиты, оснащенные оптическими отвесами, позволяють центрировать инструмент над точкой с линейной ошибкой e не более $0,5$ мм.

Таким образом, в конкретном случае, зная длину меньшей стороны угла и ее соотношение с большей и приняв величину $e=0,5$ мм, можно вычислить среднюю квадратическую ошибку измерения (построения) прямого угла. Например, $S_1=20$ и $S_2=160$ м, $e=0,5$ мм. По формуле (205) вычислим $m_{\Sigma}=\pm 10''$, 3.

2. Для вычисления средней квадратической ошибки редукции при измерении угла пользуются формулой

$$m_p = \rho \frac{e_1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{1}{S_1^2} + \frac{1}{S_2^2}}, \quad (206)$$

где e — линейная ошибка центрирования визирных целей, мм.

Принимая расчетные параметры предыдущего примера и $e_1=e$, получим $m_p=\pm 10''$, 3.

3. К инструментальным ошибкам относят: ошибки делений лимба и отсчетных приспособлений, наклон лимба и оси вращения трубы, коллимационную ошибку трубы, эксцентриситет алидады, неустойчивость инструмента.

Современные делительные машины наносят штрихи с высокой точностью. Кроме того, влияние случайных ошибок в делениях лимба может быть уменьшено измерением угла на различных частях лимба.

Из-за наклона лимба на угол ε может возникнуть ошибка в измеряемом горизонтальном угле на величину

$$m_n = \frac{1}{4} \cdot \frac{\varepsilon^2}{\rho}. \quad (207)$$

При $\varepsilon=5'$ $m_n=\pm 0''$, 1.

Ошибку за наклон оси вращения трубы при измерении угла вычисляют по формуле

$$\Delta_i = i (\operatorname{tg} v_a - \operatorname{tg} v_b), \quad (208)$$

где i — угол наклона оси вращения трубы; v_a, v_b — углы наклона линий визирования. Для $(v_a)=(v_b)$, т. е. когда знаки одинаковые, значение $\Delta_i=0$, но при разных знаках Δ_i становится наибольшим.

Например, если $v_a=+45^\circ$, $v_b=-45^\circ$, а $i=20''$, по формуле (208) вычислим $\Delta_i=40''$. Это обстоятельство следует учитывать при выполнении угловых измерений на строительном объекте и в необходимых случаях применять накладной уровень и даже менять программу геодезических действий в натуре.

Влияние коллимационной ошибки трубы теодолита вычисляют по формуле

$$\Delta_c = c (\sec v_a - \sec v_b), \quad (209)$$

где c — коллимационная ошибка трубы.

При условии постоянства c ошибка $\Delta_c=0$, если $v_a=v_b$, и будет наибольшей, когда $v_a=0$ или $v_b=0$; однако в последнем случае ее влияние может быть сведено к незначительной величине измерением угла полным приемом, причем ось вращения должна занимать отвесное положение.

На строительной площадке измеряют углы с различными длинами сторон, поэтому приходится резко менять фокусировку трубы. Вследствие этого необходимо очень тщательно исследовать движение кольца фокусирующей линзы.

Влияние эксцентриситета алидадного круга при измерении угла исключается, если отсчеты ведут по двум верньерам.

4. Внешние условия, влияющие на точность измерения (построения) углов, определяются: боковой рефракцией, неустойчивостью штативов инструмента и визирных целей, освещением последних.

Учет влияния боковой рефракции, зависящей от многих причин, практически невозможен. Поэтому для уменьшения влияния боковой рефракции необходимо: визирный луч отдалять от нагреваемых поверхностей сооружений;

наблюдения вести по затененной стороне; измерения углов производить в часы наилучших условий оптической среды.

Устойчивости теодолита и визирных целей во время измерений (построений) углов придают серьезное значение: выбирают площадку с твердым грунтом, применяют достаточно жесткие штативы, обеспечивают правильную работу подъемных винтов.

Во избежание одностороннего нагрева инструмент необходимо защищать от прямого попадания солнечных лучей, применяя зонт, устраивая навес, устанавливая инструмент в тени зданий или сооружений.

Хорошая видимость визирных целей обычно бывает в пасмурные дни. Ее можно достичь созданием соответствующих фонов и искусственным освещением.

При тщательной подготовке работ по программе отрицательное влияние внешних условий на измеряемый угол, т. е. угол, который строится, может быть сведено к неощутимым размерам.

5. Ошибки собственно измерения угла определяются ошибками: визирования зрительной трубой, отсчетного приспособления и способа измерения.

Среднюю квадратическую ошибку визирования вычисляют по формуле

$$m_v = \pm \frac{60''}{3v} = \pm \frac{20''}{v}, \quad (210)$$

где $60''$ — критический угол, под которым невооруженный глаз способен различать две точки; v — увеличение зрительной трубы.

Среднюю квадратическую ошибку округления отсчета по лимбу находят по формуле

$$m_0 = \pm \frac{t}{2\sqrt{3}}, \quad (211)$$

где t — точность верньера.

Наконец, в случае применения способа круговых приемов, среднюю квадратическую ошибку измерения угла вычисляют по формуле

$$m_c = \sqrt{\frac{1}{n} \left(m_v^2 + \frac{m_0^2}{2} \right)}, \quad (212)$$

где n — число приемов.

Анализ источников погрешностей измерений углов дает возможность рассчитать необходимую точность учета ошибок измерений в соответствии с поставленными условиями, подобрать нужные инструменты, составить программу измерений на местности.

В зависимости от решения задачи могут быть поставлены дифференцированные требования к точности учета источников погрешностей. Повышением требований к определению одних видов ошибок измерений возможно снизить требования к другим, либо вообще свести влияние отдельных источников ошибок к неощутимым размерам.

§ 74. Способы переноса точек в натуру, оценка их точности

Способ полярных координат. В точке A (рис. 134, a) исходной стороны AB измеряют (или строят) угол α и расстояние S (либо откладывают заданную длину). Вследствие ошибок измерений угла и расстояния вместо верного положения точки C ее действительное положение окажется в точке C' , смещенной на величину q .

Проекция отрезка q на направление AC и перпендикулярное ему будут выражать соответственно продольное ΔS и поперечное U смещения определяемой

точки. Средняя квадратическая ошибка смещения определяемой точки, таким образом, выразится зависимостью

$$m_q^2 = m_U^2 + m_\epsilon^2. \quad (213)$$

Средняя квадратическая ошибка поперечного сдвига в этом случае равна

$$m_U = \frac{m_\beta}{\rho} S, \quad (214)$$

где m_β — средняя квадратическая ошибка измерения (построения) угла; S — расстояние до определяемой точки.

Средняя квадратическая ошибка продольного сдвига вычисляется по формуле (215). При этом принимается $m_t = m_S$.

Поэтому формула (214) примет вид

$$m_q = \left(\frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 S^2 + m_S^2. \quad (215)$$

Средние квадратические ошибки положения опорного пункта и фиксирования определяемой точки из-за их малости не учитывают.

Применяя принцип равного влияния ошибок измерений, будем иметь:

$$\left. \begin{aligned} m_q &= \sqrt{2} \frac{m_\beta}{\rho} S; \\ m_q &= \sqrt{2} m_S. \end{aligned} \right\} \quad (216)$$

По данной средней квадратической ошибке m_q положения определяемой точки может быть вычислена необходимая точность измерения угла и линии:

$$\left. \begin{aligned} m_\beta &= \frac{\rho}{\sqrt{2}} \cdot \frac{m_q}{S}; \\ m_S &= \frac{m_q}{\sqrt{2}}. \end{aligned} \right\} \quad (217)$$

В зависимости от заданной величины средней квадратической ошибки m_q определения положения точки предвычисляют требуемую точность измерений угла и линии. Например, $m_q = 1,5$ см, $S = 50$ м. Тогда по формулам (217) найдем $m_\beta = \pm 0',7$ и $m_S = \pm 1,1$ см или $m_S : S = 1 : 4500$.

Способ прямоугольных координат. От исходного пункта A (рис. 134, б) по створу AB откладывают $AD = S_1$, затем в точке D строят прямой угол $\beta = 90^\circ$, откладывают расстояние $DC = S_2$.

Вследствие ошибок измерений линий и угла средняя квадратическая ошибка положения точки C определится по формуле

$$M^2 = m_{S_1}^2 + m_{S_2}^2 + S_2^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}, \quad (218)$$

где m_{S_1} , m_{S_2} — средние квадратические ошибки отложения отрезков; m_β — средняя квадратическая ошибка построения прямого угла; $\rho = 3438'$.

Например: $m_{S_1} = m_{S_2} = \pm 1$ см; $S_2 = 25$ м и $m_\beta = \pm 0',5$. По формуле (218) получим $M = \pm 1,5$ см.

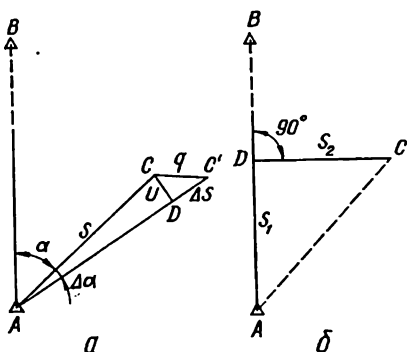


Рис. 134. Перенос точек в натуру: а — полярный способ; б — способ прямоугольных координат.

Способ линейной засечки. Если с твердых точек A и B (рис. 135, a) измерить (отложить) расстояние $AC=b$ и $BC=a$, то положение точки C вполне определится относительно исходных точек.

Среднюю квадратическую ошибку положения определяемой точки вычисляют по формуле

$$M^2 = \frac{m_a^2 + m_b^2}{\sin^2 \gamma}$$

или

$$M = \frac{\sqrt{m_a^2 + m_b^2}}{\sin \gamma}, \quad (219)$$

где m_a и m_b — средние квадратические ошибки измерения отрезков соответственно a и b ; γ — угол при определяемой точке.

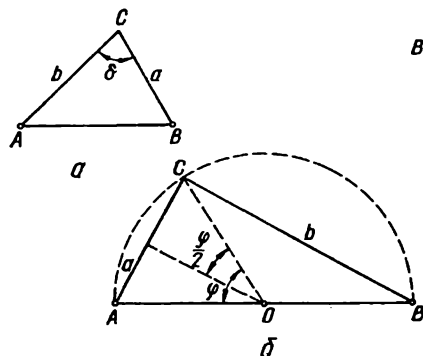


Рис. 135. Перенос точек в натуру способом линейных засечек:

a — опорные точки; b — способ засечек.

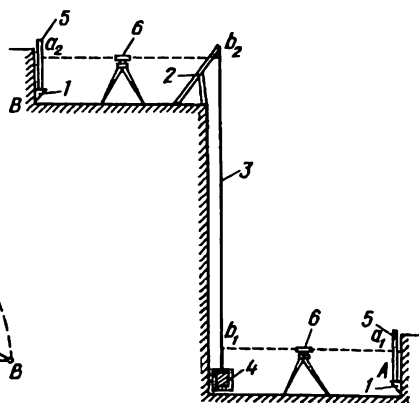


Рис. 136. Передача отметок по вертикали:

1 — опорная точка; 2 — консольная опора; 3 — рулетка; 4 — груз; 5 — рейка; 6 — нивелир.

Пример. Предположим, что в прямоугольном равнобедренном треугольнике стороны линейной засечки имеют средние квадратические ошибки $m_a = m_b = \pm 2$ мм, тогда средняя квадратическая ошибка положения точки согласно формуле (219) будет $M = \pm 2,8$ мм.

§ 75. Передача отметок по вертикали

Для передачи отметки по вертикали необходимо иметь два нивелира, две рейки и подвешенную стальную ленту с грузом.

Вначале выбирают участки, наиболее благоприятные для производства работ, укрепляют консольно опору (рис. 136), к которой подвешивают рулетку так, чтобы можно было взять отсчеты с помощью нивелиров, установленных на разных ярусах сооружения. Вблизи подвешенной рулетки должны быть надежно закреплены точки постановки нивелирных реек. Затем устанавливают каждый нивелир на равных расстояниях между закрепленной точкой и рулеткой, приводят его в рабочее положение и по команде одновременно на двух горизонтах берут отсчет по рулетке, потом наводят на рейку и также берут

отсчет. Алгебраическая сумма разностей отсчетов по рулетке и рейкам и будет превышением нивелируемых точек разных горизонтов сооружения.

Средняя квадратическая ошибка определения превышения зависит преимущественно от ошибок отсчетов по рейкам и рулетке, компарирования реек и рулетки, температуры рулетки, т. е. согласно формуле (199)

$$m_h = 4m^2 + m_t^2 + (m_{k_1} + m_{k_2} + m_{k_p})^2, \quad (220)$$

где m — средняя квадратическая ошибка отсчета по рейке и рулетке; m_t — средняя квадратическая ошибка за температуру рулетки; m_{k_1} , m_{k_2} , m_{k_p} — средние квадратические ошибки компарирования соответственно реек и рулетки.

Обычно превышение определяют n раз, поэтому принимая во внимание формулу (200), среднее значение превышения будет содержать ошибки.

Подобные операции при изменении горизонта инструмента повторяют два-три раза, и, если результаты между собой сходятся в пределах расчетной точности нивелирования, берут среднее значение превышения.

Перед началом работ по передаче отметок тщательно выверяют и юстируют нивелиры, компарируют рулетку и нивелирные рейки. За полчаса до начала работ подвешивают стальную рулетку, чтобы она приняла температуру воздуха, определяемую по термометру. Во время обработки результатов нивелирования в длину рабочей части рулетки вводят поправку за температуру.

§ 76. Вынесение на местность точки с проектной отметкой

При высотных разбивках сооружений наиболее распространенной является задача по вынесению на местность проектных отметок точек.

Вынести в натуру проектную отметку — значит отметить на местности точку, высота которой над уровнем моря или над условным горизонтом равна заданной.

Проектные отметки выносят в натуру методом расчета высоты проектной рейки через горизонт инструмента.

Пусть требуется (рис. 137, а) на местности отметить точку B , которая находилась бы на заданном проектном горизонте. Для этой цели примерно посередине между репером и известной отметкой $H_{\text{реп}}$ и определяемой точкой устанавливают нивелир, и, наведя трубу на рейку, установленную на репере, производят отсчет a . Вычисляют горизонт инструмента ($ГИ$). Затем вычисляют разность горизонта инструмента $ГИ$ и заданного проектного горизонта $H_{\text{пр}}$, которая равна искомому отсчету b по рейке в указанной точке. В этой точке прочно забивают кол, рядом с ним устанавливают рейку и двигают ее вдоль кола вверх или вниз до тех пор, пока на рейке не будет получен требуемый отсчет.

В этот момент положение пятки рейки будет соответствовать заданной проектной отметке. Под пяткой рейки отмечают черту или забивают гвоздь для фиксации вынесенной на местность точки с заданной проектной отметкой.

Пример.

Отметка исходного репера, $H_{\text{реп}}$, м	168,315
Отсчет по задней рейке, установленной на репере a , м	0,939
Горизонт инструмента $ГИ$, м	167,254
Заданная проектная отметка точки A , м	165,300
Искомый отсчет по передней рейке или высота проектной рейки, м	1,954

Часто выносные проектные горизонты отмечают горизонтальной чертой на стенах зданий, расположенных рядом с возводимым.

При незначительных разностях уровней и стесненных условиях работ (внутри помещений, на большой высоте) проектные горизонты выносят с помощью гидростатических нивелиров различных систем и точности.

§ 77. Построение на местности линий и плоскостей заданного уклона

Разбивка на местности линий заданного уклона необходима при планировке поверхности, строительстве дорог, водоотводных канав, сетей канализации, при монтажных и др. работах.

Пусть требуется по заданному направлению от точки A с отметкой H_A к точке B разбить на местности линию длиной a с уклоном i , а затем закрепить ее через равные отрезки a' . Для этого в заданном направлении откладывают

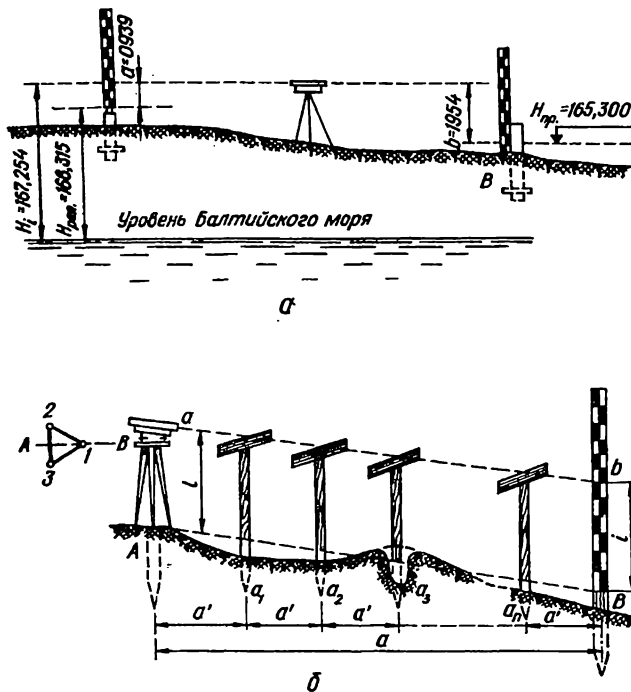


Рис. 137. Вынесение на местность точек проектных отметок:

a — вынесение на местность проектного горизонта; b — разбивка линий заданного уклона.

расстояние a и на этой прямой отмечают точки $a_1, a_2, \dots, a_n$, отстоящие одна от другой на равных расстояниях a' (рис. 137, б). Вычисляют проектную отметку H_B точки B и выносят ее на местность приемом, изложенным выше.

Затем в точке A устанавливают нивелир так, чтобы один из подъемных винтов подставки расположился по направлению AB . Тщательно измеряют высоту i инструмента и вращением одного из подъемных винтов, расположенного по направлению AB , устанавливают среднюю горизонтальную нить сетки на отсчет по рейке, равный i . После этого в точках $a_1, a_2, \dots, a_n$ забивают колья так, чтобы отсчеты по рейке, устанавливаемой на колья, равнялись высоте инструмента.

Во всех случаях высотных разбивок для земляных работ (планировка поверхности, подготовка земляного полотна дороги, рытье канав и траншей) де-

тальную разбивку наклонной линии выполняют с помощью визирок (двух постоянных и одной ходовой, имеющих одинаковую высоту).

Постоянные визирки устанавливают в начальной *A* и конечной *B* точках разбиваемой линии, а ходовую визирку устанавливают последовательно в точках $a_1, a_2, \dots, a_n$. Производитель работ визирует глазом через верхний обрез поперечных планок постоянных визирок и получает визирный луч *ab* заданного уклона.

При значительных уклонах вместо нивелира в точке *A* устанавливают теодолит.

§ 78. Разбивка площадок на местности

Горизонтальном на заданном уровне. Построение горизонтальной площадки на заданном уровне необходимо при планировке и разбивке площадок под оборудование, при выравнивании пола цеха и в ряде других случаев.

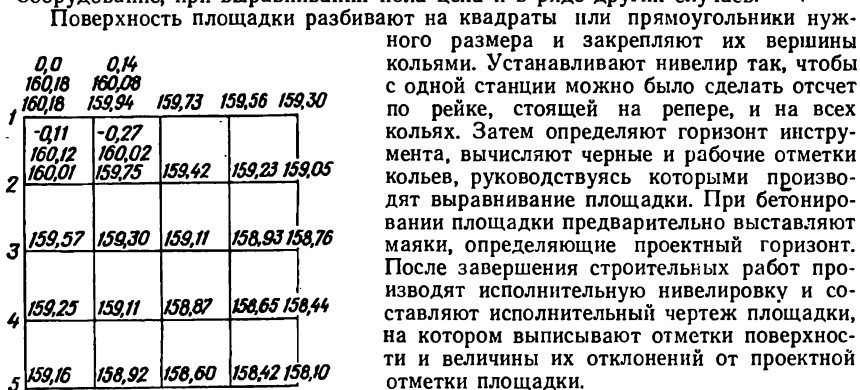


Рис. 138. Схема нивелирования наклонной площадки.

При малых размерах площадок (внутрицеховые помещения) нужный проектный горизонт выносят на существующие колонны и стены (без забивки маяков).

Наклонной к горизонту под заданным уклоном. При разбивке наклонных площадок приходится вычислять рабочие отметки вершин квадратов сетки разбиваемой площадки. Для этого предварительно определяют их проектные отметки. Порядок этих вычислений изложим в примере.

Пусть для проектируемой площадки нивелированием по сетке 20×20 м определены черные отметки, показанные на рис. 138. Требуется найти рабочие отметки для вершин всех квадратов при условии, что проектная отметка площадки в точке 1/1 равна 160,18 м (совпадает с черной отметкой), а проектируемые уклоны поверхности приняты: в направлении 1/1 — 1/5 — 0,005, а 1/1 — 5/1 — 0,003.

Прежде чем приступить к вычислению рабочих отметок, подсчитывают красные отметки вершин квадратов. При этом за начальную принимают отметку точки 1/1 и запроецированный уклон местности (вниз — уклон минус 0,003 и вправо — минус 0,005). Расстояние между соседними точками 20 м.

Тогда красные отметки точек будут, м:

1/1	.	160,18
1/2	.	160,18 — $20 \times 0,005 = 160,08$
1/3	.	160,18 — $20 \times 2 \times 0,005 = 159,98$
1/4	.	160,18 — $20 \times 3 \times 0,005 = 159,88$
1/5	.	160,18 — $20 \times 4 \times 0,005 = 159,78$
2/1	.	160,18 — $20 \times 0,003 = 160,12$
2/2	.	160,18 — $20 \times 0,005 - 20 \times 0,003 = 160,02$
		и т. д.

Затем находят рабочие отметки для этих точек, как разность между черными и красными отметками:

1/1	160,18 — 160,18 = 0,00
1/2	159,94 — 160,08 = -0,14
2/1	160,01 — 160,12 = -0,11
2/2	159,75 — 160,02 = -0,27 и т. д.

Вычисленные красные и рабочие отметки помещают на схеме нивелирования поверхности (см. рис. 138) над соответственными черными отметками. Эта схема служит основой для составления картограммы планировочных работ.

РАЗБИВКА ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ПЛАНЕ

§ 79. Подготовительные работы

Разбивочные работы начинаются с геодезической подготовки проекта инженерного сооружения, которая включает:

изучение проекта инженерного сооружения и пунктов геодезической основы; создание рабочей (строительной или специальной) геодезической сети для разбивочных работ;

составление проекта производства работ (необходимые инструменты, оборудование, место выполнения разбивки и способы закрепления постоянных и временных точек);

подготовку и истребование исходных картографо-геодезических материалов в территориальных инспекциях Государственного геодезического надзора Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР или главных архитекторов городов (районов);

определение всех геодезических данных необходимых для переноса проекта сооружения в натуру;

составление разбивочного чертежа, при помощи которого выполняется перенос проекта в натуру.

Разбивочный чертеж составляют пользуясь генеральным планом и конструктивными чертежами проекта. Геодезическая подготовка для составления разбивочного чертежа состоит в получении угловых, линейных и высотных данных, связывающих пункты геодезического обоснования с основными точками разбиваемых сооружений.

Данные геодезической подготовки могут быть получены при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки, путем аналитических или графо-аналитических вычислений.

Поскольку графические данные связаны с масштабом плана и зависят от деформации бумаги, точности графических построений, субъективных ошибок лица, готовящего исходные данные и пр., результаты графического способа менее точны, чем аналитического. Поэтому при подготовке исходных данных для разбивки сооружений одним лишь графическим способом ограничиться нельзя.

При различного рода разбивках руководствуются основным принципом геодезических работ — переходом от общего к частному. Исходя из этого основного правила, сначала делают вынесение и разбивку главных (основных) осей, а затем — детальную разбивку отдельных элементов сооружения.

Под разбивкой сооружений понимают геодезические работы по переносу в натуру основных осей и габаритов сооружений в соответствие проекту и закреплению их на местности.

Эта работа является отправным началом любого строительного объекта, каким бы он ни был по объему капитальных ассигнований.

Комплекс основных работ включает: ориентирование линий, обозначение и измерение на местности их длин, отложение заданных углов и вынесение на местность высотных отметок сооружений. Разбивочные работы сопровождают строительство на всем его протяжении, являясь неотъемлемой составной технологической частью строительного производства.

Для больших и ответственных строительных комплексов создается строительная координатная сетка, назначение и построение которой описано в предыдущей главе. Отдельные большие сооружения выносятся и закрепляются на местности от пунктов опорной геодезической сети посредством отдельных исходных точек и направлений главных частей сооружения. От этих точек и направлений осуществляется разбивка основных осей сооружения, а затем на основе последних — разбивка всех его деталей.

Разбивочный чертеж выполняется в такой последовательности:

- 1) по плану, с учетом деформации бумаги, определяют длины всех линий и значения координат основных точек проекта;
- 2) составляют схему переноса проекта, содержащую: выбранный способ переноса, существующие и дополнительные пункты геодезического обоснования, значения длин линий и углов, которые необходимо построить на местности, чтобы получить основные точки сооружения.

Широко применяющиеся в настоящее время способы разбивки сооружений в плане (прямоугольных координат, полярных, угловых, линейных и створных засечек) рассмотрены ниже.

§ 80. Способ прямоугольных координат

Сущность способа состоит в том, что по заданным привязкам при помощи теодолита восстанавливают перпендикуляры, на которых лентой или рулеткой откладывают нужные расстояния до углов выноса в натуре сооружения.

Для этого угломерный инструмент устанавливают в одной из точек, например, в точке 29 (рис. 139).

Затем, строго в створе линии 29—30, откладывают размеры 29—I и I—I—II, заданные по генеральному плану, и измеряют остаток II—30, являющийся контролем правильности отложения отрезков 29—I и I—I—II.

Точки I и II закрепляют временными знаками и, перейдя с теодолитом в точку I, восстанавливают перпендикуляр к линии 29—30, закрепив его вешками или шпильками. Это необходимо для наблюдения за правильностью установки знаков в точках a и b .

Закрепление концов перпендикуляра делается на некотором расстоянии от крайней оси разбиваемого здания. Затем при помощи рулетки откладывают заданные по генеральному плану длины (делают привязку) $I—a$ и ширину здания $a—b$. Закрепив найденные точки с помощью временных знаков, переходят в точку II и таким же способом устанавливают колья с центрами в точках c и d .

Работа должна выполняться проверенными теодолитом и мерными приборами.

После установки всех точек по углам будущего сооружения, измеряют один угол и две прилежащие к нему стороны. Например, угол adc и стороны ad и cd (см. рис. 139). Если данные совпадают, то разбивка выполнена верно.

Если сооружение не имеет вида прямоугольника, то после разбивки точек a, b, c, d теодолитным ходом по заданным углам и сторонам разбивают остальные точки. После этого приступают к выносу осей, закреплению их постоянными знаками и техническому нивелированию.

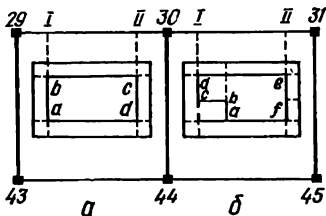


Рис. 139. Разбивка зданий способом прямоугольных координат.

§ 81. Полярный способ

Полярный способ применяется при разбивке сооружений, удаленных от пунктов строительной сетки. При этом необходимо наличие пунктов геодезической основы, благоприятных условий для измерения длин мерными приборами, хорошей взаимной видимости между пунктами.

Сущность способа заключается в том, что для нахождения точки в определенном направлении от твердого пункта откладывают заранее вычисленное расстояние до определенной точки.

Пусть требуется найти на местности положение точек C и D , зная положение пунктов A и B имеющейся геодезической сети (рис. 140, a). Положение искомых точек C и D в проекте определено координатами X_C, Y_C и X_D, Y_D координаты опорных пунктов A и B известны.

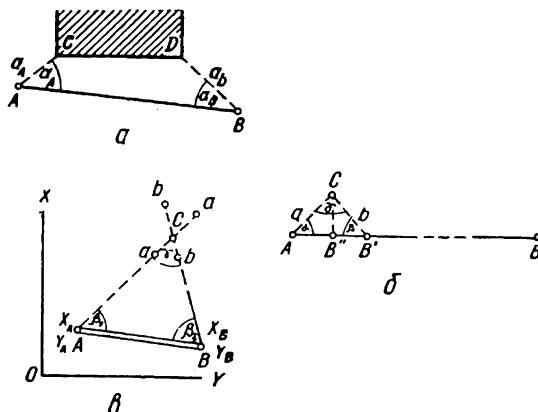


Рис. 140. Способы разбивки сооружений:

a — полярный; b — линейных засечек; c — угловых засечек.

Для определения на местности положения точек C и D необходимо по координатам точек A, B, C и D , решая обратные геодезические задачи, определить расстояния AC и BD , а также их дирекционные углы. По разности дирекционных углов исходной стороны AB и определяемых сторон AC и BD нужно вычислить углы α_A и α_B , а затем произвести соответствующие построения на местности.

На точность определения положения точки полярным способом окажут влияние ошибки определения опорных пунктов A и B , построения на местности углов β_A или β_B , отложения расстояний d и фиксации точки.

Средняя квадратическая ошибка определения точки будет

$$m_\tau = \sqrt{2m^2 + \frac{d^2}{\rho''^2} m_\beta^2 + m_d^2 + m_\phi^2}, \quad (221)$$

где m_τ — средняя квадратическая ошибка положения опорных пунктов A и B ;

m_β — то же, построения на местности угла β ;

m_d — » отложения расстояния;

m_ϕ — » фиксации точки.

Задавшись величиной m_τ , рассчитывают по этой формуле необходимую точность производства разбивочных работ.

Очевидно, что

$$\left(2m^2 + \frac{d^2}{\rho''^2} m_\beta^2 + m_d^2 + m_\phi^2\right) \leq m_\tau^2 \quad (222)$$

или

$$\left(\frac{d^2}{\rho''^2} m_\beta^2 + m_d^2 + m_\phi^2\right) \leq (m_\tau^2 - 2m^2). \quad (223)$$

Используя принцип равного влияния отдельных источников ошибок, примем

$$\frac{d}{\rho''} m_{\beta}'' = m_d = m_{\phi} = m_x. \quad (224)$$

Тогда

$$3m_x^2 \leq \overline{m}_0^2, \quad (225)$$

где

$$\overline{m}_0^2 = m_{\tau}^2 - 2m^2. \quad (226)$$

Следовательно,

$$\frac{d}{\rho''} m_{\beta}'' \leq \frac{\overline{m}_0}{\sqrt{3}}; \quad m_d \leq \frac{\overline{m}_0}{\sqrt{3}}; \quad m_{\phi} \leq \frac{\overline{m}_0}{\sqrt{3}}. \quad (227)$$

Если задаться величиной одной из этих погрешностей, то в принцип равного влияния вводятся соответствующие коррективы.

Положение точек, разбитых полярным способом, контролируется сличением измеренных в натуре расстояний между ними с их проектными значениями.

Однако следует отметить, что полярный способ, хотя и является одним из наиболее точных, требует особо благоприятных внешних условий и на строительстве применяется редко.

§ 82. Способы засечек

Способ линейных засечек. Применяется в том случае, если расстояние от исходных пунктов A и B до искомой точки C не превышает длины мерного прибора (ленты, рулетки и т. д.).

Вычислив по координатам расстояния BC и AC , берут два мерных прибора, концы которых удерживают в точках A и B . Вытягивая мерные приборы, образуют треугольник ABC (рис. 140, б), причем так, чтобы они пересекались в точке, где на мерных приборах отмечены расстояния AB и AC . Угол засечки должен быть в пределах $30-120^\circ$.

Точка C фиксируется в указанном пересечении колышком. Контролем является расстояние от точки C до других разбиваемых точек.

Твердыми точками могут быть не только пункты геодезической основы, как A и B , но и створные точки, например, точка B' , расположенные на твердых сторонах, или точки существующих на местности зданий и сооружений.

Средняя квадратическая ошибка m_C определения положения точки C относительно исходных пунктов A и B будет

$$m_C = \sqrt{m_X^2 + m_Y^2}, \quad (228)$$

где m_X и m_Y — средняя квадратическая ошибка определения координат X и Y точки C .

Сделав некоторые преобразования, окончательно получим

$$m_C = \frac{ab}{2F} \sqrt{m_a^2 + m_b^2}, \quad (229)$$

где F — площадь треугольника ACB .

Если

$$m_a = m_b = m_d,$$

то

$$m_C = \frac{m_d}{\sin \gamma} \sqrt{2}, \quad (230)$$

где

$$\gamma = 180 - (\alpha + \beta);$$

m_d — средняя квадратическая ошибка измерения сторон a и b .

Для практических расчетов величины m_a и m_b средних квадратических ошибок результатов отложения длин засечек a и b можно предопределить в зависимости от точности применяемых приборов и методов отложений, а величину угла γ измерить графически по масштабной схеме треугольника ACB' .

Способ угловых засечек. Применяется в тех случаях, когда измерение линий мерными приборами трудно или совсем невозможно, несмотря на хорошую видимость.

Точность точек, определяемых способом засечек, всецело зависит от той точности, с которой строят направляющие углы, а также от точности построения строительной сетки или базиса.

Координаты исходных точек A и B известны (рис. 140, в): $X_A, Y_A; X_B, Y_B$. Необходимо на местности получить точку C . Координаты точки C также известны: $C(X_C, Y_C)$.

Дирекционные углы линий AB, AC и BC находятся путем решения обратной геодезической задачи:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{tg} r(AB) &= \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A}; \\ \operatorname{tg} r(AC) &= \frac{Y_C - Y_A}{X_C - X_A}; \\ \operatorname{tg} r(BC) &= \frac{Y_C - Y_B}{X_C - X_B}. \end{aligned} \right\} \quad (231)$$

По разности вычисленных дирекционных углов определяют разбивочные углы β_1 и β_2 :

$$\beta_1 = (AB) - (AC); \quad \beta_2 = (BC) - (BA). \quad (232)$$

Углы β_1 и β_2 двумя полуприемами строят от линии AB и получают в натуре направления AC и BC . Разбивку можно произвести также по дирекционным углам.

Полученные направления фиксируются колышками a, a', b и b' , по которым при помощи двух шнуров находят на их пересечении точку C .

Погрешность определения положения точки прямой угловой засечкой зависит от точности построения углов β_1 и β_2 и геометрической формы треугольника ABC .

Для однократной прямой угловой засечки средняя квадратическая ошибка m_C определения точки C будет

$$m_C = \frac{m''}{\rho'' \sin \gamma} \sqrt{a^2 + b^2}, \quad (233)$$

где m'' — средняя квадратическая ошибка отложения углов

$$\begin{aligned} &\beta_1 \text{ и } \beta_2; \\ &\gamma = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2); \end{aligned}$$

a и b — расстояния от концов A и B базиса до определяемой точки C .

Исследования показали, что наиболее выгоднейшее по точности определение точки C будет получено при угле $\gamma = 109^\circ 28'$ и углах β_1 и β_2 , равных $35^\circ 16'$. Во всех остальных случаях ошибка определения положения точек на местности будет больше.

В приведенных расчетах не принята во внимание ошибка m_0 определения исходных данных. Суммарная же ошибка определения положения искомой точки C на местности способом угловой засечки будет

$$m_C = \sqrt{m_0^2 + m_C'^2}. \quad (234)$$

Способ створных засечек. Состоит в получении необходимых точек путем пересечения двух лучей, заданных по теодолиту. Он применим при разбивке

крупных зданий или сооружений в тех случаях, когда непосредственными измерениями наметить необходимые точки трудно или невозможно. Для разбивки этим способом необходима строительная сетка (рис. 141).

Для получения точек $I, 2, 3, 4$ необходимо в створе на линии строительной сетки по вычисленным размерам методом разбивки главных осей сооружений установить по теодолиту точки I, II, III, IV и I', II', III', IV' . При этом для контроля измеряется вся сторона квадрата. При наличии одного теодолита засекают точки $I, 2, 3, 4$ с установкой шпилек или вех.

Если имеется возможность работать двумя теодолитами, то, устанавливая инструменты одновременно в точках $I-III', II-III, IV-II'$ и $I-IV'$, определяют и закрепляют точки $I, 2, 3, 4$.

Если необходимы детальные разбивки, строят обноски в непосредственной близости к сооружению, на которое выносят основные оси деталей (на рисунке контур $abcd$).

§ 83. Разбивка строительных объектов от уже существующих

Разбивку новых зданий и сооружений среди существующей застройки проектируют графическим методом по топографическим планам крупного масштаба (1 : 2000—1 : 500). Ее производят от существующих зданий по данным, также полученным графически. Например, чтобы разместить здания A и B на красной линии KK (рис. 142), находят по масштабу для здания A расстояния a и b от углов существующих зданий B и $Г$ и отмечают на местности красную линию. Пользуясь размерами b и $г$, определяют положение здания A на красной линии. Для того чтобы установить на красной линии положение здания B , определяют по плану расстояния c и d от углов зданий E и $Ж$, отмечают красную линию для здания B , а по расстояниям e и $ж$ находят положение здания B на местности.

В рассмотренном примере все размеры берутся с плана. Красная линия выражена так же только графически и разбивается на местности от существующих зданий, поэтому достичь полной прямолинейности красной линии почти не удастся. Разбивка проектируемых зданий от зданий существующих связана, кроме того, со значительными погрешностями. Во-первых, имеются ошибки в графических размерах на самом плане и, во-вторых, при определении по плану расстояний $a, б, в, г, д, е, с$ и $ж$ возникает еще ряд дополнительных ошибок.

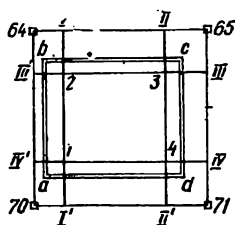


Рис. 141. Способ разбивки сооружений створными засечками.

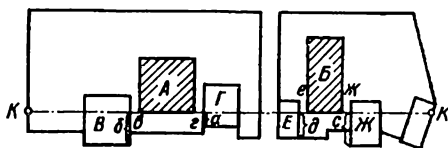


Рис. 142. Разбивка точек от предметов местности.

В тех случаях, когда здание необходимо разбивать по осям фундаментов, то оси существующего здания легко установить по ширине стен, а проектируемого — по имеющимся чертежам.

Рассмотренный способ разбивки сооружений имеет значительные погрешности и его следует применять там, где не требуется большая точность, т. е. при разбивке жилых зданий, общественных и складских помещений и др.

§ 84. Разбивка и закрепление на местности главных и основных осей сооружений

Разбивку главных осей сооружений производят после окончательного установления и закрепления в натуре красных линий.

Главные оси разбиваются в том же порядке, какой применяется при разбивке строительной координатной сетки, т. е. вначале от красных линий приближенно намечают главную ось I—I (см. рис. 43). В ее створе закладывают монолиты, имеющие в верхней части плоскую марку или металлическую пластинку толщиной 6—8 мм, на которую наносят центры близкие по положению к проектным, и высокоточными методами измеряют расстояние между ними. На основании этих измерений вычисляют координаты временных центров, сравнивают их с проектными и, в случае необходимости, вводят поправки за редукцию, после чего получают окончательное положение центра на монолите и отмечают его керном. Разбивку и закрепление оси II—II, перпендикулярной оси I—I, производят аналогичным образом.

По окончании разбивочных работ центры, намеченные на монолитах, необходимо проверить и убедиться в правильности их определения, для чего створ намеченных по осям центров проверяют инструментом с увеличением трубы не менее 30×, а расстояния между ними измеряют инварными или стальными лентами или проволоками.

Окончательно установленные на монолитах центры отмечают отверстиями диаметром 1—2 и глубиной 2—4 мм, затем через эти центры прочерчивают две взаимно перпендикулярные линии длиной 1 см.

Главные оси (в местной системе координат) принимают за координатные и совмещают начало координат этой условной системы с точкой пересечения осей. Главные оси разбивают обычно для уникальных зданий, имеющих большую площадь и сложную конфигурацию.

Основные оси, наиболее распространенные в практике строительных работ, образуют внешний контур здания. В зависимости от сложности и назначения строительного сооружения, основные оси закрепляются постоянными или временными знаками с выносом их на обноску с помощью теодолита. Для этого устанавливают теодолит точно по створу I—I, например, в точку A/I (см. рис. 43), а затем по створу A—A выставляют на крайней удаленной обноске гвоздь. В замеченном месте на доске делают тонкую прорезь и по вертикальной нити теодолита забивают в середине прорези гвоздь, а на боковой поверхности доски пишут название оси.

Затем переставляют теодолит в противоположный конец створа I—I и повторяют те же действия на противоположной стороне обноски. Таким способом на обноску будут вынесены две оси. Остальные оси находят, откладывая расстояния по верхней кромке досок обноски.

Разбивку осей делают стальной компарированной рулеткой. Работа должна быть проверена и принята по акту. Отклонения по длине и ширине здания не должны превышать допусков, установленных СНиП. Для промежуточных размеров допускаемые отклонения устанавливаются интерполяцией. Если сооружение по своим размерам достаточно велико, то одной наружной основной обноска недостаточно. В этом случае устанавливают дополнительную внутреннюю обноску (см. рис. 43).

В связи с возрастающей механизацией строительства и применением сборных конструкций роль обноски все снижается и весьма часто она служит лишь для разбивки осей.

Надежным и распространенным способом закрепления разбивочных осей, там где это возможно, является метод откраски. Выполняется он следующим образом. Пусть на местности разбиты основные оси A—A; Г—Г; I—I и б—б здания (рис. 143, а). Тогда устанавливают теодолит на одном из концов оси, например, в точке A/I, визируют на другой конец той же оси (точку A/6) и в таком положении закрепляют лимб и алидаду. Вращая зрительную трубу в вертикальной плоскости, проектируют ось A—A при двух положениях трубы на обноску и на створные знаки.

Если при этом окажется, что в поле зрения в направлении проектируемой оси видно какое-либо здание или сооружение, то закрепляют створ оси и откраской.

Для этой цели к намеченному зданию или сооружению наблюдатель посылает помощника, который на целесообразно выбранной высоте отмечает карандашом на стене здания две точки a и a' (рис. 143, б), расположенные по вертикали на расстоянии 15—20 см одна от другой и фиксирующие след визир-

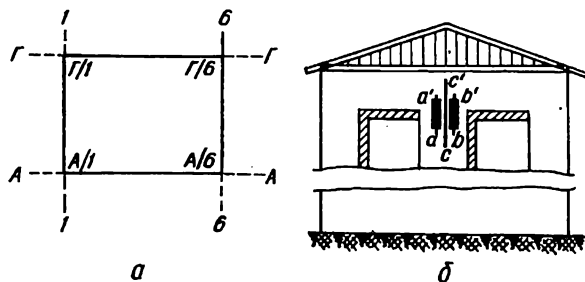


Рис. 143. Разбивка и закрепление в натуре осей сооружений.

ной оси при одном положении зрительной трубы (КП или КЛ). К этим точкам прикладывают линейку и прочерчивают тонкую черту $a-a'$. Затем наблюдатель переводит трубу через зенит, вновь визирует на конец оси точку $A/6$ и вновь проектирует визирную плоскость на стену выбранного здания. Помощник по его указанию отмечает след этой плоскости (иначе говоря, след оси $A-A$) точками $b-b'$, также прочерчивая между ними прямую линию. Окончательное положение следа оси $A-A$ на стене здания фиксируется чертой — риской $c-c'$, занимающей среднее положение по отношению к рискам $a-a'$ и $b-b'$.

Остается лишь закрепить след оси краской. Для этого риску $c-c'$ ярко прочерчивают цветным карандашом, а с обеих сторон риски на равном расстоянии от нее яркой несмывающейся краской, отличающейся по цвету от фона стены здания, рисуют две широкие полосы — откраски створа оси. Размеры линий откраски выбирают сообразуясь с ее удаленностью от возможных станций визирования с тем, что откраска должна быть видна в трубу теодолита резко очерченной.

После этого наблюдатель устанавливает теодолит на другом конце оси в точке $A/6$, визирует на противоположный конец оси точку $A/1$, выбирает объект для откраски оси и повторяет все описанные ранее действия.

§ 85. Установка и закрепление геодезических пунктов на строительной площадке

На строительной площадке геодезические точки могут закрепляться временными или постоянными знаками как наземными, так и стенными. Временные закрепления точек необходимы для выполнения текущих операций: геодезических измерений, установки сборных конструкций, исполнительной съемки возведенной части сооружения. Постоянным закреплением точек преследуют цель длительной сохранности исходных данных для геодезического обеспечения строительных и монтажных процессов по всем циклам возведения сооружений, а также при наблюдении за деформацией инженерного сооружения в период его эксплуатации.

В качестве временных знаков применяют деревянные столбы и колья, металлические штыри, обрезки газовых труб, костыли и кованые гвозди. Часто геодезические точки обозначают масляной краской на твердых поверхностях

площадок и сооружений. Постоянными знаками служат наземные металлические и бетонные знаки с якорем (грунтовые знаки), стенные реперы и марки, обозначения насечкой, накерновкой или нарезкой на жестко закрепленных конструкциях. В качестве постоянных знаков служат также заделанные в бетон металлические скобы и пластины, поверхностные марки, забитые при помощи строительно-монтажного пистолета дюбели разных размеров или закрепленные дюбелями в стенах и на колоннах знаки специальной конструкции (стенные знаки). Постоянные знаки обычно имеют плановые координаты и высотные отметки. Часть геодезических точек (главным образом пунктов строительной разбивочной сетки) закрепляют более капитальными знаками, используя для этого либо полигонометрический знак, либо бетонируя столб с якорем, металлический стержень, омоноличенный в основании и у поверхности земли. Некоторые знаки ограждают обноской или устанавливают над ними специальные металлические пирамиды высотой 3—4 м, с которых можно вести и геодезические наблюдения.

Для обеспечения устойчивости пунктов высотной сети на территории промышленного объекта устанавливают фундаментальные глубинные реперы (см. рис. 131, е) и рабочие реперы, а также закладывают стенные реперы и марки в капитальных зданиях, осадка которых прекратилась.

Выбору места установки, глубины заложения и конструкции исходных реперов уделяют большое внимание, так как крайне необходимо сохранить неизбыточными знаки реперов (чаще куста из трех реперов) в течение всего периода строительства. Со временем, в результате наблюдений за осадками строящихся сооружений, предусмотренных СНиП, выявляется стабилизация осадок некоторых сооружений. В дальнейшем геодезические знаки, заложенные в таких сооружениях, могут служить исходными реперами при производстве строительных и монтажных работ на смежных участках.

По мере застройки следует закладывать стенные знаки совмещенного типа и на их центры передавать координаты от ближайших пунктов строительной разбивочной сетки. Тогда в дальнейшем отпадает необходимость в сохранности наземных знаков и представится возможность для более свободного маневрирования строительных механизмов.

Знак типа стенового репера с полочкой (см. рис. 131, б) служит одновременно плановым и высотным пунктом. Последний закладывают так, чтобы продольная геометрическая ось его занимала горизонтальное положение. Тогда полочка длиной 5—7 мм на свободном крае будет выше наклонной части и, следовательно, составит рабочую часть. В середине рабочей части полочки просверливают отверстие диаметром 1,5—2 мм для обозначения планового положения центра знака.

Стенные знаки за последние годы находят все большее применение не только для закрепления высотных пунктов, но и плановых. Они наиболее устойчивы и долговечны, не требуют специального геодезического надзора за их состоянием. Область применения стеновых знаков (или заменяющих их обозначений на конструктивных элементах) в условиях любых застроенных участков достаточно широка.

Существенное место в геодезической практике занимают способы и наглядность обозначения точек и линий на сооружениях в процессе производства геодезических работ. Чрезвычайно важно по возможности простыми средствами оформлять и точно фиксировать определяемые точки.

На металлических конструкциях центры могут быть обозначены крестообразной насечкой острым зубилом, прочерчиванием рисок, накерновкой, записыванием: номер точки выбивают с помощью пунсона на лицевой и боковой поверхности знака и соответственно внешне оформляют.

Стены, бетонные поверхности колонн, опор и панелей довольно ровные и гладкие, поэтому на них очень удобно стойкой масляной краской наносить обозначения данных геодезической разбивочной сети — створы осей колонн, вспомогательные разбивочные оси и линии, высотные отметки.

Наглядность оформления геодезических точек возрастает в большей мере, если создается фон путем сплошной окраски небольших размеров равностороннего треугольника, квадрата или окружности (см. рис. 131, б), в середине которых

обозначают центр знака. На свободном поле фона можно выпisać номер знака и его координаты. Это весьма упрощает подготовку к разбивочным работам и пользование в дальнейшем геодезическими данными непосредственно в натуре.

Конструкция глубинного репера (см. рис. 131, в) представляет собой две колонны из металлических труб, опущенных в буровую скважину. Внутреннюю трубу репера устанавливают в неснимаемом слое грунта (известняка) для фиксирования неизменяемого высотного положения точки, относительно которой измеряют осадки фундаментных плит.

Наружная труба глубинного репера при помощи сальника устраняет появляющееся с течением времени заиливание пространства между трубами, что могло бы служить причиной передачи на внутреннюю трубу смещений наружных труб, вызываемых деформациями грунтов.

У поверхности земли реперную трубу устанавливают в кирпичном колодце, специально изолируемом от промерзания.

Кроме этого, для определения вертикальных перемещений фундамента на нижней и верхней плите его устанавливают марки специальной конструкции двух типов: плитные и потайные, являющиеся основными точками для измерения осадок.

Плитная марка (см. рис. 131, г) представляет собой металлическую заклепку со сферической головкой диаметром 16—20 мм и длиной стержня 50—80 мм, заделанную в плиту.

Потайные марки закрытого типа устанавливают во время бетонирования колонн каркаса здания. Эти марки можно использовать также для определения линейных смещений каркаса.

Конструкция марки закрытого типа (см. рис. 131, д) представляет собой металлическую трубу диаметром 30—50 и длиной 150 мм, имеющую в хвостовой части приваренные зубцы; металлическая труба закрывается крышкой, устанавливаемой заподлицо со стеной здания. На время наблюдений крышку снимают и в отверстие трубы вставляют установочный шаровой болт для наблюдения.

Марки располагают в различных точках фундамента, преимущественно там, где ожидаются максимальные осадки его. Общее число таких марок, используемых для измерения осадок, достигает для одного здания 150—200.

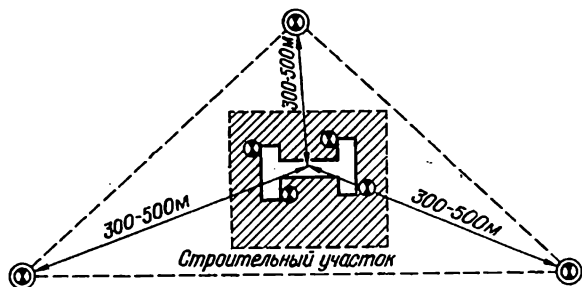


Рис. 144. Схема расположения опорных реперов.

Для измерения осадок применяют высокоточное нивелирование, дающее возможность определить вертикальные перемещения фундамента под действием собственного веса и веса находящегося на нем здания.

Весь цикл наблюдений проводится в течение ряда лет (ориентировочно 3—4 года). Первый год наблюдения ведут часто: примерно через 15 дней, затем через месяц, через три месяца и через полгода.

При наличии резких изменений по высоте, порядка 3—5 мм, наблюдения ведут по мере надобности. При наличии небольших, но неравномерных осадок

сооружения может возникать необходимость организации наблюдений по специальной программе, установленной для данного вида сооружений.

Примерная схема расположения нивелирных реперов, рекомендуемая для наблюдения за осадкой, приведена на рис. 144.

Более подробному рассмотрению вопросов наблюдения за деформацией сооружений посвящена глава VI.

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА

§ 86. Разбивка котлованов

Котлованы траншейного типа могут быть с отвесными стенками без крепления или с креплением. При больших глубинах, в зависимости от свойств грунтов, траншеи отрывают с откосными стенками.

Если оси здания вынесены на обноску, то от нее разбиваются оси фундаментов, обозначая на местности контуры фундамента. Для этого с помощью отвесов переносят на землю оси фундаментов и закрепляют их кольями. Вправо и влево от этих осей отмеряют половину ширины котлована и также закрепляют кольями, между ними протягивают шнур, обозначающий контуры котлована.

Ширина котлована обычно задается несколько больше ширины фундамента. Это делается для того, чтобы была возможность установить опалубку. Если фундамент будет заложен без опалубки, то уширять его не следует. Ширину котлована перед разбивкой необходимо определять совместно со строителем данного объекта.

В ходе земляных работ глубина котлована проверяется визирками. Излишняя выемка грунта недопустима, так как это нарушает естественную структуру грунта, что впоследствии может привести к появлению трещин в фундаменте и самом сооружении.

Перед зачисткой котлована дно его нивелируют. Рейку устанавливают в точках пересечения осей и не реже чем через 4—5 м между нивелируемыми пикетажными точками. При этом отклонение глубины котлована от проекта в сторону увеличения допускается не более 5—7 см. Правильность отметок дна котлована можно проверять по отвесам, которые передвигаются по шнуру или проволоке, натянутой на обноске по оси котлована.

Для этого необходимо изготовить деревянную линейку длиной, равной ширине фундамента или котлована. На линейке делается небольшая зарубка или отметка краской на расстоянии, равном расстоянию от оси до каждой грани котлована при несимметричных фундаментах, а при симметричных — на середине линейки. Сделанная зарубка будет нулевой. От нее в обе стороны наносятся деления (рис. 145).

Перед натяжением проволоки необходимо проверить ранее намеченные оси.

В случаях, когда применение визирок невозможно, при разработке дна котлована пользуются отметками, вынесенными на временные знаки, которые установлены на стенах котлована.

Если грунты устойчивы, для этой цели могут быть использованы колья, вбитые в стены котлована по нивелиру на одном горизонте. На неустойчивых грунтах отметки выносят на затесках стоек креплений.

На них вбивают гвозди и краской отмечают условный горизонт. Здесь же пишут значение отметок или расстояние до проектной отметки дна котлована.

С помощью таких знаков следят за выемкой грунта и производят подчистку дна котлована.

При рытье котлована с помощью землеройной машины по оси трассы через каждые 10—15 м забивают колья, которые при подходе машины последовательно снимают по одному. Выемка грунта делается с недобором 10—15 см. После окончания земляных работ по всей трассе производится разбивка осей

колонн, выносятся отметки низа фундаментов на обноску, а затем делается подчистка грунта до проектной отметки. После установки фундаментов весь котлован засыпается.

Данные окончательной нивелировки наносятся на схему, на которой, кроме полученных отметок, выписываются проектные; материалы сдаются назначенному начальником строительства ответственному лицу.

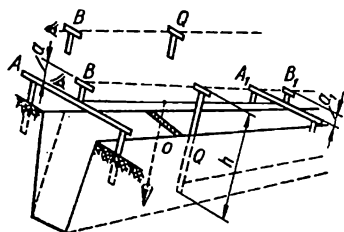


Рис. 145. Подготовка котлована при помощи пришивных и ходовых визирок:

A, A_1 — обноска колодца соответственно первого и второго; B, B_1, Q — визирка соответственно неподвижная пришивная и ходовая; a и a_1 — возвышение неподвижной визирки над доской обноска.

Над размерными линиями схемы выписываются расстояния между отметками. К схеме прикладывается также ведомость отметок.

§ 87. Проектирование осей на дно котлована и подготовка оснований под фундаменты

При работе с обноской оси фундаментов передаются на основание (дно котлована) в такой последовательности. На обноске между точками $I—I, A—A$ (рис. 146) и другими точками, обозначающими на полочках 1 продольные и поперечные оси фундаментов здания, натягивают тонкую проволоку и опускают проволочные оси 2. В точках их пересечения подвешивают отвесы 3, при помощи которых оси фундаментов проектируют на дно котлована и закрепляют точки пересечения осей 4 стальными штырями 5.

Затем от угловых точек на продолженных направлениях осей откладывают в обе стороны половину ширины подошвы фундаментных подушек. В найденных точках также забивают стальные штыри 6.

Между этими штырями натягивают тонкую бечеву или проволоку 7, на высоте подушки фундамента, и получают грани фундаментных подушек.

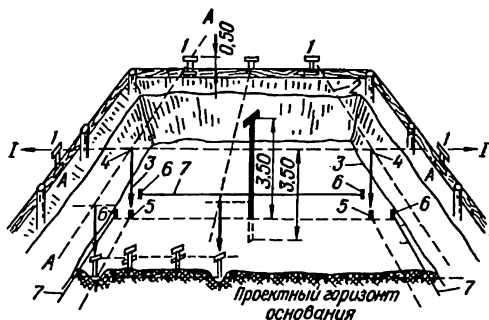


Рис. 146. Проектирование осей на дно котлована.

В глубоких котлованах обноску устраивают на дне котлована по линиям, отстоящим от наружных граней фундаментов не менее чем на 0,6 м, соблюдая максимальную параллельность линий обноска осей здания.

На эту глубину с помощью теодолита, последовательно устанавливаемого над створными осевыми знаками, наклонным лучом передают основные оси. Затем тщательно измеряют компарированной стальной рулеткой с миллиметровыми делениями расстояния между рисками спроектированных основных осей, тщательно укладывая рулетку (желательно 50-метровую) по верхним граням горизонтально прибитых досок обноска.

Для подготовки оснований под фундаменты необходима тщательная планировка грунта основания; часто для этого укладывают специально подготовленный слой из песка или бетона.

Горизонтальность подготовленной площадки производитель работ выверяет с помощью нивелира и рейки, под пятку которой при установке ее на площадку подкладывают пластинку из тонкой фанеры или жести.

В завершение работ по разработке котлована и траншеи должна быть произведена исполнительная съемка их и нивелировка с составлением исполнительных чертежей, на основе которых производится приемка выполненных работ с составлением акта.

На исполнительном чертеже показывают: основные и дополнительные оси, перенесенные на дно котлована; фактическое расстояние между продольными и поперечными основными осями, полученное при контрольных промерах стальной компарированной рулеткой; размеры дна котлована, полученные промерами от основных осей до подошвы откосов; отметки дна котлована; отметки подготовки под фундаменты через 5 м по осям лент; проектную отметку подошвы фундамента, а также отклонения фактических отметок подготовки, которые не должны превышать 20—30 мм.

§ 88. Разбивка траншей и смотровых колодцев для подземных сетей инженерных коммуникаций

Разбивка начинается с установки по данным привязок прочных кольев с центрами на месте будущих смотровых колодцев. Колодцы устанавливаются на поворотах трассы, в местах ответвлений и отводов к отдельным потребителям и других местах в соответствии с проектом. Особо на трассе необходимо отмечать и заносить в схему разбивки пересечение водопровода с другими трассами подземных коммуникаций.

Точки, установленные на поворотах трассы, привязываются к постоянным зданиям, точкам строительной сетки или предметам на местности (по методу линейных засечек). Если таковых не имеется, то устанавливают для этой цели особые прочные столбы.

При всех точках необходимо установить сторожки с показанием номера колодца, а в разбивочной схеме (абрисе) сделать зарисовку, указать привязки и назначение колодца. Например, колодец № 5 — поворот трассы влево; колодец № 2 — пожарный гидрант. В высотном отношении трасса привязывается к двум особо устойчивым реперам, специально установленным на строительной площадке. Разбивка производится по теодолитному ходу с точностью не менее 1:2000, а нивелирование трассы — по программе технического нивелирования. После разбивки намеченного для укладки отрезка трассы над центрами колодцев устанавливается обноска. Она состоит из двух столбов диаметром не менее 15 см, зарываемых в землю на глубину 1 м и в 1 м от краев будущей траншеи. Высота столба 80 см от поверхности земли.

На высоте 70 см к столбам пришивается горизонтально по уровню или нивелиру обрезная доска толщиной 40—50 мм. На верхнее ребро доски по отвесу выносятся центр колодца, который отмечается забивкой 100-миллиметрового гвоздя с оставлением на поверхности 2 см для привязки проволоки (рис. 147).

На горизонтальной доске масляной краской надписывается номер колодца, отметка дна колодца по проекту, отметка центра на обноске, диаметр прокладываемой трубы и отметка верха ее. Если в колодце меняется диаметр труб, то пишут оба диаметра в виде дроби: в числителе — меньший, в знаменателе — больший.

При рытье траншей до проектной глубины и по заданному уклону к доскам обносок пришивают так называемые неподвижные визирки (пришивные), изготовленные из 25-миллиметровой доски шириной не менее 20—25 см и длиной 40—50 см. Наверху кромка доски стесывается и в ней делается прорез, соответствующая оси труб для пропуска проволоки, натягиваемой на гвоздях. Скошенные кромки неподвижных визирок устанавливаются строго горизонтально. Нивелированием IV класса определяются их отметки. Последующие визирки пробиваются так, чтобы линия, соединяющая кромки визирок, была

параллельна проектному дну трубопровода. Для этого превышение одной визирки над другой должно быть равно проектному падению коллектора, в пределах двух визирок или в пределах двух колодцев, над которыми стоят обноски с неподвижными визирками.

Для получения в натуре дна траншеи необходимо изготовить ходовую визирку, равную длине перпендикуляра между плоскостями, параллельными уклону коллектора, и плоскостью уклона, созданной неподвижными визирками. Такая визирка служит для наблюдения за глубиной траншеи в вертикальной

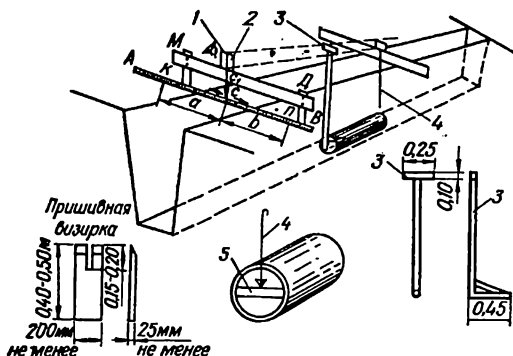


Рис. 147. Схема устройства обноски:

1 — прорезь для пропуска проволоки или струны при укладке труб; 2 — неподвижная или пришивная визирка; 3 — ходовая визирка; 4 — отвес; 5 — центр шаблона; А, В — фиксированные точки на концах мерного прибора; МД — поперечная доска обноски на двух столбах; с — центр колодца по разбивке; с₁ — гвоздь на обноске центра колодца, вынесенного по отвесу; к, п — колья (выноски) на определенном расстоянии а и b от центра колодца.

плоскости. Она состоит из жесткой рейки с прибитой сверху к ней строго перпендикулярно планкой длиной 25 и шириной 10 см. Снизу ходовая визирка заканчивается башмаком длиной 45 см. В поперечном сечении башмак имеет заглубленную форму. Для земляных работ применяется визирка без башмака. Башмак прикрепляется к рейке под прямым углом. Сущность процесса визирования заключается в том, что верх подвижной визирки приводится наблюдателем к одной плоскости со скошенными кромками неподвижных визирок. При этом подвижную визирку необходимо поддерживать в перпендикулярном положении.

Выноска центров колодцев делается следующим образом. По направлению будущей обноски (горизонтальной доски) через центр колодца (колышек, установленный при разбивке) натягивают 20-метровую ленту или рулетку, чтобы средний показатель мерного прибора совмещался с центром колышка колодца (см. рис. 147). По обе стороны от него на некотором расстоянии забивают прочные колья. Расстояния по обеим сторонам от центра до новых кольев могут быть и не равными, но такими, чтобы установленные колья не были повреждены канавокопателем. На выноску составляется схема, на которой выписываются номер колодца и расстояние от центра до обеих выносок. Расстояние по выноскам полезно отмерять в целых метрах. По окончании работы канавокопателя отыскивают выноски, натягивают ленту между точками А и В (см. рис. 147), а затем откладывают от среднего штриха ленты расстояния а и b, и если находят по этим отмерам точки к и п, то строят обноску, а затем пришивают визирку и выносят центр колодца по отвесу с ленты на верхнее ребро обноски, закрепляя его гвоздем в точке с₁. Затем нивелируют вынесенный центр колодца на обноску, а также кромку пришивной (неподвижной) визирки нивелированием IV класса от исходных реперов на площадке, делают необходимые надписи на доске обноски и сдают работу ответственному строителю для окончательной подчистки дна траншеи. Затем техническим нивелированием нивелируют дно, составляется его профиль и начинают укладку труб.

Выемка грунта в котлованах и траншеях ниже проектных отметок сверх установленных проектом норм не допускается.

Не допускается также и недобор грунта в траншеях сверх установленных проектом допусков.

Укладка труб по вертикали производится при помощи визирок, а по горизонтали — по подвижным отвесам, на проволоке, протянутой между центрами колодцев, вынесенными на обноски. Расстояние между обносками не должно превышать 30 м.

Для более точной укладки труб по оси (по подвижным отвесам), в особенности труб большого диаметра, необходимо изготовить шаблон, который представляет собой деревянную рейку длиной, равной диаметру труб. На расстоянии, равном половине диаметра трубы, посередине между ребрами рейки под прямым углом вбивается 100-миллиметровый гвоздь до половины длины. Шаблон вставляют в трубу приближенно горизонтально.

Трубы на неустойчивых грунтах укладываются на особых фундаментах. Установка фундаментов производится на определенных отметках по проекту соответственно геологическим условиям.

При разбивках на местности не следует пользоваться планами и профилями, полученными от проектного отдела, так как это ведет к быстрому изнашиванию их. Взамен этого рекомендуется делать из плотной бумаги соответствующие тетради (абрисы), на которых составляются схемы предстоящих разбивок со всеми цифровыми данными. В таких тетрадях записывают также отклонения от проекта, возникшие при строительстве.

§ 89. Геодезические разбивочные работы при сооружении фундаментов

Ленточные фундаменты. Разбивка при сооружении фундаментов аналогична разбивке при рытье котлованов. Но повышенная точность строительства фундаментов требует от разбивки их еще большей точности.

Монтаж сборных железобетонных фундаментов начинается после приемки подготовленного основания, в результате которой убеждаются в его соответствии рабочим чертежам. Часто монтаж фундаментов производят с помощью башенных кранов, перемещающихся по рельсовому пути. Поэтому сначала производят геодезические работы по устройству подкрановых путей, а затем разбивают их оси, вынося в натуру конечные точки осей по данным рабочим чертежам, на которых эти точки привязаны линейными промерами к осям сооружений. Затем от вынесенных осевых точек в перпендикулярном направлении в обе стороны от оси откладывают половину ширины колеи и отмечают прочными кольями конечные точки обеих ниток пути.

После этого с помощью нивелира и рейки контролируют горизонтальность площадки, подготовленной для укладки шпал.

В процессе сборки подкрановых путей, укладки рельсов и крепления их к шпалам нивелированием проверяют горизонтальность головок рельсов по обеим ниткам путей, строгую параллельность осей обеих ниток (промерами стальной рулеткой) и расположение головок рельсов в одной горизонтальной плоскости. Отклонение ширины колеи от проектной и отклонение отметок головок рельсов от горизонтальной плоскости не должны превышать для башенного крана таких допусков:

разность отметок головки одного рельса в точках на расстоянии 10 м ± 20 мм;

разность отметок головок рельсов пути в одном поперечном сечении ± 5 мм;

отклонение ширины колеи в каждой нитке пути от проектной ширины ± 3 мм;

отклонение расстояния между осями обеих ниток от проектного расстояния ± 10 мм.

В последующем при эксплуатации башенных кранов следует периодически проверять состояние подкрановых путей, особенно в периоды оттаивания грунтов, для чего необходимо проверять расстояние между осями путей и производить контрольное нивелирование головок рельсов.

Монтаж ленточных фундаментов начинают с укладки фундаментных блоков на углах здания, а затем блоков промежуточных, укладываемых через 15—20 м в местах пересечения стен.

Эти блоки служат маячными и положение их по осям и горизонту должно быть очень тщательно выверено.

Отдельные фундаменты под колонны. Разбивка фундаментов колонн каркасных сооружений делается под каждую колонну отдельно. Оси сооружений закрепляются на выносках знаками постоянного типа, от которых переносятся на обноски и опалубки фундаментов.

Поперечные оси фундаментов откладываются на обносках, закрепляются гвоздями и краской.

Если строящийся объект имеет значительную длину или ширину, то для уменьшения провисания проволоки устанавливают промежуточные обноски. Перед установкой опалубки на ее верхних ребрах красной или другой масляной краской наносят оси опалубки. Если она невелика по ширине и длине, то по намеченным осям прикрепляют две взаимно перпендикулярные рейки, которые снимают после установки опалубки (рис. 148).

На наружной поверхности опалубки краской прочерчивают уровень бетонирования.

При установке опалубки фундаментов колонн необходимо обращать особое внимание на отметку и строгую горизонтальность места опирания колонны, т. е. дна стакана.

При установке железобетонных колонн дно стаканов бетонируется на 50 мм ниже проектной отметки, а зазоры после установки заливаются бетоном.

После бетонирования в несхватившийся бетон по нанесенным на опалубке осям устанавливают закладные детали и анкерные болты, на которые после полного схватывания бетона переносятся разбивочные оси колонн.

После затвердения бетона на закладные части наносят окончательные оси от основных и высотные отметки от исходного репера. Дно углублений фундаментов (стаканов) нивелируется по всем углам и посередине. По насечкам на фундаментах проверяются расстояния между осями.

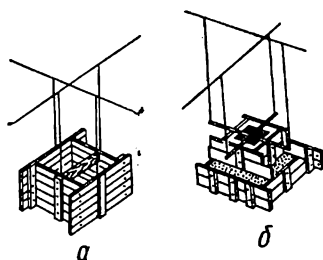


Рис. 148. Схема установки опалубки под отдельные фундаменты:
а — по рискам на гранях; б — по рейкам.

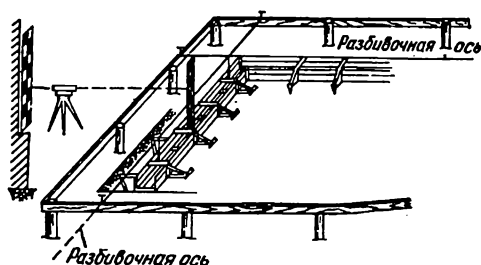


Рис. 149. Опалубка под монолитные фундаменты.

Когда фундаменты стаканного типа устанавливают не в отдельных, а в сплошных котлованах, на необходимую высотную отметку устраивается бетонная подготовка. Фундаменты устанавливаются по осям, намеченным на них снизу, и на подготовке.

После окончательной проверки составляется исполнительная схема, на которую наносятся данные измерений и отметок. Затем разбивки сдают строительной организации.

Монолитные фундаменты. Их сооружение начинают с устройства опалубки корытообразной формы для укладки арматуры и бетона. Опалубку под фундаменты укладывают в строгом соответствии с проектными разбивочными осями

здания. Для этого между осевыми рисками, нанесенными на обноске, или между осевыми створными знаками натягивают тонкую проволоку, в точках ее пересечения подвешивают на проволоку отвесы и проектируют оси фундаментов в котлован. Осевая линия корыта опалубки, отмеченная рисками на «схватках», должна совпадать с линией, образованной отвесами (рис. 149).

На опалубку после ее выверки выносят проектную отметку верхнего обреза фундамента, чтобы можно было следить за правильностью укладки бетона до проектной отметки. Для этого используют тот же метод расчета высоты проектной рейки.

Если поверхность фундамента должна быть строго горизонтальной, то для проверки этого условия в бетон вставляют штыри-маяки, торцы которых устанавливают под проектную отметку нивелированием, а поверхность бетона затирают по торцам маяков.

По окончании бетонирования фундамента выполняют исполнительную нивелировку и составляют исполнительную схему. На схеме показывают положение проектных осей фундамента, величины отклонений фактических осей (в миллиметрах) в местах их пересечения, фактические отметки верхнего обреза фундамента.

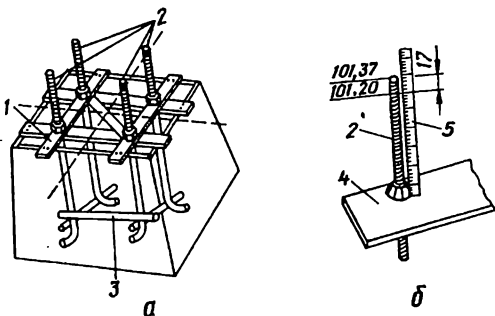
Фундаменты под металлические колонны. Разбивка фундаментов под металлические колонны аналогична разбивке отдельных фундаментов под колонны. Дополнительной работой в данном случае является установка анкерных болтов, которые устанавливаются с помощью специальных кондукторов, прочно прикрепленных к опалубке фундамента. Эти же кондукторы используют для установки закладных деталей.

Установка анкерных болтов для металлических колонн является одной из ответственных и точных работ, выполняется она при помощи шаблона (кондуктора).

Простейший шаблон под колонны с небольшой нагрузкой можно изготовить из прочных деревянных досок, неподвижно скрепленных между собой и с опалубкой. Под колонны со значительной нагрузкой вместо деревянных шаблонов изготовляют стальные (рис. 150).

Рис. 150. Установка анкерных болтов при закреплении металлических колонн:

а — общий вид; *б* — проверка болтов по высоте; 1 — шаблон (кондуктор); 2 — анкерные болты с гайками; 3 — крепление анкерных болтов снизу; 4 — доска шаблона; 5 — миллиметровая линейка.



При установке анкерных болтов очень важно, чтобы шаблон был прочно прикреплен к опалубке и не деформировался, а сама опалубка изготовлялась из прочного материала и надежно закреплялась в котловане. Отверстия для анкерных болтов шаблона должны соответствовать в плане отверстиям на башмаке колонны.

Согласно требованиям СНиП III-В. 5—62, точность установки анкерных болтов в плане ± 5 , а по высоте ± 20 мм.

На шаблонах прочерчиваются оси, соответствующие осям на опалубке. Оси шаблонов и опалубки должны совмещаться.

Высотная установка болтов до проектной отметки производится при помощи нивелирования. Причем, приблизительно установленные болты нивелируют от исходного репера. Затем при помощи миллиметровой линейки определяют, на

какую высоту необходимо приподнять или опустить болты, т. е. определяют разницу между проектной и фактической отметкой.

Пример. Проектная отметка болта 101,2, а фактическая — 101,37 м. Значит, болт необходимо опустить на 17 см. Приставив линейку к болту и заметив деление на его высоте, регулировочной гайкой опускают болт на 17 см. Получают проектную высоту верха. Заметим, однако, что для получения проектной высоты бетона необходимо учесть толщину досок шаблона.

После окончательной установки болтов по высоте их сваривают между собой кусками арматурного железа и бетонируют фундамент. Укладка бетона дна котлована производится приблизительно на 50 мм ниже проектной отметки. Это облегчает последующую установку колонны.

Во время укладки бетона возможно смещение всей опалубки. Поэтому немедленно после укладки необходима проверка осей, вынесенных на опалубку и шаблон. Если замечено смещение на величину более 5 мм, то шаблон с анкерными болтами должен быть передвинут в положение, соответствующее разбивочным осям. После затвердевания бетона гайки и шаблон снимают, болты нивелируют, а по полученным отметкам у их основания в полузатвердевший цементный раствор вбивают на проектную отметку небольшие гвозди, по которым производится затирка поверхности опирания башмака колонны.

Замеры по высоте при установке гвоздей делают миллиметровой линейкой аналогично замерам при установке шаблона. По нивелиру достаточно установить 2—3 гвоздя. Остальные гвозди можно установить при помощи линейки и уровня.

Разбивочные оси стальных колонн, так же как и железобетонных, должны закрепляться на металлических деталях, забетонированных в тело фундамента вне контура опоры конструкции.

Отклонения от проектных размеров по осям и отметкам должны быть внесены в специальную ведомость, прилагаемую к акту приемки фундаментов.

К ведомости должна быть приложена также схема расположения фундаментов, на которую наносят отклонения их от проектного положения. Если фундаменты возведены до проектной отметки подошвы колонны, то в ведомости и в схеме производятся замеры уклона поверхности опоры.

Величины допускаемых отклонений при устройстве мест опирания для стальных конструкций и допускаемые отклонения при монтаже их согласно СНиП III-В. 5—62 по высоте равны $\pm 1,5$ мм.

§ 90. Разбивочные работы при устройстве подвальной части здания

Перед монтажом блоков стен подвала с помощью нивелира и рейки проверяют горизонтальность верхней поверхности фундаментных блоков, а затем, пользуясь теодолитом или проволокой, натянутой по осям, и отвесами, проверяют правильность вынесения на эту поверхность осей. Размечают места установки угловых и промежуточных маячных блоков, руководствуясь данными рабочего чертежа.

Затем приступают к монтажу промежуточных блоков, начиная от углового. Выверяют горизонтальность верхней плоскости очередного ряда блоков с помощью нивелира и реек.

По окончании монтажа блоков стен подвала до укладки блоков цоколя разбивают оси и намечают места укладки каждого цокольного блока. Поверхность уложенных блоков цоколя нивелируют и определяют фактические отметки верхней плоскости цокольных блоков, уложенных через 3—5 м по периметру здания. При укладке панелей или плит перекрытия над подвалом посредством нивелирования наблюдают за тем, чтобы верхняя плоскость укладываемого элемента совпадала с плоскостью элементов, ранее уложенных.

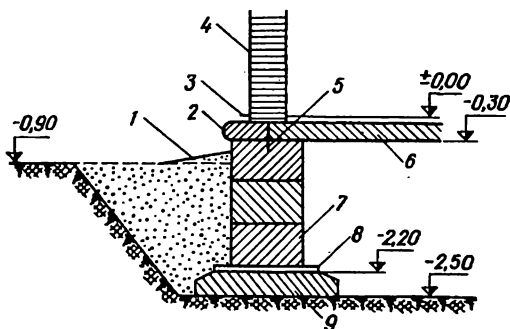
§ 91. Вынос и закрепление проектных осей и нулевого горизонта на цоколь здания

Завершающей стадией геодезических разбивок при работах подземного (нулевого) цикла следует считать процесс вынесения осей наружных и внутренних стен, а также нулевого горизонта на цоколь возводимого здания.

Выносят оси на цоколь здания с помощью теодолита, установленного на одном конце оси и ориентированного по центру знака, расположенного на другом ее конце. Следы проекций осей на возведенном цоколе здания отмечают отрасками.

Рис. 151. Основные блоки подвальной части здания:

1 — отмостка; 2 — цокольный блок; 3 — риска нулевого горизонта; 4 — стеновой блок 1-го этажа; 5 — осяевая риска стены здания; 6 — плита перекрытия; 7 — блоки стен подвала; 8 — изоляция над фундаментным блоком; 9 — фундаментный блок.



Вынесение нулевого горизонта на цокольную часть здания производят обычным методом — по горизонту инструмента и расчету высоты проектной рейки. Однако следует учесть, что действительный горизонт вынести на цоколь здания невозможно, так как горизонт чистого пола первого этажа всегда расположен выше цоколя и перекрытия над подвалом примерно на 8—10 см. Поэтому на цоколь выносят некоторый условный горизонт, находящийся ниже нулевого на целое число десятков сантиметров.

На рис. 151 показано взаимное расположение основных блоков: фундаментного (блок-подушка), блоков стен подвала, цокольного, плиты перекрытия и стенового блока первого этажа; даны примерные их отметки. Из рисунка видно, что действительный нулевой горизонт может быть вынесен лишь на стеновой блок первого этажа.

§ 92. Составление исполнительной схемы подвальной части здания

Завершением нулевого цикла строительства должна явиться исполнительная схема плано-высотного положения конструкций подвальной части здания (рис. 152). Эту схему составляют на основе исполнительных съемок и нивелировок смонтированных конструкций подвальной части здания, проводимых в технологической последовательности монтажа. В частности, например, для типовых крупнопанельных 9-этажных жилых зданий серии I-515 и I-510 с продольными несущими стенами необходимо фиксировать отметки на трех горизонтах:

- 1) заложения фундамента (отметка подготовки под фундаментные блоки);
- 2) верха гидроизоляции над фундаментными блоками;
- 3) верха армобетонного пояса и настила (верха цокольных блоков) или верха цокольных панелей и плит перекрытия (на каждой плите даются четыре отметки по углам) в зависимости от конструкции здания.

В точках 1, 2, 3 и 4 (см. рис. 152) определяют отметки для всех горизонтов. На третьем горизонте кроме того определяют отметки во всех пересече-

ниях осей зданий и посредине между осевыми точками в направлении продольных (длинных) осей.

На рис. 152, б точки третьего горизонта показаны выносками.

Отклонения фактических отметок от проектных не должны превышать, мм: для оснований ± 20 ; гидроизоляции ± 10 и цоколя ± 5 .

На исполнительной схеме необходимо отразить фактическое положение осей здания с указанием величин смещения внутренних стен и цокольных блоков от разбивочных осей. Кроме того, на схеме должны быть показаны габариты и прямоугольность здания по основным осям.

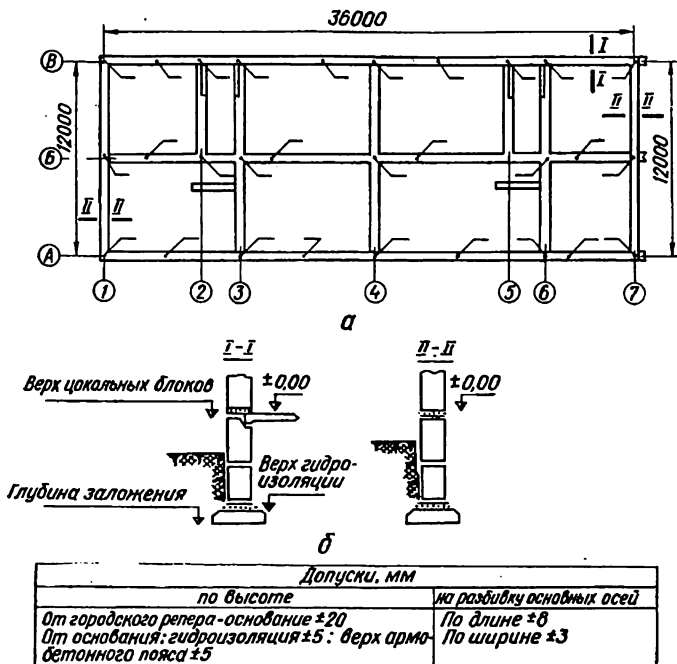


Рис. 152. Исполнительная схема подземной части здания.

Прямоугольность здания проверяется промером диагоналей его частей, например, частей между осями 1—7 и 7—13.

Размеры прямоугольников, образованных осями А—А, В—В, 1—1, 7—7, составляют 12×36 м.

Следовательно, диагонали должны быть равны 37,933. Для измерения диагоналей таких размеров следует применять 50-метровую стальную рулетку с миллиметровыми делениями. Отклонение фактического размера диагонали от ее проектного значения не должно превышать ± 5 мм (порядка 1 : 8000).

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ НАДЗЕМНОЙ ЧАСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

§ 93. Общие положения

Перед началом монтажа надземной части здания необходимо: 1) произвести геодезическую проверку осей наружных и внутренних стен и нулевых горизонтов, вынесенных на цоколь здания при строительстве подземной части здания; 2) осмотреть сохранность геодезических знаков, закрепляющих на

местности основные оси здания (створные знаки и откраски), и реперов основной нивелирной сети, послуживших исходной опорой для высотных разбивок при нулевом цикле работ, и 3) проверить горизонтальность поверхности перекрытия над подвалом, а также соответствие этой поверхности проектному горизонту.

Результаты проверки указанных геодезических работ, завершающих подземный цикл строительства, оформляют двусторонним актом с приложением исполнительных документов:

схемы осей, вынесенных на цоколь, с указанием их проектных и фактических размеров;

сравнительной таблицы проектных и фактических отметок рисок нулевых горизонтов, вынесенных на цоколь;

схемы нивелирования поверхности перекрытия над подвалом по сетке 3×3 или 5×5 м с указанием проектной отметки поверхности перекрытия и фактических его отметок в вершинах квадратов нивелирной сетки.

§ 94. Передача отметок на вышележащие монтажные горизонты

Самый простой случай передачи отметки вверх на монтажные горизонты (или на глубину) состоит в промере стальной компарированной рулеткой по стене возводимого здания или через специально сделанные в перекрытиях проемы от черты (риски) нулевого горизонта. Так поступают в абсолютном большинстве случаев.

В этом параграфе рассмотрим случай передачи отметки на высоту (глубину), когда из-за препятствий (здание с уступами, строительные леса, опалубка, карнизы и т. д.) и отсутствия проемов в перекрытиях промер рулеткой исключен и приходится передавать отметку по лестничным клеткам.

Исходную точку передают от основного репера строительной площадки на репер временного типа (например, кованный гвоздь, вбитый в шов кирпичной кладки), устраиваемый на первом этаже лестничной клетки возводимого здания. Затем от отметки $H_{\text{рп}}$ определяют отметку H_x выбранной точки x , закрепленной на высоте здания. Для этого на высокой части здания подвешивают стальную компарированную рулетку с миллиметровыми делениями так, чтобы деления возрастали снизу вверх. Подвешивают рулетку на опору (вверх) без ее излома и груз к рулетке (вниз) с помощью специальных зажимов. Груз, подвешиваемый к рулетке для ее натяжения, должен иметь вес порядка 5 кг.

Затем устанавливают два нивелира (один — внизу, второй — вверх). Места для их установки (станции) выбирают так, чтобы каждым нивелиром можно было сделать отсчеты по рейкам, установленным соответственно на репере (внизу) и точке x (вверх), и по подвешенной рулетке.

Наблюдатели, находящиеся у нивелиров, делают отсчеты по рейкам: отсчет a по рейке внизу и отсчет b по рейке вверх. После этого оба наблюдателя наводят трубы своих нивелиров на рулетку и одновременно (по сигналу) делают отсчеты c и d по рулетке. Так как деления рулетки могут быть плохо видны, то помощники наблюдателей (по указанию последних) отмечают остро отточенным карандашом проекции средних нитей сетки обоих нивелиров на рулетку и диктуют отсчеты c и d наблюдателям.

Взяв отсчеты, изменяют высоту подвеса рулетки (или изменяют горизонт инструмента обоих нивелиров) и вновь повторяют цикл наблюдений. Отметку точки x вычисляют дважды по результатам обоих циклов наблюдений по формуле

$$H_x = H_{\text{рп}} + a + (d - c) - b. \quad (235)$$

Если сходимость результатов будет в пределах ± 5 мм, за окончательный результат принимают среднее значение H_x .

При передаче отметки на глубину действуют аналогично, но отметка исходной точки будет вычисляться по формуле

$$H_x = H_{\text{рп}} + a - (d - c) - b. \quad (236)$$

§ 95. Геодезические разбивки при возведении стен зданий

Возводя стены зданий из кирпича, по окончании кладки каждого этажа обязательно нивелированием проверяют горизонтальность поверхности возведенных до данного этажа стен и соответствие полученного горизонта проектному. Отметку нескольких точек возведенной поверхности определяют от риск нулевого горизонта, нанесенных на фундаменте здания, непосредственным вертикальным промером по гладким стенам с помощью стальной рулетки.

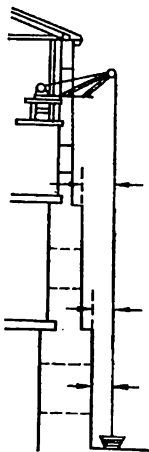


Рис. 153. Геодезические разбивки при возведении стен сооружений.

Затем нивелир устанавливают на уровне выверяемой поверхности и нивелируют точки на этой поверхности, расположенные через 5 м, считая по оси стен. Отметка, полученная промером рулеткой по стене здания, принимается за исходную.

В каждом оконном проеме для установки оконных блоков разбивают две взаимно перпендикулярные оси, которые должны совпадать по вертикали во всех этажах здания.

Вертикальные разбивки оконных и дверных проемов междуэтажных перекрытий производят от риска условного нулевого горизонта (например, +50; +70), нанесенных на внешней стороне стен здания, откладывая от них проектные расстояния по вертикали с помощью стальной рулетки.

При необходимости проверки вертикальности возводимой высокой стены, даже если части ее лежат в различных вертикальных плоскостях (рис. 153), груз около 5 кг подвешивают посредством кронштейнов на тонкой проволоке или шпагате. Чтобы избежать раскачивания груза, его помещают в сосуд с вязущей жидкостью. Затем приставляют к стене здания деревянную линейку с миллиметровыми делениями так, чтобы она была перпендикулярна стене здания, ее основание с нулевым делением касалось стены, а сама линейка — нити отвеса, и производят отсчеты по линейке. Постоянство расстояния от нити отвеса до соответствующих частей стены здания будет указывать на вертикальность плоскости стены.

Разбивая отверстия для установки санитарно-технического, электротехнического и другого оборудования отмечают меловой чертой на стенах внутри помещений условный нулевой горизонт соответствующего этажа. Для этой цели используют гидростатический уровень и нулевую риску, отмеченную на стенах лестничных клеток. Затем по стенам зданий откладывают проектные расстояния по вертикали, взятые с рабочих чертежей, и отмечают меловой чертой на стене ось или габариты монтируемого оборудования. Положение оси оборудования в горизонтальном направлении определяют, откладывая от внутренних поверхностей стен проектные расстояния, указанные в рабочих чертежах.

При высотных разбивках внутри помещений можно использовать водяной уровень, состоящий из двух реек, в которые вмонтированы стеклянные трубки, соединенные резиновым шлангом. На деревянную часть рейки нанесена шкала для определения превышений между различными точками по показаниям уровня жидкости, заполняющей стеклянные трубки и шланг.

Прибор имеет вес около 5 кг. Точность определения превышений 3—4 мм.

§ 96. Перенесение монтажных осей на верхние ярусы сооружений

Сложность вынесения проектных монтажных осей и отметок возрастает с подъемом на более высокие этажи. Чтобы избежать накопления ошибок, каждый раз независимо переносят проектные оси с уровня первого этажа на строящийся.

Рассмотрим несколько возможных случаев переноса осей на этажи возводимого сооружения.

1. При наличии закрепленного створа оси, например, при возможности визирирования со створного знака на осевую риску, окрашенную на цоколе здания, теодолит устанавливают над створным знаком A , тщательно нивелируют и центрируют его, визируют (при КП или КЛ) на осевую откраску A' на цоколе, поднимают трубу до уровня этажа (яруса), на который надо спроектировать

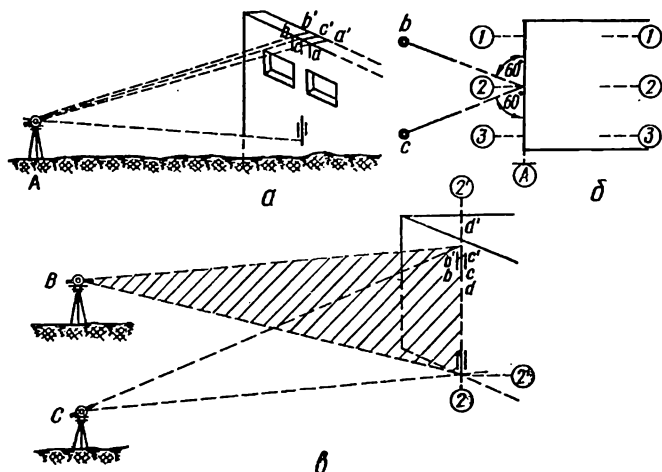


Рис. 154. Способы перенесения монтажных осей на верхние ярусы сооружений.

ось AA' сооружения, и отмечают на этом уровне две точки a и a' , лежащие в одной вертикальной плоскости $AA'aa'$ (рис. 154, а). Затем переводят трубу через зенит и повторяют эти действия отмечая на том же уровне точки b и b' , представляющие собой след вертикальной плоскости $AA'bb'$, полученный при другом положении вертикального круга.

Измерив линейкой с миллиметровыми делениями расстояние между парными точками a и b , a' и b' , находят среднее положение следов двух вертикальных плоскостей, полученных при положениях КП и КЛ — точки c , c' . Это и будет след оси AA' , переданной на высоту возведенного этажа — яруса.

2. Если имеется осевая риска на цоколе здания, но отсутствует створный знак, и при этом возводимая стена здания лежит в одной плоскости с его цокольной частью, то передачу осей на высоту осуществляют для контроля с двух станций B и C . Эти станции расположены на направлениях, идущих не под прямым углом к фасадной оси $A-A'$ здания, а под углом около 60° (рис. 154, б). Расстояния между станциями примерно равны двойной высоте горизонта, на который выносится ось (например, ось 2—2' здания).

В этом случае следы проектирующих плоскостей $B-2-2'$ и $C-2-2'$ отмечают на стене здания двумя точками (для каждой плоскости), через которые карандашом прочерчивают риски $b-b'$ и $c-c'$. Если эти две риски совпадут, намечают и закрепляют несмываемой краской среднюю риску $d-d'$, принимаемую за окончательный след проектируемой на высоту оси (рис. 154, в).

3. В случае, если на цоколе здания нанесена осевая риска, а створный знак отсутствует и возводимая стена при этом лежит в разных плоскостях с цокольной частью здания, но имеет по конструктивным или архитектурным соображениям уступы, нельзя произвести передачу оси на высоту проектирую-

щей вертикальной плоскостью с произвольно выбранных станций. Тогда необходимо восстановить створ оси и установить теодолит в створе данной оси. Створ выносимой оси восстанавливают так: по стене цокольной части здания с помощью нивелира отмечают горизонтальную линию, на которой откладывают в обе стороны от осевой риски равные отрезки.

Затем, сообразуясь с высотой, на которую надо проектировать теодолитом данную ось, назначают длину радиусов-засечек, пересечение которых даст на местности точку, лежащую в створе данной оси. Установив теодолит в найденной точке, визируют на осевую риску и проектируют ось на нужную высоту уже известным способом при двух положениях трубы (КП и КЛ).

Необходимо, чтобы углы при концах «базиса» B были равны примерно 70° , в противном случае точность установления створа снизится. Иначе говоря, следует стремиться к тому, чтобы откладываемые по цокольной части здания отрезки составляли одну треть желаемого отстояния (например, при высоте возведенного горизонта 15 м такое отстояние будет равно 30 , а длина отрезков — 10 м).

Длина радиусов-засечек определяется как гипотенуза c прямоугольного треугольника ABC , в котором известны катеты a и b .

Так, при $a=10$ и $b=30\text{ м}$ длина радиуса-засечки определится

$$c = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{10^2 + 30^2} = 31,623\text{ м}.$$

Желательно, чтобы точка стояния теодолита находилась в одной горизонтальной плоскости с отмеченной на цоколе линией.

4. С применением проектной насадки можно непосредственно переносить по вертикали точки на последующие этажи в стесненных местах, закрытых по горизонту строительными конструкциями и оборудованием. При этом заметно упрощаются способы точного перенесения проектов сооружений в натуру. Даже небольшие отверстия в перекрытиях для монтажа подвесного оборудования прокладки технологических систем, а также лестничные клетки и колодцы лифтов могут быть использованы для геометрической связи высоких конструктивных элементов.

При перенесении разбивочной оси, закрепленной на боковых гранях колонны или на стенах, на последующие этажи теодолит центрируют на первом этаже не в плоскости закрепленной оси, а на некотором расстоянии от нее (рис. 155, б). Для того, чтобы точнее определить расстояние q от центра теодолита до оси створа по нормали, инструмент ставят в плоскости грани колонны, на которой закреплена створная точка оси. На том этаже, куда переносят ось, также откладывают отрезок q в вертикальной плоскости нормали AI . Допустимое отклонение измеряемого (откладываемого) отрезка от заданного направления подсчитывают по формуле

$$h = \sqrt{2q \cdot \Delta q}, \quad (237)$$

где q — длина отрезка; Δq — поправка за отклонение отрезка от заданного направления.

Например, при $q=1000\text{ мм}$ и соблюдении условия $\Delta q=0,5\text{ мм}$, $h=33\text{ мм}$.

На точность передачи разбивочной оси по вертикали в случае расположения инструмента в плоскости, не проходящей через ось, влияют ошибки измерения (отложения) отрезков q (влияния остальных источников погрешностей можно считать пренебрегаемо малыми).

Пользуясь стальной рулеткой с миллиметровыми делениями и оптическим центриром теодолита, длину отрезка q легко определить с ошибкой $m_{q_1} = \pm 0,5\text{ мм}$. Отрезок этой же длины на верхнем этаже сооружения откладывают от коллимационной плоскости трубы теодолита при помощи специальной ручки, тщательно изготовленной и прокомпарированной. Ошибка компарирования тоже порядка $m_{q_1} = \pm 0,5\text{ мм}$. На точность приведения в вертикальное положение визирной оси теодолита оказывают отрицательное влияние преимущественно: 1) коллимационная ошибка трубы; 2) неравенство подставок трубы; 3) погрешность определения места нуля — $МО$ вертикального круга; 4) построения вертикального угла, равного 90° .

Под влиянием первых двух источников погрешностей визирный луч в вертикальной плоскости (OFy) отклоняется на угол σ ; два других источника ошибок обуславливают наклон луча в коллимационной плоскости (OFx) на угол ϵ .

Смещение луча в плане на высоте l будет (в абсолютных величинах, соответственно $Oa=y$ и $ab=x$, а общее $Ob=r$).

Рис. 155. Оптические методы переноса разбивочных осей:

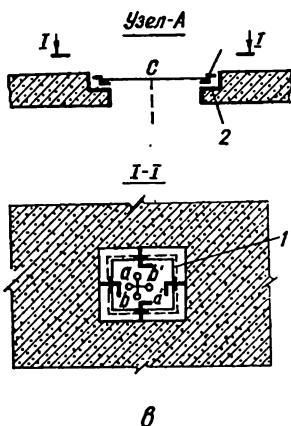
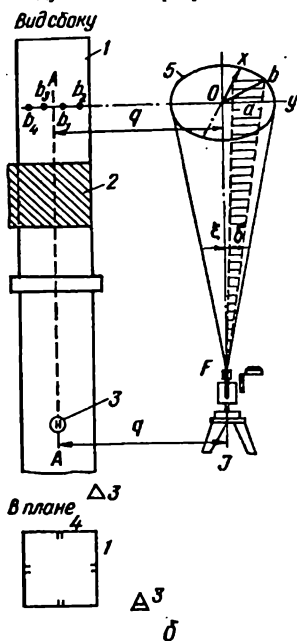
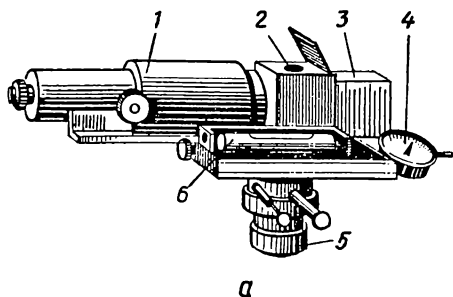
a — оптический центрировочный прибор Зенит — ОЦП:

1 — зрительная труба; 2 — пентапризма в оправе; 3 — противвес; 4 — шкала часового индикатора; 5 — втулка теодолита; 6 — цилиндрический уровень;

b — схема переноса точек по вертикали в створе оси колонн:

1 — колонна; 2 — междуэтажное перекрытие; 3 — закрепление оси; 4 — положение теодолита; 5 — основание конуса проектирования;

в — закрепление монтажных осей: 1 — центрировочная рамка с палеткой; 2 — междуэтажное перекрытие.



Среднеквадратические ошибки m_y , m_x и m_r определяются из выражений:

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \frac{m_\epsilon}{\rho} l; \\ m_y &= \frac{m_\sigma}{\rho} l; \\ m_r &= \sqrt{m_x^2 + m_y^2} \end{aligned} \right\} \quad (238)$$

Величину m_ϵ подсчитывают по формуле

$$m_\epsilon = \sqrt{\frac{3}{2} (m_n^2 + m_{yp}^2)}, \quad (239)$$

где $m_n = \frac{t}{2\sqrt{2}}$ (t — точность верньера), а $m_{yp} = \frac{0,15\mu}{3}$ (μ — цена деления накладного уровня).

Значение m_σ определяют по формуле

$$m_\sigma = \sqrt{m_k^2 + m_{yp}^2}, \quad (240)$$

причем $m_k = \pm 0,25t$.

Так как у теодолита Т30 $t=30''$ и $\mu=25-30''$, то по формулам (239) и (240) найдем $m_\epsilon = \pm 13'',0$; $m_\sigma = \pm 7'',7$.

Подставив числовые значения в формулу (238), при $l=50$ м, получим $m_r = \pm 3,6$ мм.

Среднюю погрешность в перенесении створной точки оси выше на 50 м вычисляют по формуле

$$m_b = \sqrt{m_r^2 + (m_{q_1} + m_{q_2})^2}. \quad (241)$$

После подстановки в формулу (241) соответствующих данных получим

$$m_b = \sqrt{(3,6)^2 + (0,5 + 0,5)^2} = \pm 3,7 \text{ мм.}$$

Перенесение створной точки повторяют не менее четырех раз, при этом поворачивают алидаду на 90° и следят за пузырьком уровня. Намеченные четыре точки (b_1, b_2, b_3, b_4) попарно (диаметрально расположенные на круге погрешности) примерно симметричны относительно оси AA .

Средняя квадратическая ошибка в перенесении точки будет

$$m_A = \sqrt{\frac{(3,7)^2}{4} + (0,5 + 0,5)^2} = \pm 2,1 \text{ мм}$$

или

$$\Delta_{A_{\text{пред}}} = \pm 3m_A = \pm 6,3 \text{ мм.}$$

Для здания высотой 50 м, составленного из 5-метровых сборных элементов ($n=10$), допустимый сдвиг разбивочной сети на последнем этаже относительно первого вычисляется по формуле

$$\sigma = 0,001875 \cdot 5000 \sqrt{n}, \text{ при } n = 10, \sigma = 26,4 \text{ мм.}$$

5. Для оптического центрирования часто применяется прибор Зенит-ОЦП (рис. 155, а), обеспечивающий точность наблюдения на высоту 80 м, наведения — 0,39 и центрирования — 0,62 мм.

Конструкция Зенит-ОЦП включает зрительную трубу от нивелира НСМ-2М с самоустанавливающейся линией визирования, пентапризму в оправе, столик и посадочную ось, а также противовес, уравнивающий зрительную трубу относительно оси вращения прибора.

Самоустанавливающий компенсатор прибора автоматически приводит линию визирования в отвесное положение с точностью 0,3—0,5.

Посадочной осью прибор может быть установлен в стандартный трегер теодолита ТБ-1, центрируемого над закрепленной точкой при помощи лотаппарата.

Закрепление спроектированных точек на монтажном горизонте осуществляется с помощью приспособления, показанного на рис. 155, б.

6. Ограниченные размеры площадки вокруг сооружения часто не позволяют переносить оси методом проектирования при помощи теодолита, установленного вдали возводимого сооружения, или боковым нивелированием. Приходится пользоваться тяжелым отвесом. При этом нить отвеса (проволока диа-

метром 0,2—0,5 мм) нужно защищать от воздействия ветра, предотвращая при этом ее прогиб. Точность проектирования при этом способе не превышает $\pm 0,50$ мм.

§ 97. Позтажные геодезические разбивки

Для монтажа междуэтажных перекрытий и лестниц отметки внутри здания передают преимущественно по лестничным клеткам. Для этого при возведении стен первого этажа внутрь здания по его контуру выносят нулевой строительный горизонт, отмечая его рисками, закрепленными масляной краской, причем нулевой горизонт отмечают в местах расположения всех лестничных клеток.

Поскольку лестничные площадки укладывают на уровне отметки пола данного этажа, то по мере возведения здания по внутренним стенам лестничных клеток с помощью стальной рулетки откладывают вертикальные расстояния между чистыми полами соответствующих этажей, указанные в рабочих чертежах проекта, начиная от риски нулевого горизонта первого этажа. Эти расстояния — отметки пола этажей — отмечают покрашенными горизонтальными рисками на стенах всех лестничных клеток. Одновременно на стенах лестничной клетки отмечают проектные отметки положения промежуточных площадок. В последующем эту отметку переносят с помощью горизонтально укладываемого бруска-рейки и накладного уровня к месту установки промежуточной площадки.

Как только будут возведены или смонтированы наружные и внутренние стены здания, приступают к монтажу междуэтажного перекрытия. До укладки плит или панелей перекрытия нивелированием проверяют горизонтальность опорных поверхностей, на которые будут опираться плиты или панели перекрытия. Все отмеченные недостатки устраняют цементной стяжкой.

Для монтажа карнизов блоков фасада здания вначале промерами рулеткой от нулевого горизонта по стене здания устанавливают по отметкам угловые маячные блоки, а затем выполняют стяжку из раствора и нивелируют поверхность этой стяжки. Убедившись в горизонтальности поверхности, натягивают между маячными блоками причалку и производят монтаж карнизных блоков.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ МОНТАЖЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

§ 98. Виды геодезических работ

А. Проверка геометрических размеров конструкций. Элементы сборных железобетонных конструкций, поступающих на строительную площадку, должны соответствовать проекту (рабочим чертежам), а также действующим ГОСТам и нормам. На них должны быть нанесены риски, определяющие оси. Поступившие с завода-изготовителя конструкции должны быть проверены. Проверка производится с помощью компарированной стальной рулетки с миллиметровыми делениями и больших деревянных треугольников (шаблонов), изготовленных применительно к типовым углам между плоскостями конструкций.

Прямолинейность плоскостей и ребер проверяют хорошо натянутой струной или прикладыванием длинной выверенной линейки, причем отклонения от проектных размеров согласно СНиП I-B. 5—62 не должны превышать допусков, указанных в табл. 49.

Металлические конструкции необходимо изготавливать в полном соответствии с чертежами КМД (деталировочные чертежи металлических конструкций); они должны быть замаркированы в соответствии с рабочими чертежами и монтажными схемами.

Б. Основные стадии геодезических работ. Монтаж строительных конструкций производят в такой последовательности:

- 1) фундаменты под колонны и другие подземные конструкции;
- 2) колонны со связями, подкрановые и обвязочные балки;
- 3) конструкции покрытий: фермы (балки), фонари связи, прогоны и плиты;
- 4) стеновые конструкции и переплеты.

В этой последовательности производятся и геодезические разбивочные работы, связанные с установкой элементов сборных конструкций в их проектное положение по разбивочным осям и проектным горизонтам, техника выполнения которых в основном уже описана выше.

Перед окончательным закреплением установленных конструкций проверяют правильность их расположения. Результаты проверки оформляют специальным актом, составляемым с участием представителей заказчика, генерального подрядчика и монтажной организации. К акту прилагают схему расположения конструкций, на которой указывают: смещение низа колонны, смещение верха ее, отметку верхнего торца колонны, смещение фермы или балки, отметку верхнего пояса.

Монтировать конструкции вышележащего яруса можно только после геодезической проверки положения в плане и по высоте опорных поверхностей смонтированного яруса. Эти исполнительные съемки и нивелировки — важнейшая часть геодезического обслуживания строительства.

В. Техническая документация разбивочных работ. Монтаж сборных конструкций производится на основе рабочих чертежей зданий и сооружений, а также проекта производства работ. Этими же документами пользуются и при

Т а б л и ц а 49

Классы точности и предельные допускаемые отклонения от проектных размеров сборных железобетонных конструкций

Изделие	Класс точности	Допускаемые отклонения, мм, по		
		длине	ширине	толщине или высоте сечения
Панели, настилы и плиты перекрытий, панели стен при длине, м:				
до 6 включительно	10-и	± 8	± 5	± 5
более 6	10-и	± 10	± 5	± 5
Плиты и панели покрытий при длине, м:				
до 6 включительно	9-и	$+8, -4$	± 5	± 5
более 6	9-и	$+10, -5$	± 5	± 5
Фундаментные блоки	12-и	± 15	± 15	± 10
То же, балки	9-и	± 10	± 5	± 5
Колонны высотой, м:				
до 9 включительно	9-и	± 7	± 5	± 5
более 9	9-и	± 10	± 5	± 5
Балки подкрановые, балки и фермы покрытий пролетом, м:				
до 18 включительно	9-и	± 10	± 5	± 5
более 18	10-и	± 20	± 5	± 5
Ригели и прогоны длиной, м:				
до 6 включительно	9-и	$+8, -4$	± 5	± 5
более 6	9-и	$+10, -5$	± 5	± 5
Лестничные марши	10-и	± 5	± 5	± 5
То же, площадки	10-и	$\pm 8, -5$	± 5	$+5, -3$
Прочие изделия, применяемые в конструкциях зданий	9-и-11-и	± 10	± 10	± 5

производстве геодезических разбивочных работ, выполняемых для обеспечения точности монтажа. Из рабочих чертежей для разбивочных работ бывают необходимы главным образом следующие:

1. План осей с указанием размеров (в сантиметрах или миллиметрах), являющийся основным документом.

2. Планы фундаментов под несущие конструкции с указанием разбивочных осей и расстояний между ними, размеров фундаментов и привязки их к разбивочным осям.

3. Планы фундаментов под оборудование с обозначением закладных деталей, колодцев и анкеров.

4. Вертикальные разрезы фундаментов под несущие конструкции и под технологическое оборудование с указанием глубин заложения и отметок всех конструктивных деталей фундаментов их обреза, отметки опорных поверхностей.

5. поэтажные планы с разбивочными осями и привязки к ним всех элементов конструкций.

6. Проект организации геодезических и монтажных работ: схемы горизонтов разбивки установочных осей, горизонтов нивелирования и монтажных горизонтов.

На монтажных чертежах и схемах обозначаются: установочные ориентиры (риски установочных осей) и способ их нанесения, основные базовые оси и способ их передачи с одного горизонта на другой, уровенные маяки и способ их установки, станции геодезических инструментов, трассы промеров, способы контроля положения элементов в собранной конструкции и инструмент для контроля.

До начала монтажа сборных конструкций в соответствии со СНиП III-A. 6—62 должна быть произведена разбивка и приемка осей сооружения и реперов. Монтажные оси и высотные реперы, необходимые для установки конструкций, закрепляют металлическими знаками, забетонированными в теле фундаментов вне контура опоры конструкций.

Разбивочные оси оснований, фундаментов и других опор сборных металлических (СНиП III-B. 5—62), железобетонных (СН 319—65) конструкций должны соответствовать 1-р классу точности (СНиП I-A. 4—62), не превышая проектных размеров:

При расстояниях между осями 9 м	3 мм
То же, более 9 до 15 »	4 »
» 15 » 21 »	5 »
» 21 » 27 »	6 »
» 27 » 33 »	7 »
» 33 »	5,5 п

где p — количество отложений 20-метровой рулетки.

Примечание. Приведенные величины допусков на разбивку осей умножают на 0,7, если торцы металлических конструкций после сборки фрезерованы.

Приемку фундаментов здания или сооружения нужно производить по отдельным пространственно жестким секциям. Соответствие фундаментов под монтаж конструкций проекту должно подтверждаться инструментальными замерами и составлением исполнительной схемы по принятой форме.

Приведенные технические допуски в определении проектного положения разбивочных осей промышленных и гражданских зданий относятся к любому этажу, если проектом не предусматриваются требования к разбивкам более высокой точности.

Точность перенесения разбивочных осей с уровня первого этажа на последующие для промышленно-гражданских зданий высотой до 50 м регламентируется величиной общего сдвига разбивочной сети, вычисляемой по формуле

$$\delta = 0,001875l\sqrt{n}, \quad (242)$$

где l — средняя длина сборного элемента (колонны); n — число элементов по высоте.

Нормы допустимых отклонений при монтаже

№ п.п	Виды конструкций и характер смещения	Величина допустимых отклонений, мм		
		железобетонных конструкций для промышленных зданий		стальных конструкций
		одноэтажных	многоэтажных	
I	Фундаменты			
	Смещение относительно разбивочных осей:			
	осей фундаментных блоков нижнего ряда	± 20	± 20	—
	то же, фундаментов верхнего ряда	± 10	± 10	—
	» стаканов фундаментов	± 10	± 10	—
	Отклонение отметок верхних опорных поверхностей фундаментов от проектных:			
	опорной поверхности стакана при непосредственном опирании вышележащей конструкции	-20 ± 10	-20 ± 5	— ± 5
	Отклонение внутренних размеров (длина, ширина) стакана фундамента	$+20$	$+15$	—
	Отклонение отметок опорных поверхностей железобетонных или бетонных подушек на стеновых пиллястрах	± 20	± 20	—
	Смещение анкерных болтов в плане	± 10	± 10	± 5
	Отклонение отметки верхнего торца анкерного болта от проектной	$+20$	$+20$	$+20$
II	Колонны			
	Смещение осей колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей	± 5	± 5	± 5
	Отклонения осей колонн от вертикали в верхнем сечении при высоте колонн H , м:			
	до 4,5	± 10	± 10	—
	от 4,5 до 15	± 15	± 15	± 15
	более 15	$+0,001H$, но не более 35	—	$+0,001H$, но не более 35
	Разница отметок верха колонн каждого яруса в пределах выверяемого участка	—	$(12+12n)$, где n —порядковый номер яруса	
	Стрела прогиба (кривизна) колонны	—	—	$\frac{H}{750}$, но не более 15
	Отклонение опорной поверхности колонн от проектной отметки	—	—	± 5

№ п.п	Виды конструкций и характер смещения	Величина допустимых отклонений, мм		
		железобетонных конструкций для промышленных зданий		стальных конструкций
		одноэтажных	многоэтажных	
III	Отклонения отметок опорных площадок подкрановых балок или балок (ферм) одного пролета	±10	±10	—
	Отклонения отметок прочих опорных площадок на колоннах, а также кронштейнов, столиков, консолей, привариваемых до установки колонн высотой, м:			
	до 10	±15	±10	—
	более 10	±25	±15	—
	Отклонения отметок стальных кронштейнов, столиков, консолей, привариваемых после установки колонн на высоте, м:			
	до 10	±5	±5	—
	более 10	±8	±8	—
	Подкрановые балки и пути			
	Смещение продольной оси подкрановой балки с разбивочной оси на опорной поверхности колонны	±5	±5	—
	Отклонения отметок верхних полок подкрановых балок на двух соседних колоннах вдоль ряда и на двух колоннах в одном поперечном разрезе пролета	±15	±15	—
	Отклонения расстояния между осями подкрановых рельсов одного пролета	±10	±10	±10
	Смещение оси подкранового рельса с оси подкрановой балки	15	15	15
	Отклонение оси подкранового рельса от прямой	15 на длине участка 40 м		
	Разность отметок головки подкрановых рельсов в одном разрезе пролета зданий:			
	на опорах	15	15	15
	в пролете	20	20	20
	Разность отметок подкрановых рельсов на соседних колоннах одного ряда при расстоянии между колоннами	0,001, но не более 10		
	Взаимное смещение торцов смежных подкрановых рельсов по высоте и в плане	2	2	2

№ п.п	Виды конструкций и характер смещения	Величина допустимых отклонений, мм		
		железобетонных конструкций для промышленных зданий		Стальных конструкций
		одноэтажных	многоэтажных	
IV	Балки, фермы, ригели, прогоны перекрытия			
	Смещение осей элементов относительно разбивочных осей на опорных конструкциях	± 5	± 5	—
	Отклонения:			
	отметок опорных узлов ферм, ригелей	± 20	± 20	± 20
	расстояний между осями ферм, балок, ригелей, перекрытия по верхнему поясу	± 25	± 25	± 15
V	расстояний между прогонами	± 7	± 7	± 5
	Стрела прогиба (кривизна) прямолинейного участка сжатого пояса из плоскости фермы, ригеля или балки	$\frac{H}{750}$ величина закрепленного участка, но не более 15		
	Стены и перегородки, плиты перекрытий			
	Смещение осей панелей стен и перегородок в нижнем сечении относительно разбивочных осей	± 5	± 5	—
	Отклонения плоскостей панелей стен и перегородок от вертикали (в верхнем сечении)	± 5	± 5	—
	Разница отметок опорных поверхностей панелей стен и перегородок (по верху выравнивающего раствора) в пределах выверяемого участка (блока)	10	10	—

Перед началом монтажа сборных металлических и железобетонных элементов на каждом этаже обязательно производят инструментальную съемку положения опорных частей смонтированных конструкций.

При возведении промышленно-гражданских зданий и сооружений конструкции устанавливают с соблюдением норм допустимых отклонений (СНиП III-B. 3—62 и СНиП III-B. 5—62), приведенных в табл. 50.

Строительная часть возведенных фундаментов и других оснований на которой монтируется оборудование характеризуется геометрическими размерами планового и высотного положения всех граней, расположением закладных деталей и отверстий, предусмотренных рабочими чертежами.

Приведенные значения допусков на установку в проектное положение сборных строительных элементов служат исходными данными при организации геодезических работ и геодезическом обеспечении монтажа конструкций.

§ 99. Установка железобетонных колонн

Перед установкой железобетонные колонны должны быть исследованы. Первая горизонтальная риска отмеряется не от основания башмака, а от основания колонны.

Она является основной для установки колонны на проектную отметку. По этой риске определяют и все остальные отметки исследований колонны: полочки консоли, верха и основания ее. Она служит для наблюдения за просадочностью грунтов.

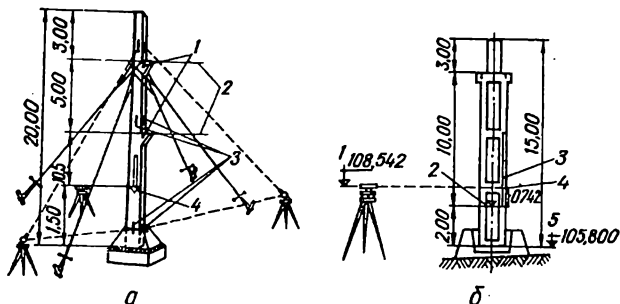


Рис. 156. Установка железобетонных колонн:

а — на фундамент стаканного типа без кондуктора. Риски: 1 — по осям подкрановых балок; 2 — на уровне полочек консолей; 3 — по осям колонн; 4 — на высоте горизонта инструмента. *б* — с последующей подливкой цементным раствором на проектную отметку с помощью кондуктора: 1 — горизонт инструмента; 2 — вспомогательная риска; 3 — нивелирная рейка; 4 — отсчет по рейке «0742»; 5 — проектная отметка;

Поэтому первая риска закрепляется более прочно. Если определить нивелированием отметку риски, то отметки элементов колонны выше и ниже ее определяются простым сложением или вычитанием (рис. 156, *а*, *б*).

Процесс установки железобетонных колонн аналогичен установке стальных.

Железобетонные колонны также могут быть установлены как на заранее подготовительную и выверенную поверхность опирания (дно стакана), так и с последующей подливкой бетона. Для этого дно стакана бетонируется на 50—80 мм ниже проектной отметки (рис. 156, *б*).

В первом случае железобетонная колонна после подготовки фундамента подается краном и устанавливается в вертикальное положение при помощи растяжек по двум теодолитам. Можно установить ее и одним теодолитом, но этот процесс займет больше времени.

Теодолиты устанавливаются так, чтобы линии визирования были по возможности перпендикулярны к двум смежным граням колонны, на которых нанесены риски по осям.

Затем совмещают риски на осях колонны с разбивочными осями на фундаментах. При необходимости колонна приподнимается краном и точность совмещения рисков регулируется клиньями.

После установки по разбивочным осям производится окончательная установка по вертикали, и зазоры заливаются бетоном. Перед установкой и проверкой колонн теодолиты должны быть выверены на параллельность оси вращения трубы плоскости лимба.

Визирование следует начинать от совмещенных рисков на башмаках колонны с нижними рисками на самой колонне, а затем при неподвижных лимбе и алидаде труба переводится на крайнюю верхнюю риску. Если сетка нитей теодолита не совпадает с верхней риской на колонне, то колонна при помощи специальных болтов на растяжках подтягивается в нужную сторону на необ-

ходимую величину и закрепляется одной парой растяжек. Затем то же делают по другой паре растяжек и другому теодолиту (рис. 156, а). Если установка колонны производится одним теодолитом, то, закончив работу по одной грани колонны, переходят с теодолитом на линию, близкую к прямому углу другой грани, смежной с первой, и производят рихтовку со второй парой растяжек.

Для контроля окончательная поверка делается при двух положениях вертикального круга (КП, КЛ).

§ 100. Выверка установки колонн

После освобождения от средств закрепления колонны часто дают отклонение от проектного положения. Такие же отклонения плюс изменения по высоте могут произойти от осадки грунтов, в особенности при неравномерном увлажнении их (лесс и лессовидные суглинки), а поэтому перед сдачей колонн под дальнейший монтаж необходимо сделать окончательную тщательную выверку их как в вертикальном, так и в высотном отношениях.

Она производится по тому же методу, что и установка, т. е. по вертикали при помощи теодолита, пользуясь рисками, нанесенными при исследовании колонн, а по высоте — нивелиром (рис. 157).

Если исследования установленных колонн не производились или если риски уничтожены, величину отклонения колонны от вертикального положения можно определить путем снесения необходимых точек верхней грани колонны на башмак или на прикрепленную у основания колонны доску. Точки для снесения на башмак необходимо брать у самого верха колонны: в данном случае точки a и b . Снесенные точки на башмак обозначим через a' и b' . Затем расстояние между снесенными точками делим пополам и получаем точку c . После этого измеряем ширину колонны у основания и, разделив полученную величину пополам, получим точку c' — середину колонны снизу.

Расстояние l между точками c — c' является величиной отклонения верха колонны от вертикального положения.

Если на строительстве имеются монтажники-верхолазы, то необходимые риски a по оси колонны и p на консоли для оси балок подкрановых путей, а также расстояние от полочки консоли p до риски на горизонте k определяют

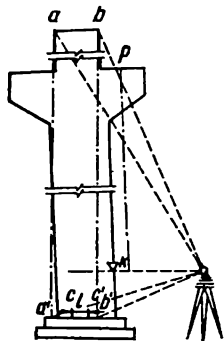


Рис. 157. Схема определения осей колонны путем снесения граней ее на башмак:

a, b — крайние точки верха граней колонны; a', b' — те же грани, снесенные на башмак; c — ось верха колонны, определенная по снесенным граням на башмак; c' — ось колонны (снизу), определенная непосредственными измерениями.

рулеткой. При этом риски наносят на осях по фактическим размерам граней колонн: внизу колонн — техник, а на уровне подкрановых балок и на консолях (по рабочим чертежам) — верхолаз, так как у одноплечных колонн геометрические оси на уровне подкрановых балок не совпадают с осями колонн ниже консолей.

После нанесения осей теодолитом и нивелиром по намеченным осям и поперечным рискам проверяется вертикальность колонн.

Выверку можно осуществить и без нанесения всех осей выше консолей (без нанесения рисок на боковых гранях по направлению пролета). Для этого ис-

пользуют небольшую линейку с делениями, при помощи которой по теодолиту определяют отклонение нужной нам грани колонны от коллимационной плоскости. На одинаковом расстоянии от осей крайних колонн ряда выносим две точки так, чтобы коллимационная плоскость теодолита, установленного на одной из точек, проходила через точки *a* и *b* на расстоянии, позволяющем визи-рование на линейку, устанавливаемую перпендикулярно грани колонн на вы-соте полок подкрановых балок (рис. 158).

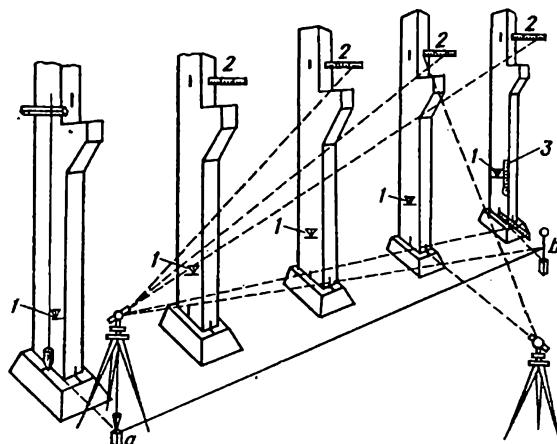


Рис. 158. Схема проверки вертикальности колонн и положения их граней в продольной вертикальной плоскости:

a и *b* — точки, закрепленные на одинаковом расстоянии от осей первой и последней колонны ряда; 1 — риски на вполне определенном горизонте нивелира; 2 — рейка при отсчете положения грани по отношению к вертикальной (коллимационной) плоскости, проходящей через точки *a* и *b*; 3 — рулетка для измерения расстояния от полочки консоли до инвальной риски при определении отметок полочки консоли.

Если расстояния между крайними колоннами значительны, а освещение цеха недостаточное, в створе выбранной линии против одной из средних колонн устанавливается промежуточная точка. Это облегчает также выверку первой колонны ряда.

После отсчета по линейке на каждой колонне измеряют рулеткой расстояние от верхней полочки консоли до заранее нанесенного по нивелиру горизонта (одного для всех колонн) на их гранях и на вполне определенной отметке. Риски наносят достаточно точно и прочно (прочерчивают и окрашивают, так как они необходимы также для наблюдений за осадкой колонн).

Таким же методом определяют расстояния от коллимационной плоскости до наружной грани или до оси колонны.

Для получения отметки полки консоли можно рекомендовать Т-образный деревянный шаблон (рис. 159). Его изготовляют из просушенной еловой или сосновой рейки. Длина шаблона, зависящая от высоты определяемых точек и длины лестницы, должна быть точно известна. Такой шаблон вешают на консоль, а остаток *a* (до высотной риски *a'* на колонне) измеряют рулеткой.

Если по каким-нибудь причинам шаблон использовать нельзя, то необходимые высоты определяются нивелированием. Причем расстояние от теодолита до колонны *d* измеряется рулеткой. Таким образом, высота колонны *cc'*, т. е. расстояние от ее основания до полки консоли, будет

$$h_c = d \operatorname{tg} \alpha + l. \quad (243)$$

От верха c' до основания колонны c $h_e = d \operatorname{tg} \alpha' + l$. (244)

Если отметка точки a' (отметка риски на колонне) известна, то:

$$H_c = H_{a'} + d \operatorname{tg} \alpha - b; \quad (245)$$

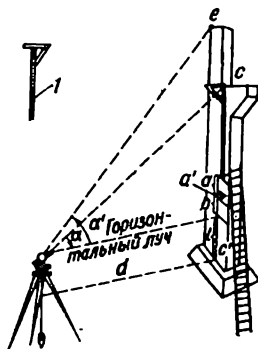
$$H_e = H_{a'} + d \operatorname{tg} \alpha - b; \quad (246)$$

$$H_{c'} = H_{a'} - (b - l) \quad (247)$$

Величина b может быть также с плюсом, если горизонтальный луч будет выше риски на определенной (известной) отметке.

Рис. 159. Схема определения отметок консоли при помощи шаблона и геодезическим нивелированием:

a — домер от шаблона до риски на вполне определенной отметке; a' — риска, нанесенная при исследовании колонны; b — расстояние от горизонтального луча до риски на определенной отметке; l — расстояние от башмака колонны до горизонтального луча; α и α' — углы наклона лучей c и e , d — расстояние от инструмента до колонны.



По окончании выверки всех колонн одного ряда, теми же приемами выверяют все колонны второго ряда пролета, а затем приступают к проверке расстояний между осями крайних колонн обоих рядов (рис. 160).

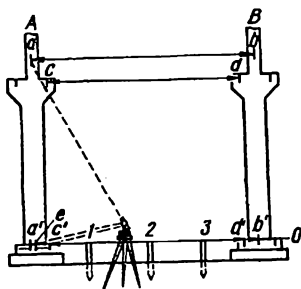


Рис. 160. Схема определения расстояния между первыми и последними колоннами пролета:

ab , $a'b'$ — расстояние между осями колонн соответственно на уровне низа рельса под краевых балок по рискам осей, нанесенным на башмаки колонн; cd , $c'd'$ — расстояния между осями подкраевых балок соответственно на консолях колонн и по рискам, нанесенным на башмаки колонн; e — величина смещения осей колонн от разбивочных за неперпендикулярность колонн; 1, 2, 3 — вспомогательные колья по линии натяжения рулетки; A и B — ряды колонн.

Измерения в верхней части можно произвести по методу «на весу», если для этого имеются необходимые подмости или лестницы. В противном случае оси, между которыми необходимо определить расстояние, сносят на основание колонны или на доску, жестко прикрепленную к низу колонны.

После этого измерения можно производить любым методом. Наиболее надежным является измерение по вбитым через 3—4 м по нивелиру кольям без учета поправки на провес.

Чтобы закончить проверки, достаточно теми же способами определить расстояния между осями последних колонн пролета. Расстояния между промежуточными колоннами в рядах не определяются, а ведомость отклонений эт проектных данных составляется по данным, полученным при проверках.

Работу и копию схемы отклонений размеров отдельных элементов колонн от проектных размеров сдают по акту лицу, ответственному за строительство данного объекта.

§ 101. Разбивочные работы при монтаже рам, балок-ригелей и ферм

Разбивочные работы при монтаже рам. Для точного монтажа рам на их стойки и обрезы фундаментных башмаков выносят продольные и поперечные оси здания, а также отметки. На стойки рам после тщательного двукратного измерения их чистой высоты наносят риски, соответствующие отметке нуля и совпадающие с обрезами фундаментных стаканов. Заглубляемый размер стойки рамы выносят нивелированием на внутренние грани стаканов фундаментов, после чего подливают на дно стакана бетон (или подсыпают песок) до необходимой отметки.

При установке рам необходимо соблюдать совпадение продольных и поперечных осевых рисок, нанесенных на стойках, с соответствующими рисками, нанесенными на обрезы фундаментных башмаков.

Разбивочные работы при монтаже балок. Точность расположения подкрановых балок в плане должна быть обеспечена измерением расстояний между осями и нанесением рисок на опорные подушки. Кроме того, при монтаже балок с последующим заполнением плитами необходимо проверять расстояния между стенками смежных балок. Особенно тщательно должны быть выполнены разбивка осей балок подкрановых путей и подготовка строго горизонтальной их укладки.

Опираются подкрановые балки на колонны должны через специальные подкрановые консоли (рис. 161) или непосредственно на подкрановую ветвь колонны. По верху балок укладывают подкрановые рельсы.

Для укладки подкрановых балок в конце пролетов на земле или полу цеха разбивают оси подкрановых путей $a-a'$ и $b-b'$. С помощью компарированной стальной рулетки тщательно проверяют расстояния l между разбитыми осями. Затем при двух положениях теодолита выносят оси на поверхности консолей крайних колонн данного ряда и отмечают риски на гранях и поверхностях

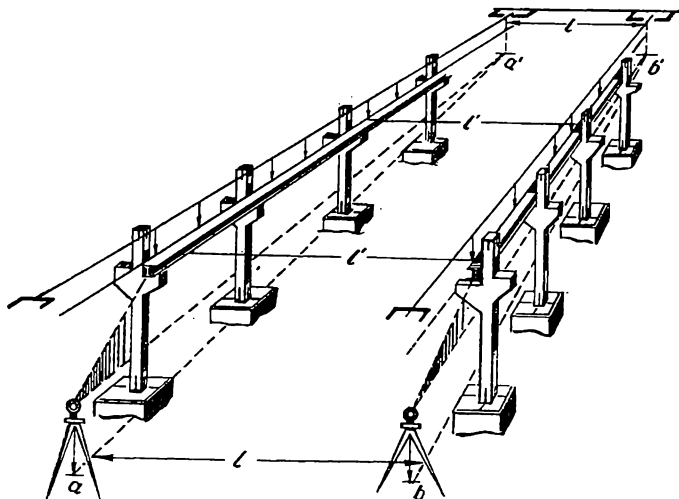


Рис. 161. Разбивка при монтаже подкрановых балок.

консолей. Через риски крайних колонн поверх консолей всех промежуточных колонн натягивают тонкую проволоку, след которой отмечают тонкой чертой на зачищенной поверхности каждой консоли. Так фиксируют ось подкрановых балок на всех консолях.

Можно поступить и иначе: над рискю крайней в ряду колонны, например, в точке *I* (рис. 162), устанавливают теодолит, навинчивая его на специальную металлическую подставку, визируют на противоположную конечную точку оси *II* и на поверхности консолей всех промежуточных колонн наносят риски $a_1—a_1$, $a_2—a_2$ и т. д., фиксирующие след оси *A—A* подкрановой балки. Аналогично разбивать ось *B—B* другой подкрановой балки. Центрирование подставки теодолита осуществляется с помощью центрировочного штифта, вставляемого в осевое отверстие подставки теодолита: его острие должно совпадать с рискю, фиксирующей ось подкрановой балки.

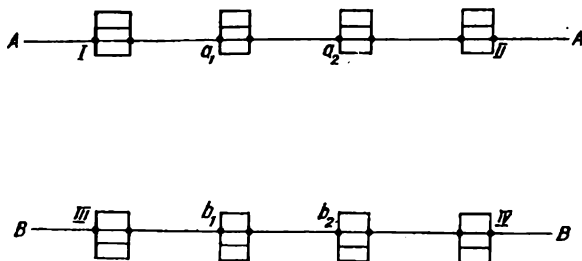


Рис. 162. Оси оснований подкрановых балок.

После разметки осей верхние плоскости консолей каждого ряда нивелируют, для чего устанавливают нивелир непосредственно на плоскость какой-либо консоли в середине ряда, противоположного проверяемому, и ведут отсчет по малой рейке, устанавливаемой на консоли, каждый раз по трем нитям.

Если по ряду колонн нет подмостей, то для наблюдения на выбранной колонне оборудуют специальный балкон. Верхние плоскости консолей до постановки рейки очищают от мусора, шероховатостей и нароста бетона.

Одновременно с нивелированием консолей на грань каждой из них выше плоскости консоли выносят и отмечают рискю некоторый условный горизонт, превышающий отметку верхней плоскости подкрановой балки на 5—10 см. По этим рискам контролируют толщину подкладок или вырубку при монтаже балок по высоте.

По результатам нивелирования поверхностей консолей вычисляют их отметки и составляют исполнительный чертеж — профиль оси оснований подкрановых балок по обоим рядам в масштабах: горизонтальном 1 : 100 и вертикальном 1 : 10 (рис. 163).

По окончании монтажа подкрановых балок выверяют положение их осей в плане и по высоте. Для проверки положения оси балок на двух конечных точках здания (например, на вцементированных в стены скобах) при помощи теодолита двумя проектирующими плоскостями (при КП и КЛ) отмечают рисками проектное положение продольной оси балки. Между этими рисками натягивают тонкую проволоку, к которой подвешивают отвесы (обычно по два в пролете между двумя колоннами) и по ним окончательно устанавливают балки.

Выверку подкрановых балок по высоте над каждой опорой производят нивелированием, аналогично изложенному выше нивелированию плоскостей консолей. После выравнивания балок повторно проверяют плановое и высотное положение их осей.

На основе данных проверки составляют окончательную исполнительную схему.

Разбивочные работы при монтаже ферм и арок. На подготовленные к монтажу фермы и арки наносят обозначения продольных и поперечных разбивочных осей здания. Одновременно проверяют фактическую длину монтируемых элементов.

Опорами для ферм и арок служат железобетонные колонны, блочные или кирпичные стены (столбы). Перед монтажом проверяют правильность нанесения продольных и поперечных рисок в местах опирания этих ферм и арок. Такая проверка производится при помощи визирования наклонным лучом теодолита, установленного над закрепленной точкой оси сооружения и ориентированного по направлению проверяемой оси. Кроме того, обязательно должно быть проверено нивелированием соответствие фактических отметок опор их проектным значениям. Отклонения не должны превышать ± 20 мм.

Для стропильных и подстропильных стальных ферм производят выверку прямолинейности поясов и вертикальности плоскости ферм. Прямолинейность поясов проверяют натяжением шнура или проволоки между опорными узлами. Вертикальность плоскости ферм проверяют отвесом. Кроме того, в фермах проверяют расстояния между прогонами; отклонения их от проектных значений не должны превышать ± 5 мм.

Отклонение узла фермы в середине пролета от вертикальной плоскости, проходящей через центры опор, измеряется стальной линейкой с миллиметровыми делениями от шнура подвешенного тяжелого отвеса. Оно не должно превышать $1:250$ высоты фермы. Стальной линейкой измеряют стрелу прогиба нижнего пояса фермы, которая не может превышать $1:500$ длины пролета и не должна быть более 10 мм.

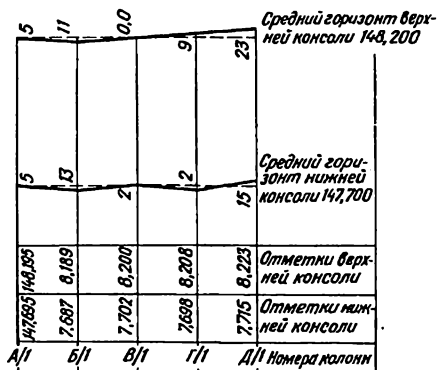


Рис. 163. Профиль оси основания подкрановых балок.

Глава V. ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА

§ 102. Задачи, методы и содержание исполнительных съемок

Исполнительный генеральный план имеет целью удовлетворить потребности, возникающие при эксплуатации промышленного или жилого комплекса: последующее расширение предприятия, ремонтные работы, быстрое устранение повреждений подземных сетей, особенно в зимнее время, когда колодцы и различные указатели занесены снегом. Кроме того, в проектный генеральный план приходится вносить изменения, возникающие в ходе строительства (перемещение трасс подземных сетей; изменение их заглубления, перемещение колодцев и т. д.) и учитывать их при составлении исполнительного генерального плана.

Основой для составления исполнительного генерального плана является топографический план крупного масштаба, на котором нанесены все здания и сооружения, существовавшие ранее и построенные вновь. Он включает также ряд других материалов, графических и цифровых (профили схемы, ведомости, зарисовки и т. д.). Полнота и достоверность плана зависят от полноты и достоверности геодезической съемки зданий и сооружений.

В ходе строительства объекты могут изменяться не только в конструктивном, но и плано-высотном отношении. Все такие изменения фиксируют на специальном рабочем генеральном плане и вносят во все документы, выпускаемые проектной организацией.

Рабочий генеральный план составляют в такой последовательности: изготовляют планшет требуемых размеров (в зависимости от величины строительной площадки) на жесткой основе; на планшет цветной тушью наносят координатную сетку; черной тушью наносят пункты плано-высотного геодезического обоснования, существующие и вновь построенные здания и сооружения, центры строительной сетки, гидроресурсы и рельеф. Луга, кустарники и т. п. на рабочем плане обычно не указывают во избежание затемнения чертежа. Рельеф изображают в горизонталях. Ситуацию наносят карандашом.

Если геодезические работы в данном районе проводились одновременно — в системе строительной сетки и местной прямоугольной системе координат — на плане изображают обе эти сетки.

На рабочий генеральный план наносят контуры объектов, принятых комиссией. Координаты углов здания выписывают в пределах нанесенных контуров. Для удобства пользования они должны быть условными.

Чтобы отличить строящиеся здания от законченных объектов, последние слабо закрашивают. Временные и постоянные сооружения обозначают различными цветами. Сооружение, уничтоженное в ходе строительства предприятия, зачеркивают или удаляют из плана.

Рабочий генеральный план является первым приближением исполнительного строительного генерального плана. Масштаб рабочего плана чаще выбирают 1:1000, однако для изображения всей ситуации построенного промышленного предприятия или жилого поселка такой масштаб является слишком мелким, поэтому некоторые подробности плана (расстояния между колодцами или нишами тепловодов, координаты этих колодцев, элементы вертикальной планировки и др.) нередко указывают на самостоятельных схемах.

Рабочий генеральный план обычно составляют на строительную площадку промышленного предприятия и на площадку жилого сектора отдельно. На таком плане указывают контуры всех зданий и трассы дорог как существовав-

ших ранее, так и вновь построенных. В отличие от старых новые пути изображают другими условными знаками.

Подземные и надземные сети (постоянные и временные) наносят на рабочий генеральный план тушью различных цветов. Для водопроводов, канализации, теплотрасс, прокладываемых магистралей и других подземных сетей указывают номера колодцев и диаметр закладываемых труб, для подземных электрокабелей — напряжение кабеля и их количество в траншее, номера соединительных муфт, а также местоположение.

Воздушные электросети высокого и низкого напряжения обозначают соответствующими условными знаками. На плане изображают все мачты и столбы осветительных сетей. Как правило, воздушные электросети на промышленной площадке прокладываются лишь на время строительства, а в период эксплуатации предприятия они заменяются подземными кабельными линиями.

Наряду с воздушной электросетью на время строительства прокладываются и воздушные линии связи. На плане их изображают соответствующими условными знаками, указывают каждый столб связи и количество пар проводов; при наличии воздушного кабеля указывают число проводов кабеля. При эксплуатации предприятия воздушные линии связи заменяют подземными кабелями связи.

В ходе строительства воздушную электросеть и линии связи часто переносят в другое место или, когда в них уже нет надобности, демонтируют. Поэтому электролинии и линии связи наносят карандашом и следят за своевременным отображением вновь строящихся линий. Демонтируемые линии удаляют из плана.

На рабочем генеральном плане, по возможности, должны быть отражены и элементы вертикальной планировки. Для этого в контурах всех зданий выписываются отметки чистого пола, отметки планировки у цоколей, а также отметки покрытий автодорог, головок рельсов железных дорог, дна кювета и т. д. Сданные в эксплуатацию подземные сети вычерчиваются тушью разных цветов.

Чтобы исполнительный генеральный план полностью удовлетворял потребности, возникающие при эксплуатации промышленного предприятия или жилого поселка, требуется выполнение большого объема полевых и камеральных работ. В задачу полевых работ входит плано-высотная привязка углов зданий, углов поворота сетей, колодцев, составление кроки привязок, описание искусственных сооружений, колодцев, подземных сетей и др. Углы зданий привязывают, как правило, способом угловых засечек с имеющихся опорных пунктов или с пунктов теодолитного хода, прокладываемого не только для этих целей, но и для определения координат колодцев подземных сетей и других объектов; засечки производятся с трех пунктов.

В зависимости от расположения опорных пунктов может быть использован также полярный способ. Расстояния от точки стояния инструмента до точек визирования не должны превышать длин линий, предусмотренных для теодолитного хода. Угловые измерения производят тридцатисекундным или одноминутным теодолитом.

Визирование осуществляется на заранее закрашенные точки углов стен здания. В качестве дополнительного контроля угловых засечек могут быть использованы еще и промеры, производимые стальной рулеткой или лентой по фасадам здания. У водопроводной и канализационной сетей привязывают концы труб в колодцах. Там, где возможно, колодцы могут включаться в теодолитный ход и служить точками стояния.

На люки колодцев и донья лотков труб нивелированием передают отметки. Колодцы привязывают к постоянным предметам на местности. Для привязки колодцев составляют кроки и приводят описание колодца (рис. 164). При этом указывают материал, из которого построен колодец, материал труб, глубину и ширину колодца, наличие перепада и т. д. На водопроводные, канализационные и тепловые сети составляют продольный профиль.

У подземных электрокабелей привязывают углы поворота трасс и соединительные муфты. На углах поворота выставляют специальные столбики-указатели.

После привязки кабельных трасс вычисляют координаты углов поворота трасс, координаты колодцев и отдельных муфт (в колодце может быть заложено несколько муфт). Продольный профиль на трассу электрокабелей не составляют, так как глубина их заложения от планировочной отметки изменяется мало.

На железнодорожных путях определяют координаты центров стрелочных переводов, углы поворота, производят съемку стрелочных переводов, а также нивелирование путей по головкам рельсов, определяют отметки дна кюветов.

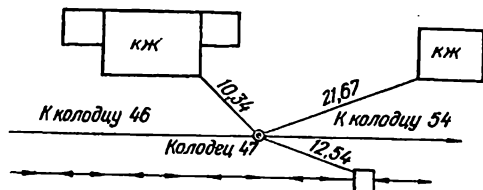


Рис. 164. Привязка колодца.

После проведения полевых работ составляют ведомость координат и продольный профиль с указанием плана. При необходимости может быть составлено описание железнодорожного полотна и искусственных сооружений.

На исполнительном генеральном плане очень важно указать действительный радиус кривой постоянного железнодорожного пути. Этот радиус определяют по измеренным хордам согласно специальным таблицам, в которых приведены величины стрел выгиба для различных хорд. Эти данные применяют для определения радиусов кривых не только железнодорожных путей, но также различных промышленных зданий, имеющих криволинейное очертание. Вычисления производят по формуле

$$f = \frac{125l^2}{R}, \quad (248)$$

где f — величина стрелы выгиба, мм;

l — длина хорды, м;

R — радиус кривой, м.

Съемка автомобильных дорог может быть выполнена любым способом. По проезжей части производят нивелирование, с помощью которого определяют поперечные и продольные уклоны дороги, а также уклоны дна кюветов. После выполнения полевых работ составляют ведомость координат углов поворота, продольный профиль по оси дороги, поперечные профили дороги в характерных местах с указанием отметок дна кюветов.

При составлении исполнительного плана вертикальной планировки нивелированием определяют отметки дна всех водотоков, кюветов, отметки цоколей зданий, тротуаров, газонов, верха покрытия дорог, головок рельсов и т. д.

Исполнительный генеральный план составляют, как правило, в масштабе 1 : 1000 и — для небольших площадок — 1 : 500. На план наносят все здания независимо от их величины, сети подземные, надземные и дренажные, элементы вертикальной планировки и т. д. (рис. 165). Горизонтالي наносят слабым тоном в свободных местах.

§ 103. Плановое и высотное обоснования исполнительной съемки

При плановом обосновании территории снимаемого объекта нужно рассчитать и дать координаты опорных пунктов съемки с точностью, обеспечивающей графическую точность масштаба 1 : 500. Опорная геодезическая сеть, включая съемочное обоснование, строится в зависимости от площади снимаемого промышленного предприятия. На площади 2500—20 000 га и более строят триангуляцию: 4 класса (от 2500 до 5000 га); 3 и 4 класса (от 5000 до 20 000 га) и 2, 3 и 4 класса (20 000 га и более).

Исходя из местных условий, вместо триангуляции развивают полигонометрию I и II разрядов. При небольших участках съемки ограничиваются тео-

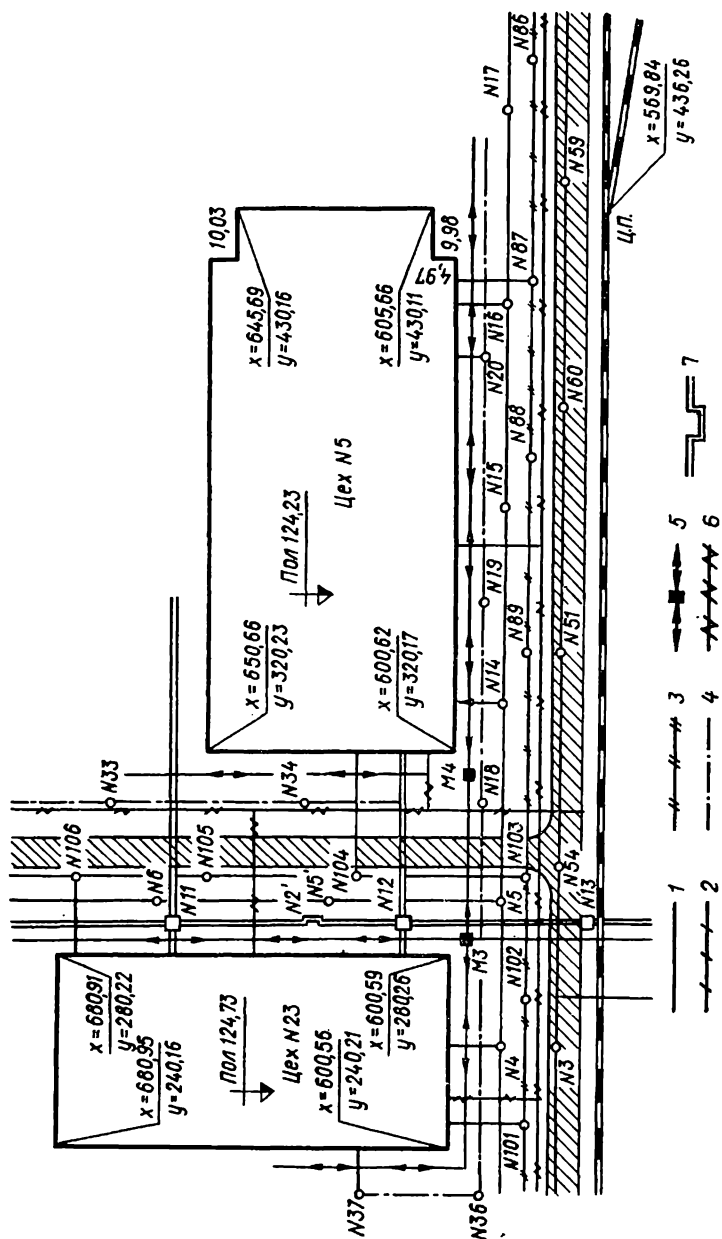


Рис. 165. Исполнительный план:

1 — хозяйственно-питьевой водопровод; 2 — ливневая канализация; 3 — фекальная канализация; 4 — промышленный водопровод; 5 — подземный электрокабель; 6 — подземная трасса теплофикации; 7 — факельная канализация.

долитными ходами, привязываемыми к ближайшим пунктам триангуляции. Иногда вместо теодолитных ходов прокладывают сети микротриангуляции, цепочки треугольников, которые привязываются к пунктам государственной плановой сети. Предельные значения углов в треугольниках 30° — 120° , а длины сторон 100 — 300 м. Угловые невязки в треугольниках допускаются до $40''$. Точность построения планового обоснования должна удовлетворять точности съемки масштаба $1 : 500$.

На практике, как правило, твердые ситуационные точки определяют полярным способом, при котором расстояние до определяемой точки измеряют лентой или рулеткой, а направление — 30-секундным теодолитом.

Пример. Определим точность планового обоснования в соответствии с графической точностью заданного масштаба съемки. Принимая точность измерения полярного направления $1'$, расстояние до определяемой точки 60 м (для масштаба $1 : 500$), измеренное с точностью $1 : 1000$, получим:

$$\Delta d = \frac{60}{1000} = 0,06 \text{ м} = 6 \text{ см}; \quad \Delta d = 60 \sin 1' = 0,02 \text{ м} = 2 \text{ см}.$$

Тогда ошибка определения координат точки ситуации (угла здания, центра опоры и т. д.) по отношению к твердой точке будет

$$\Delta S = \pm \sqrt{(\Delta d)^2 + (\Delta \alpha)^2} = \pm \sqrt{6^2 + 2^2} \approx \pm 6,3 \text{ см}.$$

На положение искомой точки в плане влияет ошибка определения опорной точки, ΔT . Чтобы обеспечить принятую точность графического проектирования $\Delta l = \pm 0,1$ м, нужно рассчитать величину ошибки определения точки съемочных ходов.

По условию суммарная погрешность $\Delta l = \pm \sqrt{(\Delta T)^2 + (\Delta S)^2}$, тогда, если $\Delta S = \pm 6,3$ см и $\Delta l = \pm 0,1$ м $= \pm 10$ см, т. е. $10 = \pm \sqrt{\Delta T^2 + 6,3^2}$, $\Delta T = 7,7 \approx 8$ см.

Итак, определение пунктов планового съемочного обоснования должно производиться с точностью порядка ± 8 см. Рассчитаем длину теодолитного съемочного хода, приняв, что относительная ошибка хода $1 : 2000$ и ошибка его любого пункта не превышает ± 8 см.

Известно, что предельная относительная ошибка полигонометрического хода не должна превышать $\frac{1}{T} = \frac{3M}{L}$, где $\frac{1}{T}$ — относительная ошибка хода;

M — средняя ошибка определения пункта хода;

L — длина полигонометрического хода.

Приняв $\frac{1}{T} = 1 : 2000$ и $M = \pm 8$ см, получим длину L теодолитного хода

$$\frac{1}{2000} = \frac{0,24}{L}, \quad \text{откуда } L = 480 \approx 500 \text{ м}.$$

Следовательно, точка твердого контура определяется с предельной ошибкой $0,1$ м, если она получена в ходе с предельным периметром 500 м.

Построение основных опорных сетей в виде полигонометрии II разряда обеспечивает точность определений конечных пунктов с ошибкой ± 8 см. При разработке проекта планового обоснования необходимо учитывать площадь снимаемой территории, масштаб съемки и перспективы развития промышленного предприятия.

Точность привязочных ходов (или сетей) не должна быть ниже точности сетей высших разрядов, прокладываемых на территории съемки.

Геодезическое плановое обоснование небольших территорий (10 га и менее) при отсутствии вблизи пунктов геодезической сети можно ориентировать относительно истинного меридиана с точностью $\pm 0',5$.

При проектировании триангуляции на территории промышленного предприятия необходимо рассчитать ожидаемую ошибку определения пунктов по формуле

$$M = \pm \frac{m_3 S \sin 1''}{\sqrt{2(n-1)}}, \quad (249)$$

где m_β — средняя квадратическая ошибка уравненного значения угла;
 S — средняя длина стороны, определяемая графически по масштабной схеме;
 n — число направлений на пункте.

Пример. При $m_\beta = \pm 1'',86$; $S=4240$ м; $n=3$

$$M = \frac{1,86 \cdot 4240}{206\,265 \cdot 2 \cdot (3-1)} = \pm 0,019 \text{ м.}$$

Система микротриангуляции должна опираться на два базиса (рис. 166).

Пример. Рассчитаем точность определения пунктов сети микротриангуляции. Дано: сторона квадрата 400 м, базисы a и b измерены с относительной ошибкой 1 : 15000 (стороны полигонометрии II разряда).

Точность измерения угла в сети вычисляется по формуле

$$m_\beta = \pm \sqrt{\frac{1}{n} \left(m_v^2 + \frac{m_0^2}{2} \right)}, \quad (250)$$

где m_v — ошибка визирования;

m_0 — ошибка отсчета;

n — число приемов.

Для 30-секундного теодолита со зрительной трубой 20X при измерении угла одним приемом $m_0 = \frac{t}{2} = 15''$, $m_v = \frac{60}{v} = 3''$, $n=1$, тогда $m_\beta = \pm 11''$. Относительная ошибка определения длины стороны вычисляется по формуле

$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_b}{b} + \sqrt{\frac{2}{3}} m_\beta \cdot \sqrt{K} \cdot \sqrt{\operatorname{ctg}^2 A + \operatorname{ctg}^2 B + \operatorname{ctg} A \operatorname{ctg} B}. \quad (251)$$

Если известны точность измерения базиса и величина углов, эта ошибка увеличивается пропорционально корню квадратному из числа треугольников, отделяющих ее от базиса.

Примем $\frac{m_b}{b} = 1 : 5000$; $m_\beta = \pm 11''$; $K=9$, а связующие углы треугольников 60° , тогда ошибка в определении стороны будет

$$\frac{m_a}{a} = \frac{1}{15\,000} + \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot 11'' \cdot \sqrt{9} \cdot 1 = \frac{1}{5000}.$$

Число треугольников в цепи микротриангуляции, заключенных между твердыми сторонами, не должно превышать 18—20. В этих случаях пункты геодезического обоснования, определенные методом микротриангуляции, могут по точности замснить пункты, определенные из теодолитных ходов (см. рис. 166).

На территориях промышленных площадок, устанавливают, как правило, металлические наземные триангуляционные знаки. Такими знаками могут быть простые четырехгранные пирамиды, надстройки на зданиях и сооружениях (рис. 167, 168).

Плановое обоснование съемок территории промышленных предприятий. Полигонометрическая сеть может быть произвольной, прямоугольной или в виде квадратов. В зависимости от расположения зданий и инженерных сооружений полигонометрические сети произвольного вида имеют различную конфигурацию (рис. 170, 171). Полигонометрическая сеть в виде системы равновеликих прямоугольников удобна для проведения детальных съемочных работ при правильной планировке застройки.

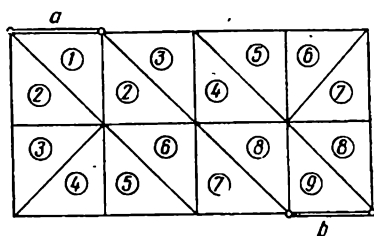


Рис. 166. Форма сетей микротриангуляции, опирающихся на две твердые стороны a и b .

Полигонометрическая сеть в виде квадратов обычно строится на отдельных частях территории промышленного предприятия и очень редко на всей территории.

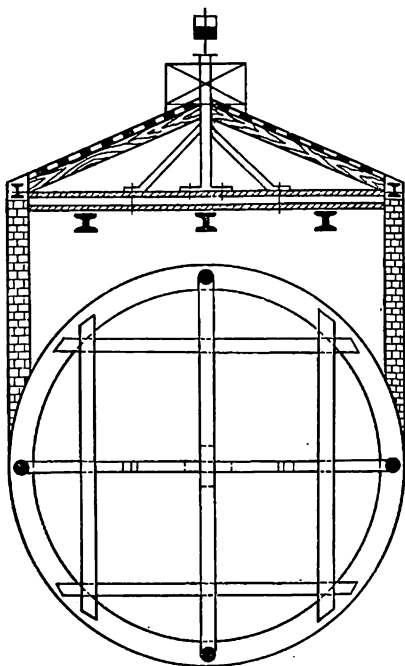
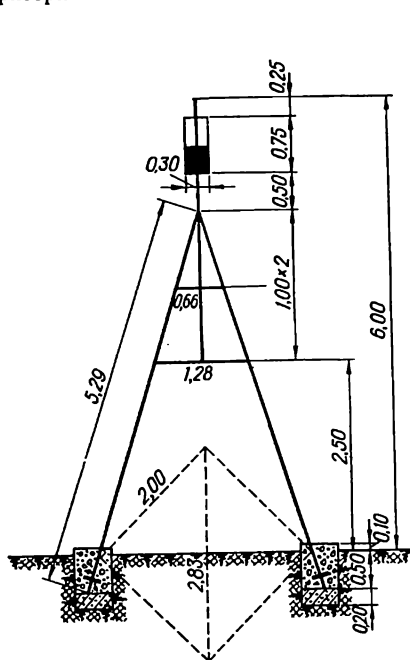


Рис. 167. Четырехгранная пирамида.

Рис. 168. Триангуляционный знак на крыше водонапорной башни.

В самостоятельных сетях сумма сторон полигонов не должна превышать 35 км. Стороны полигонометрической сети 4-го класса измеряются с относительной ошибкой не более 1 : 100 000, а углы — с ошибкой не более $\pm 2''$. При использовании ОТ-02, ОТС, ТБ-1, Т2 и других равноугловых инструментов углы измеряют девятью круговыми приемами. Допуски для соответствующих разрядов полигонометрии представлены в инструкциях СН 212—62 (табл. 51).

При прокладывании коротких ходов полигонометрии допускаются следующие абсолютные невязки, m : в ходах I разряда длиной менее 1000 м — 0,08 и в ходах II разряда менее 600 м — 0,1.

В зависимости от размеров территории и наличия пунктов старших разрядов полигонометрические сети могут быть свободными, опирающимися в лучшем случае на один твердый пункт, и несвободными, если имеется достаточное количество исходных твердых пунктов. Свободные сети строятся в виде системы полигонов, образуемых ходами полигонометрии старшего разряда, в которых прокладываются ходы низших классов (рис. 171). Несвободные сети так-

же состоят из системы замкнутых полигонов, которые опираются на твердые пункты геодезического обоснования старшего разряда.

При составлении проекта полигонометрических сетей учитывают допустимую длину теодолитных ходов, прокладываемых между пунктами полигонометрии, а также количество пунктов на площади съемки. В застроенной части

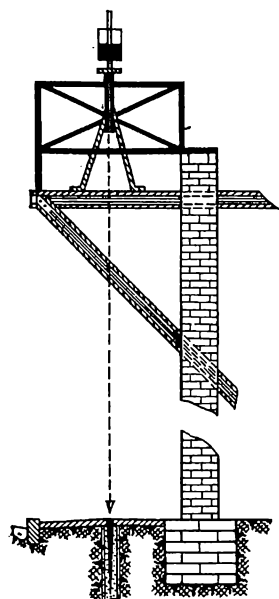
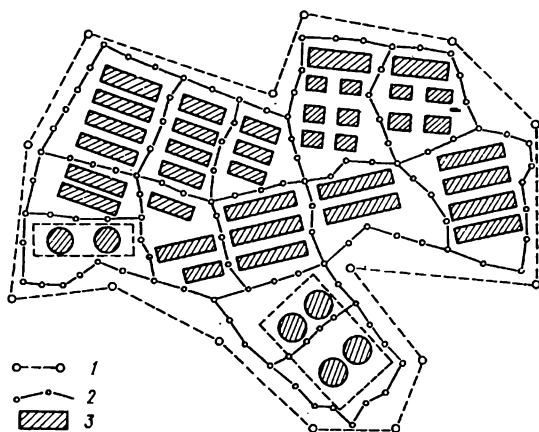


Рис. 169. Триангуляционный пункт на надстройке.

Рис. 170. Полигонометрические сети произвольного вида:

1 — границы территории; 2 — ходы полигонометрии; 3 — элементы застройки.



промышленного предприятия, которая снимается, как правило, в масштабе 1 : 500, на 8—12 га должен быть один пункт триангуляции или полигонометрии, в незастроенной части при съемке масштаба 1 : 2000 — один пункт триангуляции или полигонометрии на 30—50 га, при съемке в масштабе 1 : 5000 один пункт на 70—100 га.

Перед составлением проекта полигонометрической сети проводят общую рекогносцировку для определения характера планировки и вида застройки,

Таблица 51

Разряды полигонометрии	Средняя квадратическая ошибка измерения угла, сек	Предельная длина ходов, км			Длина линии хода, м			Предельная относительная невязка хода
		на застроенной части, М 1 : 500	на незастроен- ной террито- рии		наименьшая	наибольшая	от пункта высше- го разряда или класса до узловой точки	
			М 1 : 2000	М 1 : 5000				
I повышенной точности	±3	10	—	—	250	800	7,0	1 : 20 000— 1 : 25 000
I	±5	3,5	5	8	120	600	2,5	1 : 10 000
II	±10	2,5	4	6	80	300	1,5	1 : 5000

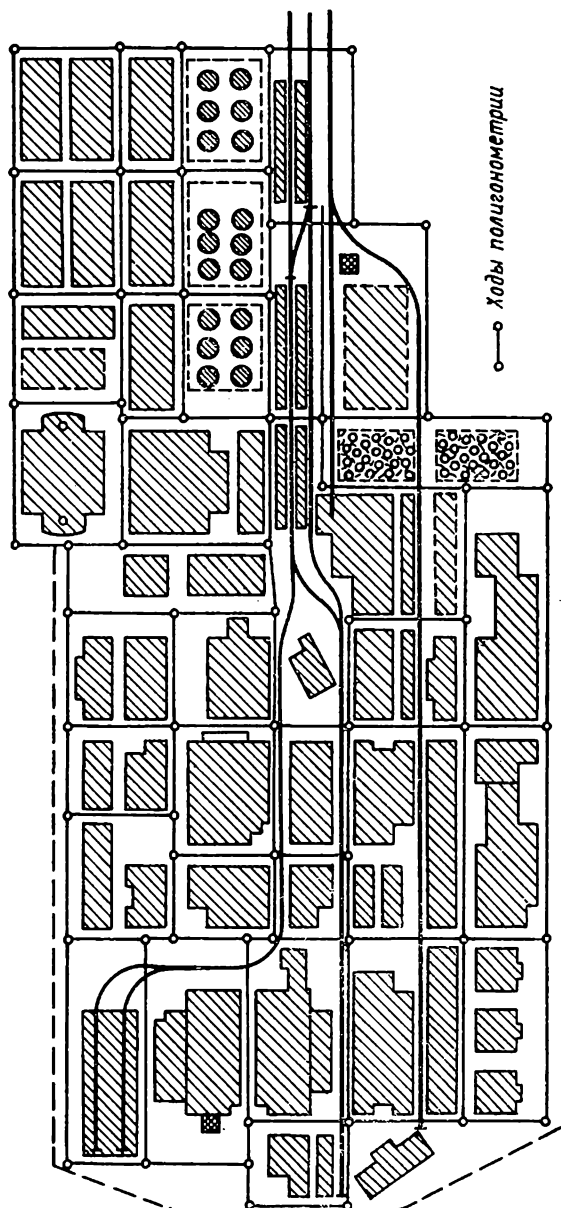


Рис. 171. Полигонометрическая сеть в виде прямоугольников.

участков, на которых необходимо дать более густую сеть опорных точек, типов знаков (грунтовой или настенный), способов ориентирования сети и передачи исходных координат.

Для более точных измерений полигонометрические ходы прокладывают по линиям минимального движения транспорта ровной без препятствий местности (высота визирного луча от земли не менее 0,5 м и от боковых предметов 0,3 м). Ходы должны быть прямолинейными. При выборе мест для установки грунтовых знаков следят за тем, чтобы на выбранном участке не было сетей инженерных коммуникаций, при этом минимальное расстояние от их оси до знака должно составлять 1,5 м. Знаки располагают на пересечении проездов для удобства связи с теодолитными ходами.

В застроенной части над полигонометрическим знаком заподлицо с поверхностью земли устанавливают чугунный колпак с крышкой.

Для измерения углов в полигонометрии I разряда повышенной точности применяют теодолиты Т2, ОТБ, ОТС или другие, но равноточные им. Углы определяют тремя приемами. В полигонометрии I разряда их измеряют теодолитами типа Т5, ОТС двумя приемами и в полигонометрии II разряда — 10-секундными теодолитами также двумя приемами. Невязка в суммах углов по отдельным ходам или в замкнутых полигонах не должна быть больше

$$\pm 2m_{\beta} \sqrt{n}, \quad (252)$$

где m_{β} — допустимая средняя квадратическая ошибка измерения угла, соответствующая разряду полигонометрии;

n — число углов в ходе или полигоне.

Линии полигонометрических ходов измеряются инварными проволоками.

Теодолитные ходы как обоснование для съемочных работ. На площадках промышленных предприятий между точками полигонометрии прокладывают теодолитные ходы с точностью, обеспечивающей съемку в масштабе 1:500. Относительная невязка ходов не должна быть более 1:2000 при максимальной длине хода 0,5—0,8 км. Предельная абсолютная невязка теодолитного хода при съемке в масштабе 1:500 застроенной территории не должна превышать 0,25, а на незастроенной — 0,40 м. На территориях съемки более 25 га теодолитные ходы служат сгущением полигонометрической сети и опираются на пункты и стороны сетей старшего порядка (рис. 172).

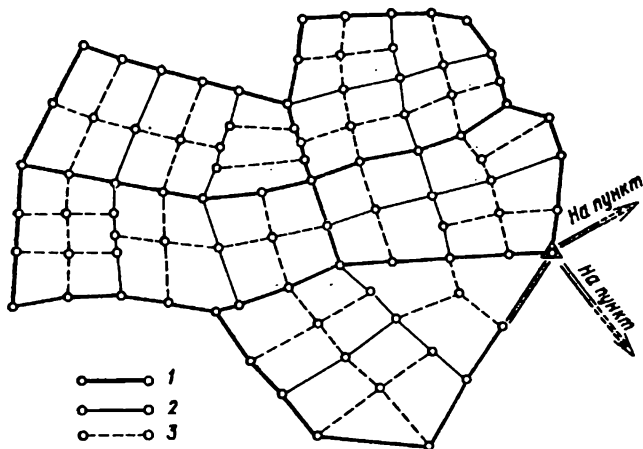


Рис. 172. Схема развития полигонометрической сети:
1 — ходы старшего порядка; 2 — ходы последующего порядка; 3 — ходы младшего порядка.

При съемке территорий до 25 га в масштабе 1 : 500 теодолитные ходы служат основным плановым обоснованием съемки. В этих случаях сети теодолитных ходов бывают, как правило, свободные, если они принимают лишь исходные координаты и ориентировку, или — реже — несвободные, если они привязаны к пунктам твердой основы. Несвободные сети прокладываются подобно полигонометрическим и уравниваются по способу Попова при помощи полигонов или узлов в зависимости от структуры сети (рис. 173).

На застроенной территории возможны висячие ходы с тремя поворотными точками длиной не более 200 м при масштабе съемки 1 : 2000, длиной 150 м — при масштабе 1 : 1000 и длиной 100 м — при масштабе 1 : 500. Длина линий в теодолитных ходах должна быть не более 350 и не менее 20 м. Углы измеряют одним полным приемом тридцатисекундным теодолитом. Угловые невязки f_{β} в замкнутых полигонах и ходах не должны превышать величин, подсчитанных по формуле

$$f_{\beta} = \pm 1' \sqrt{n}, \quad (253)$$

где n — число углов в полигоне или ходе.

Линии в теодолитных ходах измеряют оптическими дальномерами, стальными лентами или рулетками в прямом и обратном направлениях.

Высотное геодезическое обоснование. Высотное геодезическое обоснование, развиваемое на территории промышленного предприятия, служит не только обоснованием для топографической съемки, но и обоснованием для выноса на местность проектов различных сооружений при реконструкции или расширении предприятия. Кроме того, геодезическое обоснование необходимо для ус-

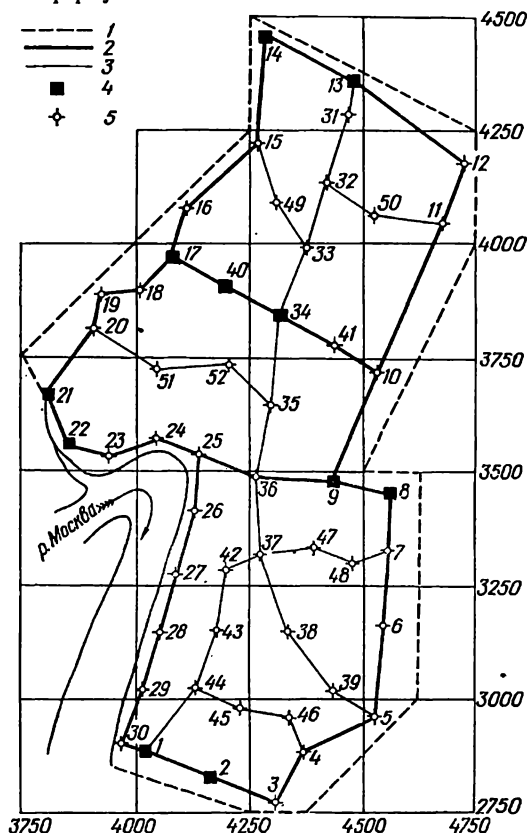


Рис. 173. Сгущение полигонометрической сети произвольной формы:

1 — граница съемки; 2 — теодолитные ходы первого порядка; 3 — теодолитные ходы второго порядка; 4 — знаки постоянного типа; 5 — знаки временного типа.

тановки различных монтажных узлов, строительных конструкций и производственных механизмов.

Топографическая съемка не требует особо точного высотного обоснования. Точность определения пункта съемочного высотного обоснования должна быть 2—3 см. Строительные работы, связанные с прокладыванием сетей подземных или воздушных коммуникаций, или работы по возведению обычных конструкций зданий и сооружений также не требуют высокой точности определения гео-

дезических пунктов по высоте. Она необходима в основном при монтаже подкрановых путей и технологического оборудования.

Согласно инструкции СН 212—62 предельная невязка нивелирного хода IV класса вычисляется по формуле

$$\Delta h = \pm 20 \sqrt{L}, \quad (254)$$

где L — длина хода, км.

По этой формуле для хода длиной 1 км величина предельной невязки будет составлять $\pm 20,0$ мм. Предположив, что в условиях промышленных площадок на ход длиной 1 км приходится в среднем 10 штативов, можно ожидать предельную ошибку на одной станции.

$$\Delta_{\text{ст}} = \pm \frac{20}{\sqrt{10}} \pm 6,36 \text{ мм.}$$

Аналогично для нивелирования III класса:

$$\Delta h = 10 \cdot \sqrt{L} = \pm 10,0 \text{ мм;}$$

$$\Delta_{\text{ст}} = \pm \frac{10,00}{\sqrt{10}} = \pm 3,25 \text{ мм.}$$

Для подсчета средней ошибки высоты пункта примем расстояние между смежными пунктами равным четырем станциям, тогда эта ошибка составит: для нивелирования III класса $\Delta h_3 = \pm 3,25 \sqrt{4} = \pm 6,50$ и для нивелирования IV класса $\Delta h_4 = \pm 6,36 \sqrt{4} = \pm 12,72$ мм. Эти величины предельных погрешностей характерны для висячего хода. В действительности ходы обоими концами опираются на твердые пункты, и величины предельных погрешностей можно принять в два раза меньшими: $\Delta h_3 = \pm 3,25$ и $\Delta h_4 = \pm 6,36$ мм.

Исходя из полученных величин предельных ошибок, устанавливают величины средних ошибок высот пунктов. Предположив, что величина средней ошибки в три раза меньше предельной, получим: для нивелирования III класса $\Delta h_3 = \pm \frac{3,25}{3} = \pm 1,08$ и для нивелирования IV класса $\Delta h_4 = \pm \frac{6,36}{3} = \pm 2,12$ мм.

При монтажных работах используют высоту пунктов, определенных путем нивелирования III класса или с помощью частной нивелирной сети.

При съемке промышленных и городских территорий площадью 25—50 км² нивелирование III класса является основной высотной опорой. Длина ходов между пунктами нивелирования старших классов не должна превышать 15, а между узловыми точками 5 км. В ходах, опирающихся на пункты нивелирования высших классов, а также в замкнутых ходах (полигонах) предельные невязки не должны превышать

$$\pm 10 \sqrt{L} \text{ мм,} \quad (255)$$

где L — длина хода или периметр полигона, км.

При наличии в полигоне или ходе более 15 штативов на 1 км допустимая невязка в полигоне не должна превышать

$$\pm 2,6 \sqrt{n} \text{ мм,} \quad (256)$$

где n — число штативов в полигоне или ходе.

Для нивелирования III класса применяют нивелиры с трубой 30×. Цилиндрический уровень должен быть скреплен с трубой; цена его деления должна быть не более 15" на 2 мм, а цена деления контактного уровня — до 30" на 2 мм. Для нивелирования IV класса применяют нивелиры с трубой 25× и ценой деления уровня не более 25" на 2 мм. Невязка, мм, в полигонах или в ходах между твердыми пунктами не должна превышать $\pm 20 \sqrt{L}$ или $\pm 5 \sqrt{n}$, где L — длина хода, км; n — число станций.

Проектирование сетей высотного обоснования. Перед составлением проекта нивелирной сети собирают сведения об имеющихся государственных и ведомственных пунктах нивелирной сети на территории промышленного предприятия. Нивелирные сети III класса являются главным высотным обоснованием

съемки промышленного предприятия и, как правило, бывают сетями свободными. Могут быть случаи, когда в непосредственной близости к площадке находится не один, а несколько нивелирных пунктов старшего порядка, к которым привязывают нивелирную сеть III класса. В таком случае эта сеть не будет свободной и при ее уравнивании учитывают соответствующие условия жесткости исходных пунктов.

Если вблизи площадки отсутствуют нивелирные пункты старших классов, за исходную принимают отметку ближайшего пункта, к какому бы классу нивелирования он не относился. Нивелирные сети, прокладываемые для обоснования съемки предприятия, обычно полностью совпадают (исключая привязку) с полигонометрическими ходами, поэтому нивелирную сеть проектируют по проекту полигонометрической сети, включая в нее все настенные и грунтовые полигонометрические знаки.

§ 104. Составление исполнительного генплана и исполнительных чертежей

Территории промышленных предприятий состоят обычно из участков, которые отличаются типом и компактностью застройки, рельефом, количеством подземных и надземных коммуникаций и т. д., поэтому на застроенных участках ситуация и рельеф снимаются отдельно, а на не застроенных участках — совместно. Горизонтальная съемка застроенных территорий обычно производится методом абсцисс и ординат (перпендикуляров), засечками и полярным методом. При съемке застроенных территорий в съёмочных ходах ленту укладывают по линии теодолитного хода между створными точками, которые намечают при съемке в масштабе 1 : 1000 через 40 м при съемке в масштабе 1 : 500 — через 20 м.

При съемке ситуации методом перпендикуляров их длина не должна превышать 6 м при масштабе 1 : 1000 и 4 м при масштабе 1 : 500.

Т а б л и ц а 52

Масштабы съемки	Расстояния до контуров ситуации, м	
	твёрдых	нетвёрдых

Измерение лентой

1 : 500	120	150
1 : 1000	180	200

Измерение нитяным дальномером

1 : 500	40	50
1 : 1000	70	90

Измерение оптическим дальномером

1 : 500	80	120
1 : 1000	120	180

определенной закономерности. Зарисовка абриса производится на каждой станции до начала съемки, при этом назначаются и прочерчиваются все полярные направления и контрольные связи.

При исполнительной съемке определяют координаты всех основных точек ситуации: углов капитальных зданий и сооружений, центров круглых надземных и подземных сооружений, точек пересечения осей и углов поворота сетей подземных и воздушных коммуникаций, точек пересечения осей проездов, вершин углов поворота железнодорожных путей и т. д.

При использовании эскера длину перпендикуляров можно увеличивать до 20 м при съемке в масштабе 1 : 500 и до 40 м при съемке в масштабе 1 : 1000.

При использовании полярного и комбинированного (мензульная съемка в сочетании с теодолитом и обмером зданий) способов съемки в масштабах 1 : 1000, 1 : 500 допускаются расстояния до контуров ситуации, указанные в табл. 52.

При съемке застроенной территории промышленного предприятия каждый ее участок зарисовывают в абрисе, который должен быть исчерпывающе подробен и понятен. Все зарисованные условными знаками строения и сооружения сопровождают характеристикой (назначение, материал, этажность), а цифровые записи располагают в

тей, точек пересечения осей проездов, осей проездов бровок и дна котлованов и кюветов, бровок и дна искусственных выемок, подошвы и верха насыпи грунта, зданий, тротуаров и благоустроенных площадей.

Вертикальная съемка, которая проводится отдельно от горизонтальной, выполняется при наличии готового горизонтального плана методом нивелирования площадей или мензульным методом. При использовании метода нивелирования работу проводят в следующем порядке: на местности выбирают станцию и устанавливают нивелир; техник назначает на местности точки, которые должны быть занивелированы, и отмечает их на плане; рейку устанавливают на какую-либо точку с твердой отметкой, производят отсчеты по ее двум сторонам; занивелировав все выбранные точки, рейку вновь устанавливают на точку, имеющую твердую отметку (лучше, если такой точкой будет не та, на которую устанавливалась рейка в начале работ).

При наличии готового плана иногда бывает целесообразно применить для вертикальной съемки мензулу (сложный рельеф, разреженная застройка).

Мензульная съемка производится только с аналитически определенных точек. Прокладывать мензульные ходы при съемке в масштабе 1 : 500 не разрешается. Расстояние от инструмента до рейки не должно превышать 80 м.

Составление планов промышленных предприятий. Планы исполнительной съемки промышленных предприятий должны быть на жестких планшетах (алюминий или авиационная фанера) стандартного размера 60×60 см. На основу наклеивают ватман. Затем, при соответствующих требованиях проектирования, составляют сборные планы на подрамниках. На планшетах и подрамниках при помощи обычной линейки Дробышева строят координатные сетки. Разбивка сетки на большом подрамнике выполняется с помощью специальной линейки Дробышева с диагональю 100 см (рис. 175, 176). Такой линейкой можно построить прямоугольник со сторонами 60 и 80 см. Если ее нет, то построение координатной сетки следует производить обычной линейкой Дробышева, соблюдая принцип перехода от общего к частному.

Пример. Намечают точки A и B , расположенные в 5 см от двух граней подрамника (рис. 175). В эти точки вкладывают иглы, между которыми туго натягивают прочную тонкую нить. По следу нити располагают еще несколько игл так, чтобы расстояния между ними не превышали длину линейки Дробышева. Затем по этой линейке прочерчивают частями сплошную прямую линию AB , посередине которой накладывают точку D .

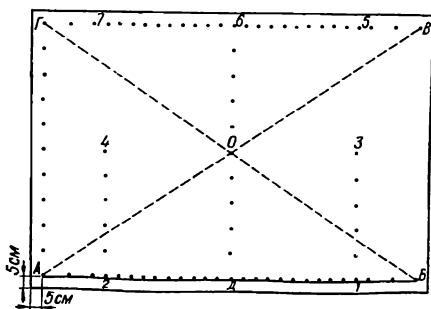


Рис. 175. Разбивка сетки линейкой Дробышева.

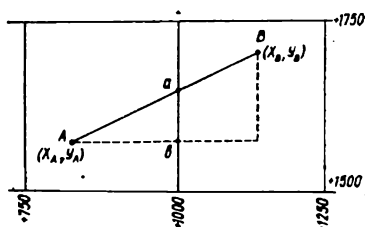


Рис. 176. Определение координат точки пересечения съемочной линии с рамкой планшета.

От точки D в обе стороны по прямой AB откладывают по линейке Дробышева по 5 дм и получают точки 1 и 2. К этим точкам последовательно прикладывают штрих первого выреза линейки, расположенной в рамке под углом 45°. Прочерчивая штрихи по торцевому срезу линейки, уложенной при двух положениях, в пересечении штрихов получают точку O ; линия OD перпендикулярна

к линии AB . Последовательно разбивают дециметровую сетку в пределах рамок ($D-1-3-0$) и ($D-2-4-0$). Затем обычным приемом разбивают сетку в пределах рамок ($O-3-5-6$) и ($O-4-7-6$). Разбивка сетки на оставшихся частях подрамника уже не представляет затруднений. Накладку точек по координатам обязательно проверяют по расстояниям между соседними точками, взятыми из координатной ведомости.

Нередки случаи, когда необходимая при составлении плана точка попадает за рамку планшета. В этих случаях приходится решать задачу на определение координат точки пересечения съемочной линии с рамкой планшета.

Допустим, что ордината y_a точки a известна, тогда абсциссу можно вычислить по формуле

$$x_a = x_A + ab = x_A + \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} (y_a - y_A), \quad (257)$$

т. е. абсцисса точки x_a будет равняться абсциссе x_A плюс частное от деления разности абсцисс точек A и B на разность их ординат, умноженное на разность ординат пересекаемой рамки y_a и ординаты точки y_A .

На подготовленный план ситуация наносится в следующем порядке: 1) все заординированные точки; 2) точки, расположенные по съемочной линии; 3) точки ситуации, снятые разными методами. При этом необходимо вести постоянный контроль работы путем сличения расстояний между твердыми точками, взятыми из плана с расстояниями, полученными в результате измерения контрольных связей. Расхождение указанных расстояний не должно превышать 10 см.

Одновременно с ситуацией наносят пикетные точки, взятые для рисовки рельефа. Отметки выписываются с левой стороны пикетов.

Территории предприятий в большинстве случаев спланированы или рельеф их искажен различными земляными работами. Изобразить рельеф таких территорий одними только горизонталями невозможно, поэтому изрытую часть площадки характеризуют отметками.

На плане территории площадки следует выписывать достаточное количество отметок для инженерных расчетов.

Горизонтالي по выписанным на плане отметкам проводят путем интерполяции между двумя отметками, лежащими на концах линии одного и того же уклона. Интерполяция производится на основе устных расчетов (для ускорения работы).

Пример. Предположим, что между двумя пикетами — ПК-1 с отметкой 41,10 и ПК-3 с отметкой 40,40 м — нужно найти точку с отметкой 41,00 м. Расстояние между пикетами 22 м. Разность отметок этих пикетов 0,70 м.

Чтобы найти искомую точку, необходимо на линии отложить от ПК-3 расстояние x , соответствующее превышению 0,60 м. Составим отношение

$$\frac{x}{22} = \frac{0,60}{0,70}, \text{ откуда } x = \frac{0,60 \cdot 0,22}{0,70} = 18,8 \approx 19 \text{ м.}$$

Отложив 19,0 м в масштабе плана на линии ПК 3-1 от ПК-3, получим точку с отметкой 41,00 м.

Эту точку с отметкой можно получить иначе. Превышение на каждый метр расстояния: $\frac{0,7}{22} = 0,032$. Следовательно, чтобы получить точку с отметкой 41,00 м от ПК-1 откладываем в сторону ПК-3 расстояние, равное примерно 3 м в масштабе ($0,1 : 0,032 = 3$).

Горизонтали на планах масштаба 1 : 500, как правило, проводят через 0,5 м. Все горизонтали, кратные 5 м, утолщают.

Съемка сетей подземных и воздушных коммуникаций промышленных предприятий. К подземным коммуникациям (инженерным сетям) относятся трубопроводы, кабели и устройства, предназначенные для подачи и отвода воды, сточных жидкостей, теплоносителей, воздуха, технических жидкостей и газов.

Съемка подземных сетей состоит из плановой и высотной съемки выходов подземных сетей (колодцев, камер, сифонов, выпусков и т. д.) и съемки их в траншеях и шурфах.

Все подземные сети должны быть обследованы в колодцах, траншеях и шурфах.

Съемка сетей подземных коммуникаций входит в комплекс инженерно-геодезических работ по съемке территории промышленного предприятия, поэтому она производится с геодезического обоснования, которое прокладывается для съемки этой территории.

Перед съемкой подземных коммуникаций необходимо собрать и изучить материалы технической документации, имеющейся на данном промышленном предприятии, в проектной и строительно-монтажной организациях: проектную документацию, исполнительные чертежи и эскизы. Одним из основных документов действующего предприятия является генеральный план с инженерными сетями. На основе топографического плана и собранного материала составляют схему подземных сетей, которая согласовывается со специальными службами предприятия. После сбора исходных данных производят рекогносцировку сетей в натуре путем тщательного осмотра площадки предприятия, в процессе которой на схему наносят все выходы подземных сетей на дневную поверхность и нумеруют.

Съемка сетей подземных коммуникаций по методам работы бывает двух видов: а) съемка сетей с поверхности земли; б) съемка сетей, находящихся в полупроходных и проходных туннелях.

Положение сетей в плане определяется координатами точек пересечения осей трубопроводов и углов их поворота. Обычно на углах поворота подземных коммуникаций устраивают смотровые колодцы, но бывают углы поворота и без смотровых колодцев. В этих случаях на основе собранной технической документации и результатов опроса служащих, а иногда и по наружным признакам следует уточнить местоположение угла поворота и произвести вскрытие сетей при помощи траншей, располагая их в направлении, перпендикулярном к предполагаемой оси коммуникации.

Съемка выходов подземных коммуникаций на поверхность выполняется обычными методами: полярным, способом перпендикуляров и засечками. Колодцы снимают промерами на центр колодца. Определяют координаты всех узловых и угловых колодцев. Местоположение линейных колодцев определяют промерами расстояний между ними и угловыми колодцами.

При вскрытии и обследовании колодцев составляют эскиз колодца в вертикальном сечении и в плане; обмеряют элементы колодцев с занесением данных обмера на вертикальный разрез и план колодца; определяют материал колодца и трубопроводов, диаметры, точки пересечения осей, углы поворота коммуникаций, и промерами привязывают эти точки к центру крышки колодца; нивелируют элементы колодца и сетей путем измерения расстояний по вертикали от ободка люка колодца до определяемого элемента. При обследовании колодцев измеряют диаметры трубопроводов, причем во всех колодцах, кроме канализационных, измеряют наружный диаметр трубы кронциркулем, или измеряют рулеткой длину окружности трубы, а диаметр вычисляют по формуле

$$d = \frac{S}{3,14} \quad (258)$$

где S — длина окружности.

В канализационных колодцах внутренний диаметр трубы измеряется рейкой с прибитой к ее концу перпендикулярно планкой или вбитым в ребро рейки металлическим стержнем. В колодцах слаботочной канализации измеряют диаметры всех труб и кабелей. Чтобы установить размеры диаметров труб в сетях, измеряют диаметры трубопроводов при входе и выходе из колодца. На эскизах колодцев в плане показывают ориентировку колодца по странам света.

При съемке подземных сетей следует ежедневно составлять дежурные схемы сетей, раздельных или совмещенных, на которых до того, как составлен исполнительный план предприятия, по координатам наносят колодцы—угловые,

узловые и линейные. Масштаб схемы должен быть не менее 1 : 2000. Она является основным исполнительным документом при съемке сетей.

После натурного обследования подземных коммуникаций и вычисления координат необходимых точек составляется каталог колодцев; на основные планы съемки в масштабе 1 : 500 наносят все наружные элементы сетей (колодцы, входные будки и т. п.). Линейные колодцы наносят по измеренным расстояниям между ними и угловыми колодцами. Между колодцами условными обозначениями показывают линии сетей подземных коммуникаций. Записывают их технические характеристики: диаметры трубопроводов, электронапряжение, сечения и марки кабелей, их количество. На основные планы наносят также все вводы и выводы сетей в здания и сооружения, выписывают координаты всех колодцев и углов поворота.

Кроме того, в масштабе 1 : 2000 составляют сводные планы-схемы сетей, раздельные или совмещенные, на которые наносят: координатную сетку; разграфку планшетоу М 1 : 500; границы предприятия; основные здания, сооружения, связанные с сетями подземных коммуникаций, колодцы и другие их выходы; линии сетей подземных коммуникаций, а также расстояния между колодцами и вводы сетей в здания и сооружения и выводы из них; таблицы условных обозначений, принятых при составлении плана-схемы.

На основе имеющейся технической документации, составляют предварительную схему сетей воздушных коммуникаций. В масштабе 1 : 500 или 1 : 2000, в зависимости от густоты сетей, определяют координаты всех угловых и узловых опор (их центров, если опоры имеют фундаменты). Если координаты центров опор определить нельзя, находят координаты двух углов фундаментов опор, а центры определяют линейными промерами.

Для получения отметок воздушных трубопроводов измеряют высоту опоры (обычно от верха фундамента, отметка которого установлена по нивелированию) до низа и верха трубопровода. Разность парных измерений дает величину наружных диаметров трубопроводов. Такие измерения обычно производятся рулеткой, нулевой конец которой поднимают на нужную высоту посредством шеста. Высоту подвеса кабелей измеряют в местах их максимального провеса.

Важным этапом работы является составление эскизов и обмер сетей воздушных коммуникаций. На эскизах указывают конструкцию опоры и ее фундамента, материал фундамента и опоры, способ крепления провода на опоре, провес проводов, высоту проводов над поверхностью фундамента и основные промеры фундамента и самой опоры. Опоры и сети изображают условными знаками, а вдоль линии сетей указывают их технические характеристики.

Затем воздушные сети наносят на основной план М 1 : 500 и на сводный план М 1 : 2000 совместно с сетями подземных коммуникаций.

§ 105. Применение аэрофотосъемки при проведении исполнительных съемок

Аэрофотосъемка промышленных предприятий и жилых поселков отличается от аэрофотосъемки, производимой с целью картографирования территории. Материалы аэрофотосъемки предназначены для решения конкретных инженерных задач, составления проектных документов. Поэтому она производится в крупных масштабах и в основном на небольших площадях. Границы съемки определяются размерами и перспективой развития промышленного предприятия.

Для аэрофотосъемки необходима карта крупного масштаба, порядка 1 : 25 000. При отсутствии таких карт используют генеральную схему промышленного предприятия.

При исполнительной съемке в масштабе 1 : 1000 применяют аэрофотоаппараты с фокусным расстоянием объективов 100 мм (для составления графических планов) и с фокусным расстоянием 200 мм (для составления фотопланов). Для составления плана М 1 : 1000 используют масштаб аэрофотосъемки 1 : 3000—1 : 2000.

Требования к аэрофотоматериалам следующие: продольное перекрытие — 56—70, поперечное — 35—45%; углы наклона — не более 5% (отклонение оптической оси от вертикали).

После проведения летносъёмочных работ в полевых условиях должны быть подготовлены аэрофильмы, контактные отпечатки с аэрофильмов в количестве, предусмотренном заданием, репродукции накидного монтажа, оформленные согласно утвержденным образцам и паспорта залётов.

Для составления фотопланов по материалам аэрофотосъёмки требуется определенный минимум геодезических данных: высоты и координаты точек местности, хорошо различимых на снимках, называемых опознаками. Обычно для привязки аэроснимков бывает достаточно точек планово-высотного обоснования, имеющегося на территории промышленного предприятия.

Принципиальная схема планово-высотного обоснования при использовании материалов аэросъёмки для топопланов и фотопланов с рельефом в масштабе 1 : 2000—1 : 1000 составляется следующим образом:

- отыскивают на местности плановые и высотные опознаки (намеченные проектом) и закрепляют их;

- прокладывают теодолитные и высотные (при отсутствии поблизости точек геодезической основы) ходы для привязки опознаков;

- определяют координаты и высоты опознаков;

- дешифруют аэрофотоснимки;

- оформляют результаты полевых измерений и наблюдений.

Точки местности, выбранные в качестве плановых опознаков, должны опознаваться на аэрофотоснимках с точностью 0,1—0,2 мм.

После полевых работ по привязке аэроснимков должны быть отработаны и подготовлены следующие документы: схема планово-высотного обоснования в масштабе репродукции накидного монтажа, на которой должно быть указано расположение опознаков, их номера, положение ходов по привязке опознаков; аэрофотоснимки с нанесенными на них опознаками и сводная ведомость координат и высот всех опознаков.

Полевое дешифрование. Процесс дешифрования заключается в определении по изображению на аэроснимках, фотосхемах и фотопланам топографии местности, гидросети, а также зданий и инженерных сооружений.

Дешифрование производится в полевых и камеральных условиях, по прямым и косвенным признакам. К прямым признакам относятся размер, форма, пространственное положение объектов, тени и т. п.; к косвенным — взаимосвязь между явлениями, отраженными на снимке и пространственная связь между зданиями, сооружениями. Практически в поле дешифруются здания, воздушные сети высокого и низкого напряжения, подземные коммуникации и т. п.

Для дешифрования зданий производится их обход и, в случае необходимости, обмер их в натуре с составлением соответствующих ведомостей.

Дешифрование проводят по аэроснимкам, дающим четкое и яркое изображение. Дешифрованные объекты переносят на фотоплан. На фотоплане, исходя из точек планового обоснования и различных опознаков, легко произвести полунструментальное дешифрование нечетких или совсем не отраженных на снимках линейных объектов.

Качество и детализация дешифрования зависят главным образом от масштаба аэрофотоснимков.

Составление фотосхем. Фотосхема состоит из отдельных аэроснимков, смонтированных в определенном порядке на мягкой или жесткой основе (бумаге, картоне или фанере).

Фотосхема монтируется из отдельных снимков в виде мозаики. Снимки соединяют по общим ситуационным контурам. Фотосхема может быть сделана или на всю территорию залета или только на часть ее (участок мостового перехода, пересечение трассой населенного пункта и т. д.).

Чтобы составить фотосхему участка определяют его границы; подбирают комплект аэрофотоснимков и материал для основы, на которой будут монтировать снимки; определяют линии порезов на перекрытиях соседних снимков в каждом маршруте (линия пореза должна проходить посередине перекрытия) и

на перекрытиях между маршрутами; монтируют снимки среднего маршрута на основу и производят прорезы между снимками; монтируют маршруты к среднему, производят прорезы между снимками в маршрутах и между маршрутами; фотосхемы оформляются пояснительными подписями и рамками согласно утвержденным образцам.

Составление масштабных фотосхем. Масштабной фотосхемой называется фотосхема, приведенная к заданному масштабу. Такая схема дает возможность с большой точностью производить линейные измерения.

Чтобы привести фотосхему к заданному масштабу, необходимо иметь координаты не менее пяти точек местности, легко отождествляемых на фотоснимках, причем четыре из них должны располагаться по углам фотосхемы, а одна — посередине. Координаты этих точек можно снять графически с плана максимально крупного масштаба.

Масштабную фотосхему изготавливают двумя способами.

Первый способ. На лист ватмана наносят километровую сетку с цифровыми делениями; по координатам наносят выбранные точки; с фотосхемы снимают на фотопленку репродукцию (негатив); негатив через фототрансформатор редуцируют на подготовленную основу на ватмане по общим точкам фотосхемы и основы; изготавливают фотоотпечатки.

Второй способ. После нанесения на ватман километровой сетки и выбранных точек снимают копию на прозрачную основу (целлулоид, кальку и т. п.); копию закладывают в репродукционный аппарат, а фотосхему закрепляют на экране; передвигая камеру, добиваются совмещения точек основы с идентичными точками фотосхемы; копию основы вынимают из аппарата, вместо нее закладывают фотопленку и фотографируют (негатив фотосхемы получается в заданном масштабе); изготавливают фотоотпечатки; отпечатки наклеивают на подложку и оформляют согласно утвержденным образцам.

Если фотосхема большая, ее разделяют на секции и каждую секцию приводят к заданному масштабу, а затем обрабатывают одним из указанных способов.

Составление уточненных фотосхем. Уточненная фотосхема — фотодокумент, пригодный для производства достаточно точных линейных измерений, который может заменить фотоплан.

Для изготовления уточненных фотосхем необходимы фототрансформаторы, дающие возможность исправить искажения снимков, вызванные наклоном камеры при аэрофотосъемке, и одновременно ввести их в заданный масштаб.

Составление уточненной фотосхемы производится следующим образом:

1. На репродукцию накидного монтажа отбиваются границы обрабатываемого участка.

2. Подбирается комплект аэрофотоснимков.

3. По картам (планам) максимально крупного масштаба выбираются точки, легко отождествляемые на аэрофотоснимках (на каждый аэрофотосъемочный маршрут выбирают по пять-шесть точек: по две в начале и в конце маршрута и по одной-две в середине).

Выбранные точки накладываются на снимках и нумеруются.

4. С плана снимаются графические координаты этих точек и выписываются в специальную ведомость.

5. Выполняется фототриангуляция, т. е. графическое определение координат дополнительных точек, причем в сеть обязательно включаются все выбранные точки.

6. Производится редуцирование, т. е. введение в масштаб фототриангуляционных сетей на основу по точкам, имеющим координаты (на основу перекладываются все точки, полученные для трансформирования аэрофотоснимков).

7. Производится трансформирование снимков и их монтаж. Съемки разрезаются по серединам перекрытий и подклеиваются на основу. Схема подрезается и оформляется согласно утвержденным образцам.

Точность фотосхемы зависит от точности фототриангуляции и качества плана или карты, принятой за основу (с которой были сняты координаты).

Изготовление фотопланов. Фотоплан может быть изготовлен с рисовкой рельефа или без нее.

Составление фотопланов включает:

1. Подготовительные работы (уточнение границ участка, отбор снимков, составление проекта полевых привязочных работ).

2. Полевые работы по привязке и дешифрованию аэрофотоснимков.

3. Камеральные работы по составлению фотопланов: развитие сетей фототриангуляции и редуцирование их; составление основы для фотоплана; трансформирование фотоснимков и их монтаж; рисовка рельефа на фотопланах на стереоприборах; перенос результатов полевого дешифрования со снимков на фотоплан; закрепление тушью рельефа и результатов дешифрования на фотопланах и оформление их согласно утвержденным образцам.

Таким образом, составление фотопланов осуществляется тем же способом, что и составление уточненной фотосхемы с той лишь разницей, что редуцирование фототриангуляционных сетей производится на опорные точки, координаты которых имеют большую геодезическую точность и, как правило, определяются в поле.

При выполнении полевых работ производят дешифрование снимков и одновременно определяют необходимое количество опорных высотных точек, позволяющих, на изготовленном фотоплане зарисовать рельеф и ситуацию.

Фотоплан является равноточным масштабным документом. Его точность зависит от масштаба и сложности рельефа, а также от качества аэрофотосъемки.

Использование наземной стереофотограмметрии в инженерных работах. Наземная стереофотограмметрия применяется для съемки надземных коммуникаций. Данным методом определяют отметки верха трубопроводов, подвесков проводов, координаты углов зданий, габариты сооружений, диаметры труб, что позволяет легко определять размеры сооружений, недоступных для непосредственных измерений.

При съемке используют фотограмметрический и стереофотограмметрический способы. В первом случае при фотографировании в одной вертикальной плоскости рядом с объектом съемки устанавливают рейку-эталон. По изображению этой рейки определяют масштаб фотоснимка и вычисляют размеры объектов в натуре. При втором, более точном стереофотограмметрическом способе фотографирование осуществляют с базиса, а пространственные координаты вычисляют по результатам обработки стереопар.

Наземная стереофотограмметрическая съемка производится фототеодолитом. Базисы размещают преимущественно на возвышенных местах параллельно снимаемому сооружению. Их длина составляет $\frac{1}{5}—\frac{1}{10}$ максимального расстояния до фотографируемых объектов. В качестве левой точки стояния, относительно которой ведут камеральную обработку снимков, используют пункты геодезического обоснования ранее выполнявшейся инженерно-топографической съемки.

Высоту пунктов определяют техническим нивелированием. Длину базисов (до 20 м) измеряют компарированной рулеткой и при помощи дальномерных насадок с относительной ошибкой 1 : 4000, а их дирекционные углы определяют по угловым наблюдениям. Ориентирование оптической оси камеры относительно базиса проводят по тщательно выверенному ориентирующему устройству фототеодолита. Ось в строго горизонтальном направлении устанавливают по уровням фотокамеры.

В качестве контрольных точек используют легко опознаваемые опоры линий электропередачи, координаты и отметки которых были известны по геодезическим измерениям. Трудно распознаваемые точки объекта перед съемкой маркируют.

Фотограмметрические координаты измеряют на стереокомпараторе со средней квадратической ошибкой около ± 4 мм. Габариты сооружений вычисляют по разности фотограмметрических координат. По результатам сравнений отметок точек и размеров объектов, полученных методом фототеодолитной съемки, с данными геодезических измерений в натуре вычисляют средние квадратические ошибки стереофотограмметрического определения отметок точек и размеров. Они соответственно равны ± 5 и ± 3 см.

Диаметры труб на опорах и габариты вертикально расположенных частей сооружений вычисляют как разность верхней и нижней отметок. Средняя квадратическая ошибка фотограмметрического определения диаметра труб таким способом составляет около ± 1 см.

Точность результатов фототеодолитной съемки удовлетворяет требованиям проектирования.

Наземная стереофотограмметрия применяется для наблюдений за деформациями сооружений, при испытаниях мощных кранов, исследовании динамических процессов. Этот метод намного облегчает полевые работы и повышает производительность труда.

Глава VI. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

§ 106. Виды деформаций зданий и сооружений

Основания деформируются в результате увеличения давления поднимаемого сооружения, а также действия других внешних и внутренних факторов: колебания уровня грунтовых вод, напора ветра, термических сезонных явлений, динамических воздействий на грунты и т. п. Деформация основания вызывает осадку и искривление всего сооружения в целом или отдельных его частей. Она происходит в результате взаимного перемещения частиц грунта и их сжимаемости. При этом основным фактором, влияющим на сжимаемость грунтов, является пористость, от которой в значительной степени зависит величина перемещения сооружения. Кроме того, на величину и скорость перемещения действуют свойства самого фундамента, его вес, размеры, форма, жесткость, а также распределение давления на подошве, тип и материалы несущих надфундаментных конструкций и т. д.

Перемещение фундаментов и всего сооружения вниз называется осадкой, перемещение фундаментов вверх — подъемом, или выпучиванием, а перемещение в сторону — горизонтальным смещением, или сдвигом сооружения.

Неравномерные осадки наиболее опасны для сооружений. Происходят они в результате неодинаковой сжимаемости грунтов под фундаментом, вызывая различные перемещения и деформации: крены, прогибы, перекосы, кручение и трещины.

Сооружения по чувствительности к неравномерным осадкам делят на следующие категории:

абсолютно жесткие, которые по характеру конструкции практически не могут иметь никаких относительных деформаций и оседают как одно целое, равномерно или с креном (например, домны, дымовые трубы, железобетонные силосные башни, башни элеваторов на сплошной фундаментной плите и т. п.);

вполне жесткие, состоящие из жестко связанных по всем направлениям элементов, образующих замкнутые контуры (включая линию опор), но которые все же могут в какой-то степени перемещаться (например, железобетонные рамные конструкции на перекрестных ленточных фундаментах или сплошных плитах с ребрами жесткости, здания с несущими кирпичными стенами, связанными между собой капитальными стенами и монолитными железобетонными междуэтажными перекрытиями и т. п.);

относительно жесткие, состоящие из элементов, жестко связанных между собой не по всем направлениям, и представляющие собой распорные схемы, чувствительные к неравномерным осадкам (например, рамы, мало связанные междуэтажными перекрытиями и опирающиеся на отдельно стоящие или ленточные фундаменты в одном направлении и т. п.);

нежесткие, элементы которых мало связаны между собой и взаимное перемещение которых вследствие незначительной неравномерной осадки фундаментов мало влияет на условия их работы и не вызывает дополнительных напряжений в элементах конструкции (например, отдельные колонны на фундаментах со свободно опирающимися стропильными фермами и т. п.).

При возведении сооружений величина их полной осадки складывается:

1) из осадки, вызываемой нарушением структуры верхнего слоя грунта в котловане, непосредственно примыкающего к подошве фундамента (при тща-

тельном проведении строительных работ этих осадок, однако, можно избежать);

2) из пластических выдавливания грунта в начальный момент загрузки (эти осадки бывают невелики, если давление, оказываемое фундаментами на грунты, меньше предела их выдавливания);

3) из длительных осадок, вызываемых сжатием всей несущей толщи грунта под фундаментом (осадки этого рода — наибольшие — возникают вследствие деформации всей толщи грунтов под фундаментом; они складываются из деформации вертикального уплотнения и деформации бокового расширения грунтов);

4) из просадки, возникающей вследствие дополнительных деформаций, носящих провальный характер, и самой значительной по величине.

Вертикальные деформации оснований зданий и сооружений подразделяются на:

1) осадки-деформации, не сопровождающиеся коренным изменением состояния грунта (они бывают равномерными, когда все точки сооружения за одно и то же время перемещаются на одну и ту же величину, и неравномерными, когда точки перемещаются на разные величины);

2) просадки-деформации, носящие провальный характер, вызываемые коренным изменением состояния грунта (например, уплотнением макропористых грунтов при их замачивании, уплотнением рыхлых песчаных грунтов вследствие сотрясения, оттаиванием мерзлых грунтов, выпиранием грунта из-под сооружения и т. п.).

Деформации основания характеризуются: абсолютной (полной) осадкой отдельных точек фундамента; средней осадкой здания или сооружения; перекосом конструкций; креном; относительным прогибом; кручением; трещинами.

§ 107. Причины осадок и деформаций сооружений

Основные причины осадок и деформаций можно разделить на общие и частные.

Общие причины обусловлены особенностями инженерно- и гидрогеологических условий, а также физико-механическими свойствами грунтов, а именно:

1) свойствами грунтов подвергаться упругим и пластическим деформациям под влиянием нагрузки, просадкам, оползням, карстовым явлениям и т. п.;

2) вспучиванием на морозе водонасыщенных и оттаиванием мерзлых грунтов;

3) неоднородностью геологического строения основания на устойчивых и неустойчивых грунтах, подвергающихся неравномерному сжатию и перемещению под воздействием веса сооружения;

4) изменением гидротермических условий;

5) неправильной планировкой участка, плохим дренажем атмосферных и паводковых вод и др.

§ 108. Наблюдение за осадками зданий и сооружений

Начальный цикл наблюдений проводят с целью получения исходных отметок опорных реперов и марок. Он выполняется исключительно тщательно. Нивелирование проводят не ранее чем через 10 дней после установки реперов.

Второй цикл наблюдений осуществляют после возведения фундамента, а последующие проводятся периодически через 10—30 дней до получения полной нагрузки на основание. Сроки изменения осадок увязываются с окончанием определенных этапов строительных работ (кладка цоколя, кладка стен по этажу и т. д.). Это делается для удобства подсчета давления на грунт. Календарный план измерения осадок согласовывается также с графиком работ по монтажу оборудования. Обычно наблюдения приурочиваются к периоду, когда изменения нагрузки на основание достигает 25; 50; 75 и 100% проектной мощ-

ности здания или сооружений. Всего должно быть проведено не менее четырех циклов наблюдений. В дальнейшем наблюдения проводят три-четыре, затем два раза в год и, наконец, один раз в год. По окончании строительства измерение осадок фундаментов следует продолжать в течение примерно пяти лет при глинистых грунтах основания и в течение двух лет при песчаных.

Каждый цикл наблюдений проводят в возможно более короткий срок с тем, чтобы срочно получить характеристику состояния всего сооружения. Повторное нивелирование марок выполняют, соблюдая одну и ту же рационально выбранную систему ходов.

Существенным является вопрос о точности нивелирных работ. В первую очередь исходят из допустимой величины осадок для тех или других сооружений. Например, для силосных корпусов элеваторов на сплошных железобетонных плитах она равна 20—40 см, жестких сооружений с мощными фундаментами (дымовые трубы, доменные печи и др.) — соответственно 12—20 см, гражданских сооружений каркасного типа — 5—8 см. Погрешность определения величины осадки не должна превышать 5—10% указанных величин.

Для разрезных конструкций промышленных сооружений каркасного типа допустимая разность осадок составляет 1 : 500, а для статически неопределимых конструкций — 1 : 2000 величины пролета. В большинстве случаев при величине крена 0,001 прочность и устойчивость несущих конструкций не нарушаются, и сооружения эксплуатируются нормально. Для фабрично-заводских труб допустимая величина крена — 0,02.

Для наблюдений за осадками ответственных зданий и сооружений используется метод геометрического нивелирования II—III классов. При наблюдениях за осадками фундаментов на сильно сжимаемых, оттаивающих и просадочных грунтах, на которых средняя скорость осадки более 5 мм в месяц, применяется нивелирование III класса короткими лучами (длина не более 30 м). Осадку монументальных и ответственных сооружений определяют методом высокоточного геометрического нивелирования короткими лучами (3; 6; 25, чаще 10—15 м). Этот метод позволяет за короткий срок (один-три месяца) определить скорость и величину осадки старых зданий, в которых появились трещины или другие деформации. При этом используются высокоточные нивелиры типа Н2, Н3 и инварные штриховые рейки различной длины. Нивелирование выполняется замкнутыми ходами, при двух горизонтах инструмента с помощью одной рейки.

По окончании каждого цикла наблюдений составляют ведомость отметок нивелирных марок и таблицу осадок. В ведомости указывают номера марок, их расположение и абсолютные отметки. В таблице осадок для каждой марки указывают величину абсолютной осадки между последними циклами наблюдений, суммарную осадку от начала постройки сооружений и фактическую нагрузку на основание. По результатам, внесенным в эту таблицу, строят график изменения осадок сооружений во времени.

Для наблюдения за осадкой зданий используют также метод гидростатического нивелирования. По периметру фундамента здания на одном уровне закладывают трубу, из которой в места наблюдений выводят градуированные трубки. Вся эта система, жестко связана с фундаментом, заполняется водой так, чтобы в ней отсутствовали пузырьки воздуха. Осадка определяется по разности отсчетов уровня в трубках. Точность измерения осадок при помощи такой системы составляет 0,15—0,20 см.

В случае появления в сооружении каких-либо заметных следов деформаций (трещины, сдвигов и др.) наблюдения проводятся систематически. Следы деформации фотографируют или зарисовывают. Величину трещин определяют при помощи специальных раздвижных маяков.

Измерения осадок и деформаций сооружений разделяют на две группы. К первой относят измерения, связанные с установкой приборов непосредственно на сооружении или внутри него. К этой группе относят маятниковые приборы, кренометры, деформетры, микрокренометры и т. д.

Ко второй группе относят измерения, при помощи которых определяют величины абсолютных вертикальных и горизонтальных смещений сооружений по отношению к практически неподвижным точкам.

Эта группа включает: геометрическое и гидростатическое нивелирование; триангуляционный и створный методы; фотограмметрический и стереофотограмметрический методы.

Результаты измерений первой группы характеризуют относительное смещение частей сооружения, результаты геодезических измерений — величину и направление смещений сооружения относительно неподвижных точек — знаков геодезической основы, закладываемых с учетом ряда специальных требований.

§ 109. Глубинные реперы и нивелирные марки

Для измерения осадок и деформаций сооружения в его теле закрепляют марки, положение которых периодически изменяется относительно неподвижных реперов, закладываемых на некотором расстоянии от сооружения. В отличие от общепринятого в геодезии понятия здесь маркой (осадочной) называется всякий временный или постоянный нивелирный знак, закладываемый в несущих конструкциях и изменяющий свое высотное положение вследствие осадки сооружения.

Репер состоит из трех основных элементов: головки, базы и защитных устройств. Реперная головка, предназначенная для установки пятки нивелирной рейки, изготавливается из бронзы или нержавеющей стали в виде полусферической поверхности, радиусом 40 мм.

Базой репера является металлический штырь, или чаще — труба, зацементированная в скальный грунт, выступающий на дневную поверхность, или металлическая забивная железобетонная (набивная) свая, закладываемая в песчаный или глинистый грунт. Выбор базы определяется геологическими условиями строительной площадки.

База репера, заделанная в грунт, обеспечивает устойчивость репера в течение длительного времени.

Защитные устройства, предохраняющие репер от деформации, бывают нескольких видов. Так, при закладке репера в скальном грунте, выдалбливают неглубокий колодец и устраивают люк с чугунной крышкой. Для свайных реперов устраивают бетонный или кирпичный колодец, глубина которого на 0,5 м ниже границы промерзания грунта. Над колодцем располагают чугунный люк с наружной чугунной крышкой и внутренней деревянной, обитой войлоком. Реперную головку располагают в центре колодца на 0,5 м ниже чугунной крышки. Колодец засыпают до уровня реперной головки сухими опилками, шлаком или торфом.

Для наблюдения за осадкой сооружений применяют реперы различной конструкции. Биметаллический репер Брайта представлен на рис. 177. Длинная обсадная труба ($\varnothing 100$ —155 мм) репера при бурении не доводится до коренной породы на 20—30 мм. В середине трубы располагают железный и медный стержни ($\varnothing 15$ —20 мм), концы которых погружают на 35—40 см в коренную породу и бетонируют. Стержни поддерживаются в обсадной трубе кольцами из джута или веревки, пропитанной маслом. Кольца располагают через каждые 5 м по длине трубы. Чтобы в трубу не проникали поверхностные воды, ее сверху закрывают резиновой мембраной и защитной крышкой. Репером служит железный стержень, заканчивающийся муфтой с наконечником из нержавеющей стали. Медный стержень, заканчивающийся несколько ниже муфты, используется для определения изменения длины железного стержня. На медном стержне укрепляют шкалу со штрихами через 0,2 мм, а на железном — против шкалы наносят индекс в виде штриха. Отсчет по шкале делают при помощи лупы. Пользуясь этим отсчетом, определяют изменение длины x железного стержня по формуле

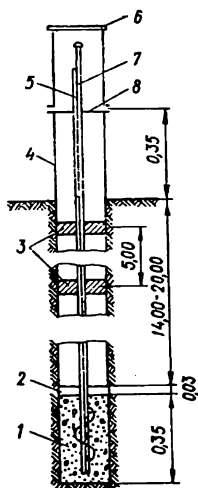
$$x = \frac{\alpha_{\text{ж}} \Delta}{\alpha_{\text{ж}} - \alpha_{\text{м}}}, \quad (259)$$

где $\alpha_{\text{ж}}$ — коэффициент линейного расширения железа;
 $\alpha_{\text{м}}$ — коэффициент линейного расширения меди.

Предельная ошибка определения изменения длины репера составляет $\pm 0,5$ мм.

Δ — величина смещения стержней.

При выборе мест заложения реперов предпочтение отдают изверженным породам, известнякам, песчаникам, плотным мергелям, глинам древних отложений (юра, карбон) и др.

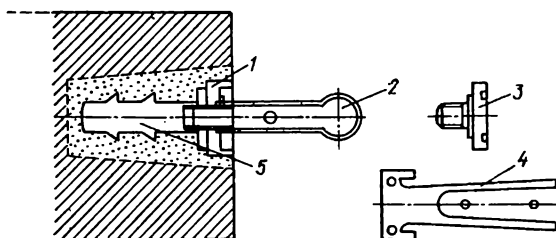


← Рис. 177. Биметаллический репер системы Брайта:

1 — бетон; 2 — зазор 20—30 мм; 3 — кольца из джута или веревки; 4 — обсадная труба; 5 — медный стержень; 6 — защитная крышка; 7 — железный стержень; 8 — резиновая мембрана.

Рис. 178. Стенная закрытая марка:

1 — головка; 2 — установочный шаровой болт; 3 — крышка; 4 — ключ; 5 — хвостовина.



Реперы, предназначенные для наблюдений за осадкой сооружений, нельзя закладывать в местах действия динамических нагрузок на участках, подверженных оползням, карстовым явлениям и др. Практически минимальное расстояние, на которое должен быть удален репер от сооружения, принимается равным половине глубины заложения репера. Границей зоны существенных напряжений, обусловленных массой сооружения, считают плоскость, проходящую через грань фундамента с наклоном к вертикали под углом $\alpha = 25-30^\circ$.

Репер располагают вне мест проездов, складских территорий и как можно дальше от агрегатов, создающих вибрации.

При выборе места для установки репера учитывают требования производства нивелирных работ. Реперы размещают возможно ближе к маркам, чтобы повысить точность определения превышения между ними. В течение всего периода наблюдений должен быть обеспечен беспрепятственный и удобный подход к реперу с рейкой.

В районе наблюдений следует закладывать не менее трех глубинных реперов. Два основных располагают на противоположных сторонах здания и один дополнительный — в подвале.

Контрольные нивелирные марки закладывают в сооружении так, чтобы по результатам наблюдений можно было судить о величине общих деформаций сооружения (осадках, крене, перекосах) и его основания. Обычно их размещают около пройденных буровых скважин и на таких блоках сооружения, для которых наиболее просто и точно определяются действующие нагрузки и расчетные осадки. Чаще всего стенные марки изготовляют из обрезной угловой стали длиной 160 мм — при закладке в каменные стены и длиной 60 мм — при установке на металлических колоннах. Для установки марок в стене пробивают гнезда глубиной 120—150 мм. Уголок заделывают цементным раствором на длину 100 мм под углом 60° к плоскости стены, причем уголок располагают ребром вверх.

Стенные марки могут быть также скрытыми. При их установке на металлических конструкциях один конец уголка срезают под уклоном 60° к ребру и

приваривают к элементу конструкции. При установке марок на железобетонных колоннах обнажают рабочую арматуру, приваривают к ней уголок и вновь заделывают бетоном вскрытое место. На фундаментных плитах устанавливают плитные марки, представляющие собой заклепку, диаметр стержня которой равен 20 мм. Эту марку заделывают в плиту на глубину 100 мм. Плитную марку размещают в защитную коробку с откидной или завинчивающейся крышкой. При наблюдениях за осадкой сооружений применяют чугунные литые марки обычного типа.

Обычные марки и стенные реперы часто повреждаются во время строительных работ. Более удобной является стенная закрытая марка, сконструированная Н. И. Макаровым и С. А. Каленковым (рис. 178). Этот знак закладывается заподлицо со стеной и закрывается крышкой, которая во время наблюдений снимается и вместо нее ввинчивается шаровой болт, на который устанавливается рейка.

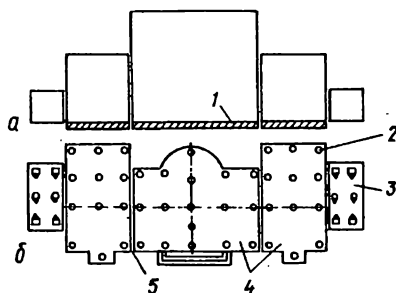
Шкаловые марки Пискунова позволяют при наблюдениях не пользоваться нивелирными рейками. Эти марки закладываются отвесно на отметке, близкой к горизонтальной оси инструмента. Предварительно в стену здания заделывают металлическую планку, к которой привинчивается марка. Шкала на марке строится по типу инварной рейки.

При возведении зданий, за осадкой которых будут проводиться наблюдения, места установки знаков выбираются проектным институтом по согласованию со строительной организацией.

Число закладываемых марок зависит от характера сооружения и его размера. Их устанавливают в количестве, достаточном для выявления очагов осадок, определения деформации фундамента в продольном и поперечном направлениях и построения линий равных величин осадок по всей площади фундамента (рис. 179).

Рис. 179. Размещение марок на зданиях с резкими перепадами по высоте:

а — схематический разрез здания;
б — план; 1, 4 — железобетонная плита; 2 — плитные марки; 3 — стенные марки; 5 — осадочный шов.



При жестком коробчатом фундаменте нивелирные марки закладывают на углах по его периметру (через 15—20 м) и по всей площади из расчета, что на каждые 100 м приходится по одной марке. В случае нежестких сооружений марки закладывают на всех наружных и внутренних несущих стенах на расстоянии 10—15 м. Считается достаточным, чтобы одна марка приходилась на каждые 30 м² площади фундамента. На сооружениях, в которых при неравномерных осадках исключена возможность взаимных смещений отдельных элементов, допускается установка четырех марок. Их размещают по периметру фундаментов так, чтобы расстояние между ними было небольшим. В гражданских зданиях марки размещают по периметру через 10—12 м (на углах здания, в местах примыкания поперечных и продольных стен, по обеим сторонам осадочных швов). При ширине здания более 15 м марки закладывают также в лестничных клетках и на внутренней продольной оси здания.

Нивелирные марки закладывают в местах наиболее эффективного проявления ожидаемых деформаций сооружения. Их располагают на участках фундамента с резкими переходами нагрузки на основание, по обеим сторонам осадочных швов, на опорах каркаса и фундаментах агрегатов, а также вокруг

зон с динамическими воздействиями (насосные, воздуходувки, машинные залы и т. д.). Для определения крена и стрелы прогиба фундамента устанавливают от трех до семи нивелирных марок вдоль продольной и поперечной осей сооружения.

В сборных конструкциях марки устанавливают на несущих колоннах каркаса по периметру и внутри здания, на углах торцовых стен, у осадочных швов и в местах примыкания к существующим зданиям. Расстояние между марками должно быть в пределах 10—15 м (рис. 180, 181).

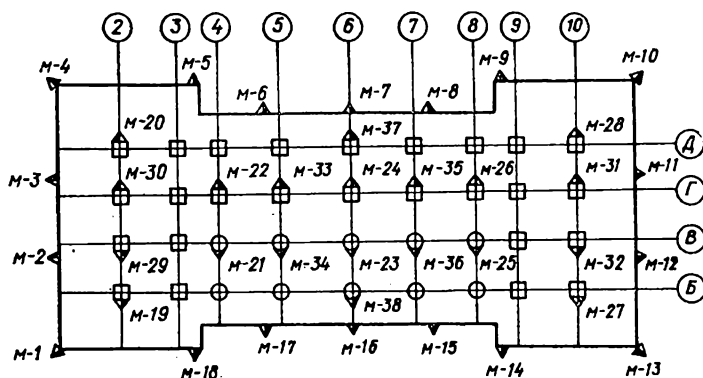


Рис. 180. Размещение марок на колоннах и углах здания.

В случае примыкания вновь строящегося здания к существующему, место примыкания рассматривают как осадочный шов, и марки располагают по обе стороны от него. На старом здании марки устанавливают на расстоянии 25 м от места примыкания нового здания.

Места расположения марок для наблюдений за осадкой фундамента предусматриваются в проекте здания или сооружения. Эти места должны быть удобны для установки рейки. Они не должны быть закрыты стеллажами, нависающими проводами или трубами различных коммуникаций. Марки не следует устанавливать в тесных, запирающихся, а также в узких подвальных помещениях. Размещая марки, учитывают расположение дверей и дополнительных перегородок.

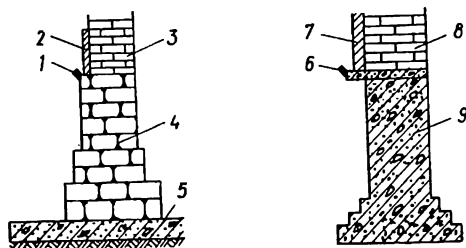


Рис. 181. Размещение марок на консолях или уступах фундамента:

1 — марка на уступе обреза фундамента; 2 — первый ряд облицовки; 3 — цоколь; 4 — бутовый фундамент; 5 — железобетонная плита; 6 — марка на консоли железобетонной плиты; 7 — облицовка; 8 — цоколь; 9 — железобетонный фундамент.

Марки на колоннах и углах зданий рекомендуется устанавливать так, чтобы наблюдения за ними можно было вести по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

В процессе строительства сооружения некоторые марки могут быть застрелены или уничтожены, поэтому в наиболее ответственных местах здания или сооружения следует закладывать их дополнительно. Марки устанавливаются примерно на одном уровне с таким расчетом, чтобы при нормальной высоте инструмента отсчеты по рейкам были в пределах 40—60 см.

При возведении здания или сооружения марки устанавливают последовательно: в первую очередь их закладывают в подготовку фундамента, а затем в верхнюю плоскость сплошной железобетонной плиты или в первые ряды кладки фундамента. Закладку марок производят тогда, когда давление на основание еще не достигло $0,2\text{--}0,5 \text{ кг/см}^2$.

В процессе постройки здания некоторую сложность представляет установка марок по периметру здания, где обычно устраивают облицовку. В этом случае наиболее надежным местом для закладки марок является консоль или уступ фундамента, на которые кладут облицовочные плиты. После облицовки цоколя, в его верхнюю грань закладывают постоянные цокольные марки. Если цоколь облицован гранитом на значительную высоту, то наблюдения ведут по маркам, заложенным в уступах под облицовочными плитами. При этом каждую марку защищают металлической коробкой с крышкой, заделанной в одной плоскости с тротуаром.

Установленные марки привязывают к разбивочным осям, выступам и углам сооружения. По данным привязки составляется план расположения марок масштаба $1:200\text{--}1:500$, который используется для расчетов крена и прогиба фундамента, а также отыскания марок при завалах строительными материалами.

§ 110. Измерение осадок зданий и сооружений

Для измерения осадок зданий и сооружений существует несколько геодезических методов: геометрическое (III класса и высокоточное), гидростатическое нивелирование и фотограмметрия. Высокоточное геометрическое нивелирование является одним из наиболее надежных методов измерений осадок сооружений. Оно применяется главным образом в тех случаях, когда измеряются осадки монументальных зданий и памятников или промышленных объектов, к надежной работе которых предъявляются повышенные требования. Метод прецизионного нивелирования позволяет при незначительных скоростях осадок за короткий промежуток времени (один-три месяца) определить скорость и величину их приращения.

Нивелирование осадок сооружений будет успешным, если при организации работ будут соблюдены следующие требования.

1. Высотная основа для измерений осадок сооружений должна быть практически неподвижной и состоять не менее чем из двух-трех глубинных реперов.

2. Размещение осадочных марок и их количество должны быть такими, чтобы в результате измерения их вертикальных смещений можно было правильно и в полной мере охарактеризовать величины осадок и деформаций всех частей сооружений. При этом желательно устанавливать марки примерно на одном уровне, чтобы высота визирного луча при повторных циклах измерений по возможности была одна и та же.

3. Осадки сооружений должны быть измерены нивелированием по способу совмещения; для этого применяются тщательно выверенные и отъюстированные глухие нивелиры с плоско-параллельной пластинкой и прокомпарированные инварные штриховые рейки.

4. Расстояние от нивелира до рейки должно быть в пределах $3,0\text{--}25,0 \text{ м}$. Обычно длина визирного луча составляет $10\text{--}15 \text{ м}$.

5. В процессе нивелирования нужно соблюдать равенство плеч, т. е. разность расстояний от нивелира до реек в пределах $\pm 10 \text{ см}$. Поэтому для каждой пары марок требуется самостоятельная установка инструмента. Визирный луч от предметов местности должен проходить на расстоянии не менее 30 см .

На рис. 182 показана принципиальная схема нивелирования вокруг сооружения. В первом примере (а) все 10 осадочных марок включены в замкнутый ход, однако ожидаемая невязка при этом может быть в два раза больше, чем при более рациональной схеме нивелирования, представленной во втором примере (б).

6. Нивелирование марок должно выполняться замкнутыми ходами и при двух горизонтах инструмента.

7. Нивелирование лучше производить при помощи одной рейки. В случае применения двух реек их необходимо переставлять при втором горизонте инструмента. Предельная разность превышений в мм из прямого и обратного ходов не должна быть более $\pm 0,3 \sqrt{n}$, где n — число станций инструмента.

8. Частота циклов измерений зависит от интенсивности увеличения давления на основание и скорости осадок. Полученные величины должны правильно характеризовать динамику процесса осадок во времени.

9. При повторном нивелировании инструмент следует устанавливать на одних и тех же точках, соблюдая по возможности постоянство направления ходов при одном и том же количестве станций в них.

10. При проведении отдельных циклов измерений одновременно определяют увеличение фактического давления на грунты основания.

11. Все осадочные марки, а также исходные знаки высотной основы должны быть постоянно в полной исправности, в случае нарушения или застройки их немедленно восстанавливают.

12. После каждого нивелирования фундаменты и стены здания осматривают с целью выявления трещин.

13. Результаты нивелирования уравнивают строгим способом только после первого цикла измерений. Поскольку получаемые в полигонах невязки незначительны (меньше 1 мм), результаты последующих циклов нивелирования уравни-

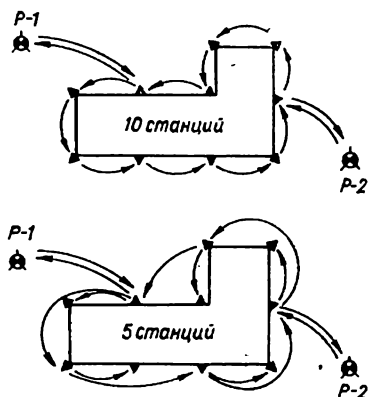


Рис. 182. Схема нивелирования осадочных марок.

шивают простейшими способами. При этом устойчивость вертикальной основы контролируют в процессе полевых работ, в противном случае после каждого последующего измерения уравнивают результаты нивелирования каждого повторного и начального цикла наблюдений.

Инструменты, применяемые для измерений осадок, должны быть исследованы и исправлены в соответствии с действующей инструкцией ГУГК*.

Нивелиры проверяются каждый раз до и после производства работ по данному циклу измерений; результаты проверки фиксируют в полевых журналах.

Для измерения осадок сооружений применяется набор односторонних штриховых реек с инварной полосой длиной 0,3; 0,5; 1,0; 1,7; 2,0 и 3,0 м. Деления, нанесенные на каждой полосе, имеют вид двух самостоятельных шкал, смещенных одна относительно другой на 2,5 мм. При пользовании рейками необходимо иметь в виду, что инварная полоса с делениями и стальная пятка, требуют бережного обращения и тщательного ухода.

Для удержания рейки в вертикальном положении во время нивелирования используют две специальные подпоры.

Для измерений осадок применяют также ряд дополнительных специальных принадлежностей и приспособлений:

металлический накладной предохранительный щит; устойчивый нераздвижной штатив; набор инварных штриховых реек; два облегченных (до 2 кг) переходных башмака; тонкий металлический разбивочный трос; запас нивелирных марок, нивелирные журналы, ведомости для вычислений и т. п.

Камеральную обработку материалов нивелирования начинают с проверки полевых записей в журнале и вычисления средних превышений. Затем составляют схему нивелирных ходов (см. рис. 182), на которую наносят все вычисленные превышения в каждом полигоне и возле них выписывают номера журнала и страницы, откуда взято данное превышение. Кроме того, на схеме указывают полученные невязки в полигонах (ходах) и определяют допустимую

* Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., «Недра», 1966:

предельную невязку по формулам $\pm 0,3\sqrt{n}$, мм — для I и $\pm 1\sqrt{n}$, мм — для II классов нивелирования (n — число станций хода). После этого составляют ведомость и уравнивают нивелирную сеть.

Результаты первого цикла измерений особо важны, поэтому все полевые и камеральные работы должны быть проведены тщательно и надежно. В последующих циклах уравнивание выполняют методом последовательных приближений или методом эквивалентной замены, разработанным Поповым. При этом распределение поправок и вычисление отметок всех марок по исправленным превышениям осуществляют непосредственно на схеме нивелирных ходов.

Точность нивелирования оценивают по данным, полученным до и после уравнивания: по фактическим невязкам в замкнутых полигонах и ходах.

Средняя квадратическая случайная ошибка нивелирования определяется по формуле:

на одну станцию

$$\mu_{1\text{ст}} = \sqrt{\frac{[f_n^2]}{N}}, \quad (260)$$

на 1 км хода

$$\mu_{1\text{км}} = \mu_{1\text{ст}} \sqrt{\frac{[n]}{[L]}}, \quad (261)$$

где f_n — невязка полигона (хода), мм;

n — число штативов полигона (хода);

N — число полигонов (ходов);

$[L]$ — общая протяженность полигонов (ходов), км.

По разностям превышений, полученным при двойном нивелировании ходов средняя квадратическая случайная ошибка на 1 км хода

$$\mu_{1\text{км}} = \sqrt{\frac{\frac{f_R^2}{2R}}{N}}, \quad (262)$$

где f_R — величина разности двойного нивелирования ходов, мм;

R — длина хода (пролета), км;

N — число ходов (пролетов).

После уравнивания вычисляется средняя квадратическая ошибка на 1 км хода по формуле

$$\mu_{1\text{км}} = \sqrt{\frac{[P\delta^2]}{N-r}}, \quad (263)$$

где N — число нивелирных ходов во всех полигонах;

r — число узловых точек;

P — вес хода;

δ — поправка хода (полигона);

при этом случайная ошибка на 1 км хода не должна превышать ± 1 мм.

Камеральная обработка результатов нивелирования первого цикла измерений заканчивается вычислением отметок марок для нивелирования I и II классов — в сотых долях миллиметра — и для нивелирования III класса — в десятых долях миллиметра; затем производится запись полученных данных в каталог с округлением их соответственно до десятых долей миллиметра и целых миллиметров.

§ 111. Измерение вертикальных смещений грунтов в основаниях сооружений

Распространенным методом измерений вертикальных перемещений фундаментов на сильносжимаемых, оттаивающих и просадочных грунтах является нивелирование III класса. Оно может применяться для сооружений, средняя скорость осадки которых больше 5 мм в месяц.

Измерение осадок фундаментов заключается в периодических повторных нивелированиях марок, установленных на сооружении, по отношению к практически неподвижным реперам (рис. 183).

В качестве исходных высотных знаков для нивелирования могут служить две группы грунтовых реперов, закладываемых в 50—70 м по разные стороны от возводимого сооружения. При невозможности установить грунтовые реперы можно обойтись двумя группами стенных реперов, закладываемых на старых зданиях (со стабилизировавшейся осадкой) и расположенных не ближе 50 м.

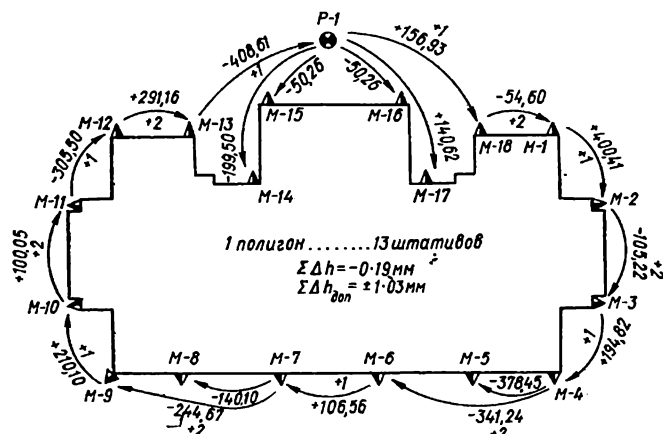


Рис. 183. Схема нивелирования ходов.

Для измерения осадок фундаментов применяются нивелиры, обеспечивающие точность нивелирования III класса, т. е. нивелиры с 30—40-кратным увеличением, с уровнем при трубе, цена деления которого равна 10—15 секундам на 2 мм дуги. Используют также глухие нивелиры НС-2 и НС-3 с самоустанавливающейся линией визирования. Чтобы достигнуть большой скорости нивелирования, можно принять нивелиры с плоско-параллельной пластинкой (при использовании методом совмещения по программе нивелирования III класса).

Рейки длиной от 1 до 3 м должны быть двусторонние шашечные, желательно с полусантиметровыми делениями и обязательно с уровнями. Могут также применяться штриховые рейки с двумя шкалами. Погрешности в нанесении дециметровых штрихов и в положении пятки рейки не должны превышать $\pm 0,5$ мм.

Перед началом и после окончания работ нивелир должен быть обязательно поверен, а рейки исследованы при помощи нормальной линейки.

После окончания полевых работ проводят камеральную обработку результатов нивелирования, заключающуюся в вычислении, составлении схем нивелирных ходов f_d и f_ϕ и ведомостей превышений, определении фактических и допустимых невязок полигонов

$$f_d = \pm 2\sqrt{n}, \quad (264)$$

где n — число станций в полигоне.

При $f_\phi < f_d$ нивелирную сеть полигонов уравнивают методом последовательных приближений или методом эквивалентной замены (метод Попова). Поправки и отметки вычисляют до десятых долей миллиметра. Значения отметок марок в мм вносят в окончательную ведомость.

Осадки и относительные деформации фундаментов определяют на основании составляемых ведомостей отметок.

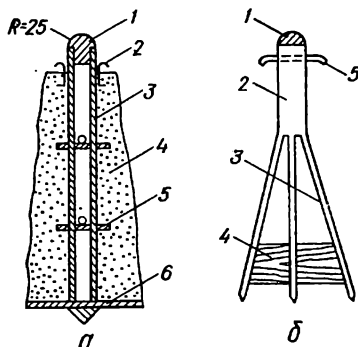
Для изучения послойной осадки грунта основания и определения его упругого разуплотнения в буровые скважины при рытье котлована на заданных

отметках закладывают глубинные марки (рис. 184). Глубинная марка в простейшем виде — трубчатая штанга, нижний конец которой заделывают в бетонный монолит, опирающийся на забой скважины.

Для определения величины подъема дна котлована после снятия бытового давления глубинные марки закладывают по продольным и поперечным осям будущего котлована. Их опускают в скважины ($\varnothing$ 168—219 мм), пробуренные ниже дна котлована. Отметки марок определяют до начала работ по его устройству и после выемки из него грунта.

Рис. 184. Глубинные марки:

а — марка конструкции Брайта; 1 — полусферическая головка из неокисляющегося металла; 2 — крючки для спуска марки на тросе; 3 — газовая труба $\varnothing$ 50—450 мм; 4 — бетонный башмак с насечкой; 5 — крестовина $\varnothing$ 10 мм; 6 — диск с конусом, привариваемым к трубе; 6 — марка конструкции Бомбчинского: 1 — полусферическая головка из неокисляющегося металла; 2 — отрезок трубы $\varnothing$ 50—450 мм; 3 — перья (6 шт.), запиленные в нижней части трубы; 4 — деревянный опорный расклинивающий конус; 5 — металлические крючки для спуска марки на тросе.



Перед закладкой глубинных марок намечают продольную и поперечную оси будущего котлована и местоположения скважин на них. Затем нивелируют устья скважин. Глубина скважин H , в м, вычисляется по формуле

$$H = H_1 - (H_2 - 0,8), \quad (265)$$

где H_1 — отметка устья скважин;

H_2 — проектная отметка дна котлована.

Бурят скважины с обсадкой труб на всю глубину. После тщательной очистки забоя обсадные трубы приподнимают на 0,5 м. В каждую скважину заливают цементный раствор (1 : 3) на высоту 0,25 м. При наличии в скважине грунтовых вод применяют метод подводного бетонирования. Цементный раствор, применяемый для закоривания марки в окружающем грунте, опускают в специальной бадье с открывающимся дном. Глубинная марка опускается в скважину при помощи троса, пропущенного через крючки. После опускания марки на забой скважины трос вытягивают. Затем в скважину опускают желонку бурового комплекта. Нажимом желонки марку опускают в цементный раствор.

Отметки глубинных марок определяют нивелированием от исходного глубинного репера через два-три дня после установки марок. При нивелировании вместо рейки используют компарированную стальную рулетку, которую подвешивают над устьем скважины на специальном блоке, обеспечивающем постоянное натяжение и отвесное ее положение. В отсчеты, сделанные по рулетке, вводят поправки за компарирование, натяжение и температуру. После выполнения плановой привязки марок обсадные трубы извлекают, скважины засыпают грунтом, отличающимся по цвету от окружающего.

При строительстве крупных зданий вокруг них образуется прогиб земной поверхности, так называемая осадочная воронка, или чаша вдавливания. Глубина этой чаши в средней части, т. е. под зданием, составляет несколько сантиметров. Образование осадочной воронки обуславливается перемещением грунта из-под фундаментов существующих зданий, действием нагрузки строящегося сооружения на основание.

Для исследования деформации основания систематически определяют отметки стенных марок и реперов, заложенных в этих зданиях. По результатам наблюдений составляют профили и план осадочной зоны.

Отметки осадочных марок определяют от грунтовых реперов, а также ственных марок и реперов, заложенных в зданиях и сооружениях, осадки которых закончились. Эти реперы и марки должны быть включены в городскую нивелирную сеть II и III классов. Передача отметок на осадочные марки должна производиться не менее чем от трех постоянных знаков, расположенных на расстоянии от 50 до 150—200 м от исследуемого здания.

§ 112. Геодезические методы измерения горизонтальных перемещений зданий и сооружений

Односторонняя горизонтальная нагрузка на инженерные сооружения (гидротехнические, опоры подвесных и арочных мостов, подпорные стены, набережные, промышленные и гражданские здания) обуславливает пространственное горизонтальное перемещение сооружения. Для определения таких перемещений используют створный метод, методы триангуляции, полигонометрии и др. Выбор метода зависит от условий местности и типа сооружения.

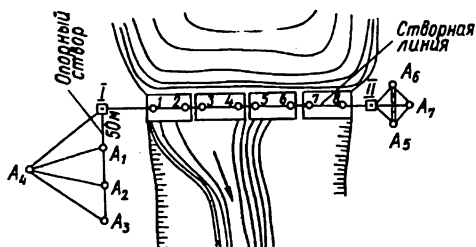


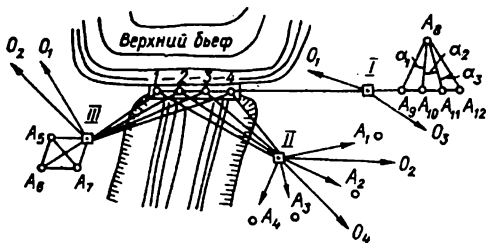
Рис. 185. Размещение знаков при наблюдениях методом створных наблюдений (визирований).

При створном методе исследования (рис. 185) устанавливают вдоль сооружения визирные марки. Горизонтальное положение марок определяется путем измерения параллактических углов и длин линий или же путем визирования по створу для измерения ординат смещающихся точек. Необходимым условием использования метода створов является наличие взаимной видимости и двух твердых точек на концах створа.

Сущность методов полигонометрии и триангуляции состоит в том, что по исследуемому сооружению прокладывают ходы высокоточной полигонометрии или создают сети триангуляции (рис. 186, 187). Периодическим повторением

Рис. 186. Размещение знаков при наблюдениях методом отдельных направлений:

I, II, III — пункты аналитической сети, находящиеся вне зоны деформаций, 1, 2, 3, 4 — знаки, находящиеся в зоне деформации.



полигонометрии или триангуляции определяют изменение координат точек сооружения. Точность определения исходной стороны триангуляции должна быть не ниже 1 : 600 000 при длине ее от 0,5 до 2,0 км, а углы должны определяться со средней квадратической ошибкой $\pm 0,6''$.

Для определения горизонтальных перемещений отдельных секций сооружений можно использовать метод натянутой нити (струнный метод), который заключается в том, что между двумя опорными пунктами в створе натягивают

тонкую стальную проволоку; смещение контрольных пунктов относительно этой проволоки измеряют линейкой с миллиметровой шкалой.

Точность определения горизонтальных перемещений зависит от требований, предъявляемых к сохранности сооружений. Для бетонных плотин, шлюзов, зданий ГЭС, мостов, возводимых на не скальных, мягких грунтах, горизонтальные перемещения определяют с точностью до $\pm 2-3$ мм. Для сооружений, возводимых на скальном основании, требуется более высокая точность определения — до $\pm 1,0-1,5$ мм.

Подготовку к наблюдениям за горизонтальными перемещениями инженерных сооружений осуществляют по заранее разработанному плану.

План организации наблюдений за деформациями сооружений разрабатывают на стадии составления проекта сооружения. При этом тщательно изучают все проектные и изыскательские материалы и обследуют площадку строительства. План организации наблюдений включает схему размещения опорных и контрольных пунктов и пояснительную записку. Схему размещения пунктов наблюдений составляют на копии генерального плана крупного масштаба. На этой схеме должны быть нанесены все создаваемые сети, створы, наблюдаемые опорные и контрольные пункты, а также указана система привязки проектируемой сети к пунктам государственной триангуляции.

При составлении схемы размещения пунктов руководствуются следующими правилами: а) пункты триангуляции, полигонометрии и опорные пункты створов проектируют с учетом генерального плана застройки в местах, на которых гарантирована их сохранность и видимость по всем необходимым направлениям и по окончании строительства; б) форма сети должна удовлетворять геометрическим условиям построения триангуляции; в) места для базисов необходимо выбирать с учетом сохранения и удобства их измерения после застройки площадки.

В пояснительной записке к проекту организации наблюдений указывают: методику исследований сооружений; систему создаваемых сетей и места установки знаков, а также типы их и т. п.; инструменты и приборы, используемые для наблюдений; порядок и необходимую точность наблюдений; календарные сроки наблюдений; порядок обработки, оформления и сдачи материалов.

В местах, намеченных планом и уточненных во время рекогносцировки, устанавливают соответствующие опорные и контрольные пункты. Для получения достоверных результатов при различных методах наблюдений за перемещением инженерных сооружений большое значение имеют конструкция и капитальность установки знаков. Опорные знаки, устанавливаемые непосредственно на сооружениях, должны быть в виде железобетонных тумб сечением 40×40 см и высотой 1,20 м.

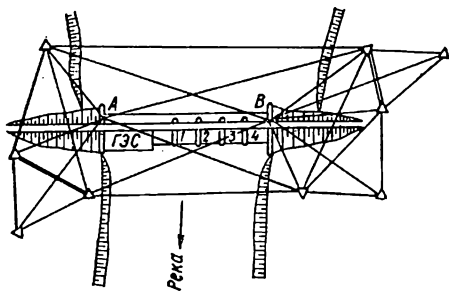


Рис. 187. Размещение знаков при наблюдениях методом триангуляции и полигонометрии.

§ 113. Методы измерения кренов и трещин

Для определения кренов сооружений применяют оптические теодолиты высокой и средней точности. Измерение кренов сооружений при помощи теодолитов выполняют следующим образом: центрируют теодолит над постоянным знаком, вверху (например, на трубе) выбирают какую-нибудь заметную точку и проектируют ее по вертикальной нити теодолита (рис. 188) к основанию сооружения при двух положениях круга инструмента. Таким образом, периодически

сносят точку A вниз и отмечая на фундаменте ее проекции a и b штрихами, определяют увеличение крена за какой-то промежуток времени. Крены стен зданий необходимо измерять с двух взаимно перпендикулярных сторон для того, чтобы в дальнейшем, определив q_1 -частное приращение крена со станции 1 и q_2 -частное приращение крена со станции 2, по правилу параллелограмма получить величину полного приращения крена Q (рис. 189) по формуле

$$Q = \pm \sqrt{q_1^2 + q_2^2}. \quad (266)$$

Для характеристики направления крена по отношению к странам света на плане возле вектора крена обычно указывают направление меридиана.

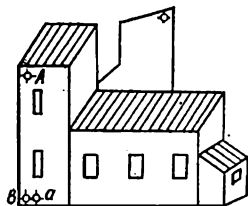


Рис. 188. Определение крена по вертикальной нити теодолита.

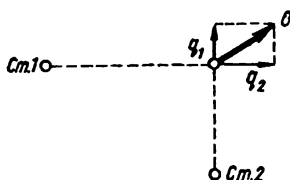


Рис. 189. Определение полного приращения крена по правилу параллелограмма.

Определение крена с помощью измерения горизонтальных углов является одним из самых распространенных и надежных методов (рис. 190).

Установив теодолит точно над центром хорошо закрепленного знака A (на расстоянии 20—50 м по направлению продолжения одной стены), измеряют угол γ между маркой B , находящейся на верхнем обресе стены, и каким-ни-

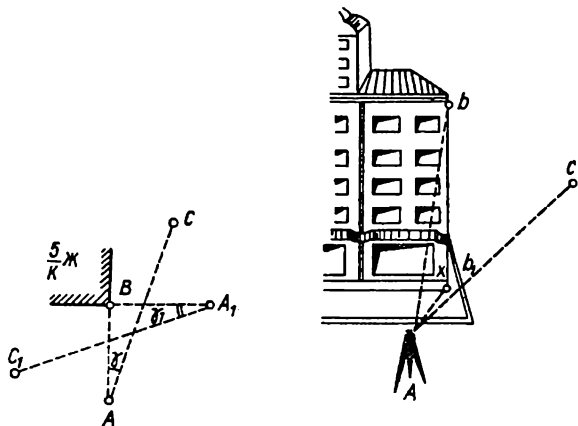


Рис. 190. Определение крена здания методом измерения горизонтальных углов.

будь удаленным постоянным предметом C на местности. Затем инструмент переносят на линию продолжения другой стены в точку A_1 и измеряют угол γ_1 между маркой B и тем же или новым удаленным пунктом местности C_1 . Таким образом, периодически измеряя углы γ и γ_1 , получим приращения величин част-

ных кренов здания в градусах. Для перехода от градусов к линейным величинам пользуются формулой (рис. 191).

$$q = \frac{\Delta\gamma'' L}{\rho''} \quad (267)$$

где q — частное приращение крена, мм;
 $\Delta\gamma''$ — частное приращение крена, сек;
 L — горизонтальное расстояние от станции A до проекции точки B , мм;
 ρ'' — радиан, сек.

Полное приращение крена определяется как равнодействующая из частных кренов по правилу параллелограмма. Чтобы определить не только полное приращение крена, но и его абсолютную величину, необходимо на этой же вертикальной грани (см. рис. 190, 191) установить вторую хорошо видимую марку B (штырь в виде крюка), удаленную от угла или плоскости стены на такое же расстояние, что и верхняя марка B . Затем с тех же точек стояния инструмента A и A_1 измеряют горизонтальные углы между B и B_1 .

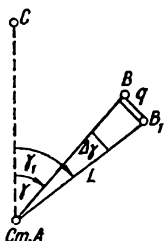


Рис. 191. Вычисление приращения крена в угловой и линейной мерах.

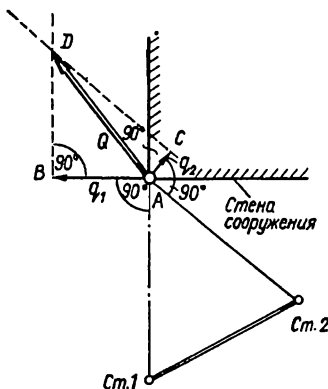


Рис. 192. Определение полного крена с двух станций, расположенных под острым углом к сооружению.

Таким образом, вначале получают величины частных кренов грани стены между точками B и B_1 , а затем по правилу параллелограмма вычисляют величину полного крена. При этом надо иметь в виду, что станции для наблюдений за кренами зданий или сооружений не всегда располагаются во взаимно перпендикулярных направлениях, а иногда составляют между собой тупой или острый угол (рис. 192). В этом случае величину полного крена проще всего определить графически. Для этого на план наносят положения наблюдаемой на сооружении точки A и станций теодолита 1 и 2 .

После вычисления частных кренов q_1 (со станции 1) и q_2 (со станции 2) их линейные величины, в мм, изображают в виде векторов AB и AC в натуральном или уменьшенном масштабе (1 : 2, 1 : 5) перпендикулярно к линиям $1-A$ и $2-A$.

Величина полного крена Q и его направление определяют по правилу перпендикуляров от векторов q_1 и q_2 , т. е. через точки B и C проводят линии, перпендикулярные к векторам, до их пересечения в точке D . В тех случаях, когда крен определяют с трех и более станций, его величина и направление могут быть также определены по правилу перпендикуляров (рис. 193). Этот метод можно считать строгим, если теодолит установлен на бесконечно большое расстояние от наблюдаемого сооружения или если углы смещения, по которым определяют частные крены q_1 и q_2 , не превышают одной минуты. В действительности же теодолит устанавливают на расстоянии 100—150 м, и поэто-

му метод суммирования частных кренов по способу перпендикуляров дает небольшую погрешность.

Для определения как полного крена, так и его приращения самым надежным методом является метод измерения горизонтальных углов или направлений (рис. 194, 195). В этом случае на расстоянии 50—100 м от дымовой трубы с двух взаимно перпендикулярных сторон закрепляют два постоянных знака для установки над ними теодолита. На образующей трубы намечают постоянные точки для наблюдений: 1, 2, 3 и 4. Одновременно выбирают хорошо види-

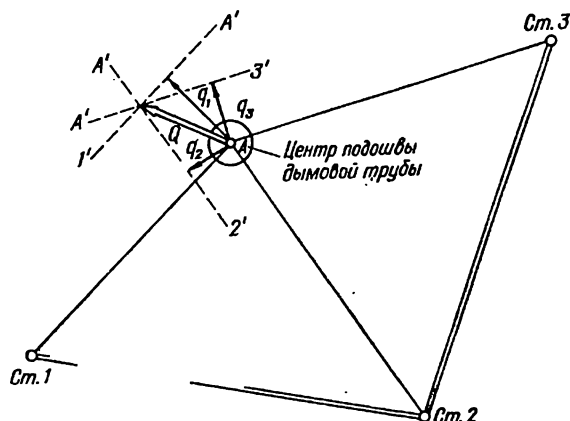


Рис. 193. Определение полного крена с трех станций, расположенных произвольно.

мые удаленные неподвижные точки C_1 и C_2 . Затем со станции 1 измеряют горизонтальные углы 1, 2, 3 и 4 и вычисляют полусуммы углов $\frac{2+3}{2}$ и $\frac{1+4}{2}$, которые характеризуют направления на центр верха трубы a и центр цокольной части трубы b . Зная расстояние от станции 1 до центра трубы, по разности направлений a и b вычисляют величину полного крена q_1 сначала в градусной, а затем в линейной мере. Аналогично на станции 2 измеряют углы 5, 6, 7 и 8 и, повторяя указанные действия, вычисляют величину полного крена q_2 . Затем определяют величину полного крена от верха трубы до цокольного пояса, а затем и до подошвы фундамента. Повторяя аналогичные измерения и вычисления через заданные интервалы времени, по разностям величин полного крена последующего и первого циклов измерений получают величину приращения кренов.

Крены таких сооружений, как дымовые трубы, башни, элеваторы и т. п., могут быть проверены методом измерения осадки их фундаментов. При этом проводится высокоточное нивелирование стенных марок, установленных с четырех сторон наблюдаемого жесткого фундамента.

Точность измерения кренов сооружений может быть различна и зависит главным образом от поставленных требований. Так, например, абсолютный крен дымовых труб определяется с ошибкой $\pm 2-3$ см. Это обуславливается тем, что дымовые трубы, кроме собственных небольших колебаний в пределах 1—3 см, подвержены колебаниям от ветрового потока (до 10 см и более). Величина абсолютных кренов труб часто достигает 40—50, а иногда и 100 см. Кроме того, со временем величина крена может уменьшаться, а иногда и менять свое направление.

С помощью натурных измерений установлено, что крен от неравномерного нагрева солнцем стальных дымовых труб высотой 85—100 м в течение суток

может изменяться в пределах 24—26 см. Таким образом, точность измерений порядка 2—3 см является вполне достаточной.

Абсолютный крен дымовых труб можно определять десятисекундным теодолитом только одним приемом.

Средняя квадратическая ошибка определения полного крена при наблюдениях с двух станций выразится формулой

$$m_Q = \pm \sqrt{m_{q_1}^2 + m_{q_2}^2}. \quad (268)$$

Неравномерные осадки и деформации часто сопровождаются трещинами в несущих конструкциях сооружений. Наблюдения за возникновением и разви-

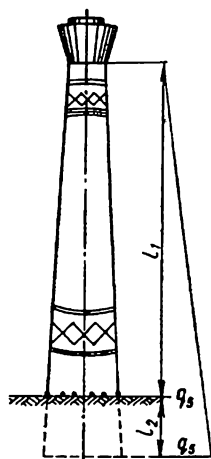


Рис. 194. Определение крена дымовых труб методом проектирования по вертикальной нити теодолита.

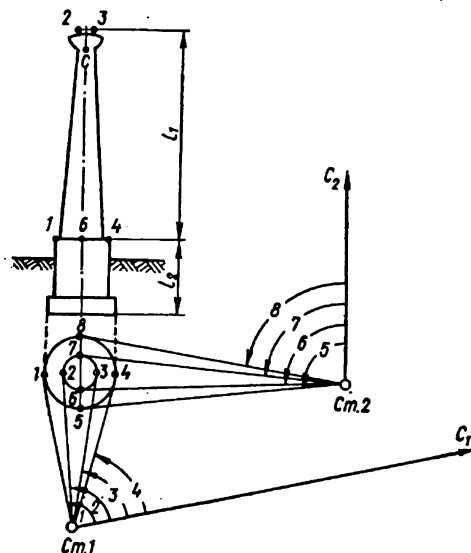


Рис. 195. Определение крена дымовой трубы методом измерений горизонтальных углов.

тием трещин позволяют определять взаимные перемещения отдельных частей сооружений и выявлять причины, способствующие их появлению.

Систематическое изучение трещин дает материал, на основании которого можно сделать заключение о происходящем процессе деформации даже без наблюдений за осадками сооружений.

В строительной практике наблюдения за трещинами обычно проводятся с помощью маяков — алебастровых, гипсовых или цементных. Их устанавливают перпендикулярно к направлению трещин, нумеруют, датируют и через одну-две недели проверяют. Если трещина активна, то на маяке возникает разрыв. Лопнувшие маяки заменяют новыми и опять через некоторое время проверяют. Если в течение длительного срока маяки не получили трещин (разрыва), значит дальнейшее развитие процесса деформации прекратилось.

Наблюдение за трещинами при помощи маяков дает только качественные показатели развития деформации, т. е. свидетельствует о том, что деформации продолжаются или уже закончились. На такие наблюдения часто требуется значительный период времени, а полученные данные приближены и недостаточно точны.

Кроме алебастровых, гипсовых и цементных маяков применяются также металлические маяки, которые состоят из двух свободно наложенных одна на другую пластин кровельного железа разной формы (рис. 196).

Одна из пластин маяка до его установки над трещиной окрашивается красной краской (к); после установки над трещиной его пластины в наложенном состоянии окрашиваются белой краской (б), так что красная краска сохраняется только под левой половиной маяка. В дальнейшем их взаимные перемещения легко обнаруживают по следу разных красок и измеряют циркулем или металлической линейкой со скошенным краем. Точность измерений практически составляет 0,2—0,3 мм. Одновременно с наблюдениями за раскрытием трещин необходимо вести наблюдения и за их удлинением.

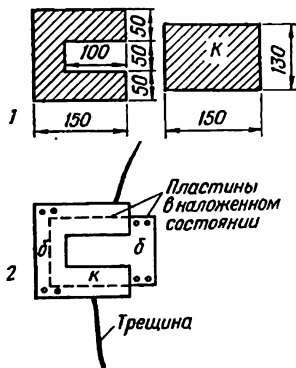


Рис. 196. Металлический маяк для наблюдений за трещинами:

1 — до установки над трещиной;
2 — после установки над трещиной.

Усовершенствованную конструкцию маяка, позволяющую вести наблюдения и получать данные, характеризующие не только качественные но и количественные показатели развития трещин, предложил И. М. Литвинов.

Маяк конструкции Литвинова состоит из двух проволочных крестовин с тремя отогнутыми к середине крестовины концами, ножками и четвертым, отогнутым в противоположную сторону, измерительным крючком. Две такие крестовины, заделанные в алебастровые или гипсовые прямоугольники, крепят с обеих сторон трещины таким образом, чтобы измерительные крючки были расположены по прямой линии и направлены своими измерительными торцами в противоположные стороны. Периодически через определенные промежутки времени обычным штангенциркулем с точностью до 0,02 мм измеряют расстояние между измерительными торцами.

В зависимости от целей наблюдений за трещинами конструкция маяков Литвинова может видоизменяться.

§ 114. Геодезические наблюдения за оползнями

При наличии оползней в районе строительной площадки закладывается наблюдательная станция и производятся систематические наблюдения. Основная задача таких наблюдений — установление границ оползня и закономерностей его перемещения.

Наблюдательная станция представляет собой несколько линий реперов, заложенных по простиранию и вкрест простиранию оползней. Каждая линия состоит из опорной части протяженностью от 50 до 150 м, расположенной в неподвижной части массива, и рабочей части, расположенной на оползне. Длина рабочей части зависит от размера оползневого участка. Расстояние между реперами принимается от 10 до 50 м.

Опорные реперы бетонируют, а рабочие — закрепляют упрощенным способом. Для всех опорных реперов должны быть определены координаты. Инструментальные наблюдения на каждой линии включают: нивелирование всех (опорных и рабочих) реперов; измерение расстояния между реперами; съемку отдельных участков смещений пород, углов падения обнажившихся участков поверхности скольжения и др. Нивелирование реперов — геометрическое IV и более высоких классов. В случае необходимости прибегают к тригонометрическому нивелированию. При тригонометрическом нивелировании разность между двумя независимыми измерениями одного и того же превышения при длине интервала до 10 м должна не превышать 5 мм, при длине до 30 м и более — 8 мм.

По принятой методике измерений погрешность определения величины вектора смещения и его составляющих не должна превышать 5—10% ожидаемой величины. Частота наблюдений зависит прежде всего от скорости сползания и колеблется от 5—10 дней (в период интенсивных сдвижений) до трех-шести месяцев. По результатам наблюдений определяются горизонтальная и вертикальная составляющие полного вектора смещения, а также скорости смещения отдельных реперов. Результаты наблюдений изображаются на разрезах по каждой профильной линии (рис. 197).

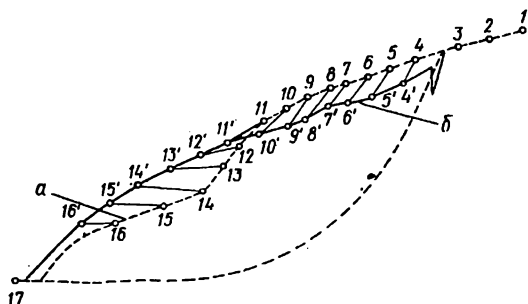


Рис. 197. Схема оползневого участка:

а — положение реперов и поверхностей до оползня; *б* — положение реперов и поверхности после оползня.

Для определения мер борьбы с оползнем и устранения его последствий необходимо определить поверхность, по которой происходит сдвижение горных пород. Лучше всего это производить путем наблюдений за реперами, заложенными в стенках вертикальных шурфов. Положение этих реперов определяется с помощью измерения расстояний от них до отвесов, опущенных в шурф. Координаты отвесов определяются на поверхности от неподвижных опорных пунктов.

Сопоставление величины и направления векторов сдвижения позволяет судить о том, движется ли оползень как единое тело, или его отдельные части движутся самостоятельно. Обобщая результаты наблюдений за оползнем, можно установить: зону его распространения в плане и на глубину; объем сползаемых пород; скорость сползания массива и его отдельных частей.

§ 115. Применение методов наземной фотограмметрии для измерения деформаций сооружений

Фотограмметрические методы широко применяются для определения деформации сооружений. Существующая методика позволяет определять деформации с точностью порядка 1:1000 — 1:100 000 от расстояния до объекта. Измерение осадок, деформаций и горизонтальных смещений сооружений осуществляют в основном методами геометрического нивелирования, триангуляции и створов. Недостатком этих методов является то, что при помощи каждого из них измеряют лишь какое-нибудь одно смещение точек сооружения — вертикальное или горизонтальное. Кроме того, проведение отдельных циклов измерений этими методами продолжается, как правило, несколько дней, а иногда и недель, поэтому измеренные величины содержат ошибки, которые практически невозможно учесть и устранить.

В отличие от указанных методов измерения метод фотограмметрии дает возможность одновременно и притом с помощью одного инструмента измерять смещения ряда точек сооружений по двум направлениям (по вертикали ΔZ и слагающей горизонтального смещения ΔX , а стереофотограмметрический метод — по трем направлениям (Z , ΔX и ΔY). Измерения, проводимые методом фотограмметрии, состоят из периодических съемок специальных марок на сооружениях при помощи фототеодолита. Полученные затем снимки обрабатывают на стереокомпараторе, и путем несложных вычислений определяют смещения точек с достаточно высокой точностью.

Величины вертикальных и горизонтальных смещений наблюдаемых точек в натуре определяют по формулам:

$$\Delta Z = Y \frac{\Delta z}{f_k}; \quad (269)$$

$$\Delta X = Y \frac{\Delta x}{f_k},$$

где Y — ордината точки сооружения (отстояние);

f_k — фокусное расстояние фотоаппарата;

ΔZ — вертикальное смещение изображения наблюдаемой точки на снимке;

ΔX — горизонтальное смещение изображения наблюдаемой точки на снимке.

Все неизвестные величины получают в процессе полевых съемок и камеральной обработки фотоснимков на стереокомпараторе. Осадки и деформации сооружений можно измерять фототеодолитами «ФОТЕО—19/1318», «Геодезия», С-3В, ТАН и др.

Для определения прямоугольных координат снимков и их разностей, т. е. параллаксов, служит стереокомпаратор.

Измерения деформаций сооружений можно проводить фототеодолитами, предназначенными для съемок на близких расстояниях, а также современными фототеодолитами, прикладная рамка которых установлена на бесконечность, т. е. находится в фокальной плоскости объектива.

Специфические условия измерений деформаций сооружения (закрытые помещения, близко расположенные постройки и т. п.), как правило, ограничивают возможность выбора места для установки инструмента. Кроме того, необходимо принять во внимание, что измерения следует проводить с точностью порядка $\pm 1-2$ мм при имеющейся разрешающей способности эмульсии 0,01 мм. Поэтому устанавливают также минимальное расстояние от наблюдаемых марок до инструмента, чтобы можно было получить достаточно резкое их изображение. Это расстояние определяется по формуле

$$Y = \frac{f_k^2}{\lambda n}, \quad (270)$$

где Y — расстояние от передней узловой точки объектива фотоаппарата до наблюдаемых марок;

f_k — фокусное расстояние фотоаппарата;

λ — резкость изображения;

$\frac{f_k}{n}$ — свободное отверстие объектива.

Пример. Для фототеодолита $C=3b$ $f_k=200$ мм, $n=25$; $\lambda=0,01$ мм, тогда

$$Y = \frac{40\,000}{0,01 \cdot 25} = 160 \text{ м.}$$

Пример. Подсчитаем наименьшее смещение точек сооружения, которое можно измерить с расстояния 160 м при разрушающей способности эмульсии, равной 0,01 мм и фокусном расстоянии фототеодолита $f_k=200$ мм.

Величины этих смещений определяются по формулам

$$\Delta Z = Y \frac{\Delta t}{f_k}; \quad \Delta x = Y \frac{\Delta x}{f_k}. \quad (271)$$

Подставив числовые значения, получим

$$\Delta Z = \frac{160\,000}{100 \cdot 200} = 8 \text{ мм.}$$

Таким образом, при фотографировании исследуемых точек с расстояния 160 м деформации меньше 8 мм измерить нельзя. Поэтому можно считать, что данные условия работ не удовлетворяют требованиям, предъявляемым к точности измерения деформаций. Практически уловить меньшие величины деформаций можно за счет уменьшения расстояния и за счет увеличения резкости изображения. Для $f_k = 200$ мм, $p = 25$ и $\lambda = 0,1$ мм получим

$$Y = \frac{40\,000}{0,1 \cdot 25} = 16 \text{ м.}$$

При расстоянии от наблюдаемых точек до инструмента 16 м и разрешающей способности эмульсии 0,01 мм величина наименьшего смещения точек сооружения, которую можно измерить, равна

$$\Delta Z = \frac{16\,000}{100 \cdot 200} = 0,8 \text{ мм.}$$

При фотографировании точек сооружения с расстояния 16 м допущенная нерезкость изображения почти не уменьшает точности измерений на стереокомпараторе.

Наблюдаемые точки сооружения следует закреплять марками в виде белого квадрата с изображением на нем черного креста с полосами шириной 10 мм. На негативе эти полосы выглядят белыми линиями, что очень удобно для измерений на стереокомпараторе, визирная марка которого окрашена в черный цвет. Ширина изображения марки на сооружении должна быть несколько больше ширины визирной марки на стереокомпараторе.

Средние квадратические ошибки измерений смещений фотограмметрическим методом можно определять по формулам

$$m_{\Delta Z} = \pm \Delta Z \frac{m_{\Delta z}}{\Delta z}; \quad m_{\Delta x} = \pm \Delta X \frac{m_{\Delta x}}{\Delta x}. \quad (272)$$

Подставляя числовые данные, в мм, $\Delta Z = \Delta X = 30$, $m_{\Delta z} = m_{\Delta x} = \pm 0,005$, $\Delta X = \Delta Z = 0,3$, соответственно получим:

$$m_{\Delta z} \pm \frac{30 \cdot 0,005}{0,3} = \pm 0,5 \text{ мм};$$

$$m_{\Delta x} \pm \frac{30 \cdot 0,005}{0,3} = \pm 0,5 \text{ мм.}$$

§ 116. Техническая документация по измерению осадок и деформаций сооружений

После каждого повторного цикла измерений составляют сводку о ходе осадок и деформаций, которую передают строительной организации. В конце года составляют промежуточный технический отчет, а после наступления периода стабилизации или полного затухания осадок — итоговый. Сводки о ходе осадок предусматривают: составление ведомостей осадок и отметок нивелирных марок, плана расположения знаков высотной основы, а также установленных на сооружении нивелирных марок с присвоенными им порядковыми номерами и выписанными под ними величинами осадок; составление краткой пояснительной записки.

В итоговом техническом отчете по измерениям осадок сооружений должны быть изложены: цель измерения; краткая геологическая (с физико-механическими свойствами) и топографическая характеристики строительной площадки; описание наблюдаемого объекта, планы фундаментов и первого этажа, продольные и поперечные разрезы основных несущих конструкций сооружения;

программа и сроки проведения строительных работ; расчетные величины конечных осадок сооружений, кренов, прогибов и давлений на основание; метод проведения и установленная точность измерения осадок;

явления, которые могут способствовать возникновению осадок, например,

забивка свай на различных участках, наличие карстовых или оползневых образований, колебание уровня грунтовых вод и т. п.

Кроме того, к тесту должны быть приложены: план расположения знаков высотной основы и нивелирных марок на наблюдаемом сооружении; ведомости осадок и отметок марок по всем циклам измерений; фотографии отдельных этапов строительства; таблицы среднемесячных или среднегодовых скоростей осадок для наиболее показатель-

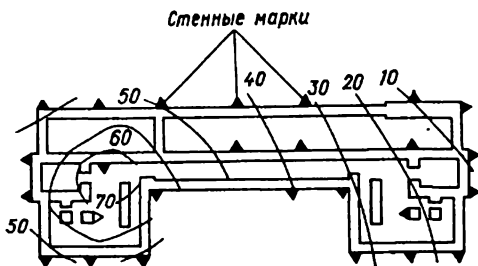


Рис. 198. Линии равных осадок фундамента.

тельных точек сооружения; план фундаментов с нанесенными линиями равных осадок за весь период измерений (рис. 198); графики осадок нивелирных марок во времени (рис. 199); развернутые графики осадок в виде последовательных линий деформаций фундаментов.

Линии равных осадок наглядно характеризуют состояние фундамента и деформации грунтов основания под его подошвой за тот или иной период измерений.

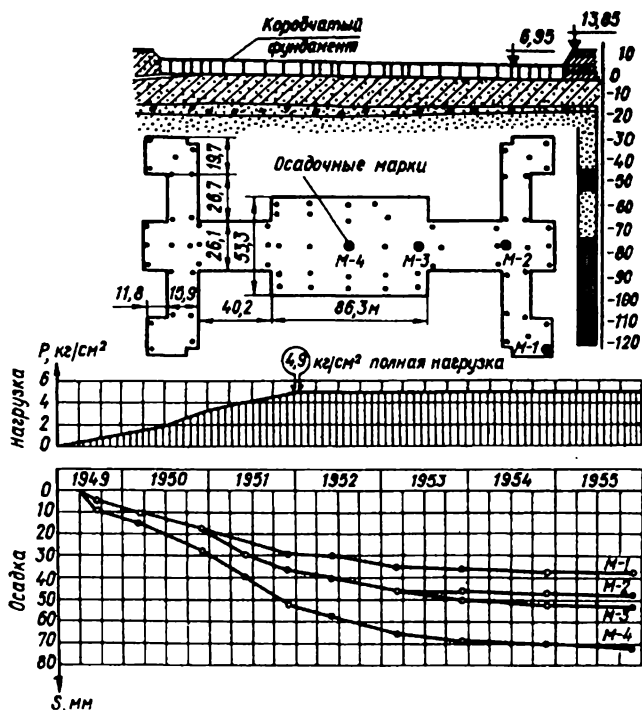


Рис. 199. График осадок нивелирных марок во времени.

По характеру линий в пределах контура фундамента можно определить местонахождение очагов осадок и направление кренов различных его участков. При этом необходимо иметь в виду, что линии равных осадок целесообразно интерполировать только в том случае, если марки на фундаментах размещены в достаточном количестве, равномерно по всей площади, если имеется значительная неравномерная осадка.

В отчете также должны быть приведены материалы в виде зарисовок, фотографий, графиков удлинения и раскрытия трещин, план их расположения. Эти материалы дают возможность правильно судить о деформациях сооружений и определять, закончился этот процесс или еще продолжается, как влияет на деформацию различных внутренних и внешних факторов и т. д.

Глава VII. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

§ 117. Организация инженерно-геодезических работ

При возведении крупноэлементных многоэтажных зданий организация труда инженерно-геодезических работ связана с необходимостью постоянной и четкой координации действий по руководству строительным производством. В зависимости от сложности и объема строительных работ составляются табличные, линейные и сетевые графики с включением инженерно-геодезических работ. В комплекс геодезических работ входят: приемка от заказчика топографо-геодезической документации на объекты строительства; производство основных геодезических работ, развитие и дополнение опорной геодезической сети и строительной сетки для строительной площадки, выполняемые заказчиком; производство геодезических разбивочных работ (вынос в натуру основных проектных размеров и высотных отметок зданий, сооружений и др.); контроль с помощью инструментов правильности производства строительно-монтажных работ; организация и проведение инструментальных геодезических наблюдений за деформациями земной поверхности, зданий и сооружений в процессе строительства; производство исполнительных геодезических съемок законченных объектов или отдельных частей их; составление на основе съемок и рабочих чертежей технической исполнительной документации; обеспечение скоростных способов и методов строительных работ.

При строительстве возможны четыре основные формы организации геодезических работ.

1. Геодезические работы полностью выполняются силами субподрядной геодезической организации или силами специально созданной на строительстве геодезической группы. В этом случае в задачу строителей входят утверждение планов и смет на геодезические работы, а также контроль за ходом этих работ. Такая форма организации работ целесообразна при строительстве крупных и сложных инженерных сооружений, промышленных предприятий и т. д.

2. Наиболее сложные геодезические работы выполняются силами геодезической организации или геодезической группы, а строители выполняют менее сложные геодезические работы. В этом случае они решают те же задачи, которые указаны в пункте 1, а также непосредственно выполняют полевые и камеральные геодезические работы. Такая форма организации геодезических работ практикуется при жилищном строительстве в городах.

3. Наиболее сложные геодезические работы выполняются силами геодезической организации или геодезической группы, менее сложные — техником-геодезистом, прикомандированным к каждому сравнительно небольшому строительному объекту. За строителями в этом случае остаются лишь контрольные функции. Такая форма организации применяется при каркасно-панельном строительстве жилых домов.

4. Все геодезические работы (съемочные и разбивочные) на данном строительном объекте выполняются строителями. Такая форма организации возможна только на небольших и несложных строительных объектах, например, при строительстве одного-двух жилых домов, одного общественного здания, объектов сельскохозяйственного строительства и т. п.

В целях упорядочения геодезической службы в строительно-монтажных организациях Государственный комитет Совета Министров СССР по делам строительства (Госстрой СССР), утвердил 26 июня 1970 г. «Положение о геодезическо-маркшейдерской службе в строительно-монтажных организациях». Это положение устанавливает основные задачи геодезической службы строительно-монтажных и обязанным подрядных строительно-монтажных организаций, а также задачи организаций-заказчиков по выполнению геодезических работ и, кроме того, обязанности, права и ответственность работников геодезической службы строительно-монтажных организаций. В соответствии с «Положением» упорядочена структура геодезической службы в строительных подразделениях.

Крупные предприятия и комбинаты имеют при себе специальные строительно-монтажные тресты, которые разделяются на строительные управления и строительные участки. В соответствии со структурой строительства организуется и геодезическая служба. При управлении строительного треста имеется геодезическая группа, главная задача которой — обеспечить подразделения строительных управлений исходными геодезическими данными. Совместно с проектно-изыскательскими организациями группа составляет проекты геодезических работ, разбивочной основы площадок, контролирует точность ее построения. В процессе строительства группа организует периодические наблюдения за сохранностью геодезической основы, а при необходимости производит разбивку основных осей крупных объектов и строительных сеток.

Инженерно-геодезическая группа руководит геодезическими работами. В функции группы входит также ведение исполнительного генерального плана и составление сводного исполнительного генерального плана на территорию строительства, а иногда и выполнение ряда съемочных и трассировочных работ по проектированию временных сооружений, подсобных сооружений и др.

В строительных управлениях в составе производственно-технического отдела должен быть инженер или техник-геодезист. При большом количестве строящихся объектов может быть организована геодезическая группа. Эта группа проводит разбивку и закрепление основных осей сооружений; периодически контролирует отметки исходных реперов и марок, расположенных на территории строительного района; производит дополнительное развитие геодезической основы; на основании документов рабочего проекта составляет чертежи разбивки основных осей отдельных сооружений; концентрирует всю исполнительную документацию по разбивке осей и приемке сооружений, а также документы полевых исполнительных съемок; обеспечивает плановыми и высотными разбивками строительство земляных сооружений, коммуникаций и фундаментов, монтаж строительных конструкций и оборудования; осуществляет исполнительную съемку по этапам строительно-монтажных работ.

На каждом участке строители — инженеры и техники — под контролем инженера-геодезиста (или техника) производят детальную разбивку и геодезическое обслуживание строительных работ.

§ 118. Планирование инженерно-геодезических работ

Инженерно-геодезические работы являются составной частью комплексных технических изысканий, проектирования и строительства сооружений; они планируются совместно с другими видами изыскательских и строительных работ. Наиболее трудоемкая часть топографо-геодезических изысканий — крупномасштабная съемка и развитие опорных геодезических сетей, служащие основой для проектирования и перенесения проекта в натуру, — подлежит особому планированию и утверждению.

Основные разбивочные работы производят от пунктов геодезической основы, созданной при съемке местности или специально построенной в районе строительства. Детальная разбивка проводится от осей сооружений, закрепленных на местности при осуществлении основных разбивочных работ. На весь комплекс разбивочных работ составляют программу или технический проект, для чего необходимо иметь: крупный топографический план местности, на которой будет находиться сооружение; план, разрезы и конструктивные детали

сооружения; проект организации строительных работ; нормы точности разбивки основных элементов и частей относительно плановой основы и взаимного положения; план точек съемочной основы как плановой, так и высотной; данные о геологическом строении территории сооружений и прилегающего к ней района.

Изучив проект сооружения по плану и разрезам, прикинув на местности границы главного сооружения и вспомогательных объектов на строительной площадке, составляют проект опорной сети и выбирают способ детальной разбивки сооружения.

При определении стоимости геодезических работ производится расчет необходимого количества инженерно-технических работников и рабочих, транспортных средств, инструментов, оборудования и материалов.

В процессе планирования геодезических работ по созданию геодезической основы и детальных разбивок необходимо установить необходимую и достаточную точность этих работ. Исходным положением для такого расчета является заданная точность разбивки точки сооружения, которая предъявляет наиболее жесткие требования к основе.

В целях повышения производительности труда инженерно-геодезических работ на строительной площадке, снижения их трудоемкости и стоимости следует использовать опыт сетевого планирования строительно-монтажных и геодезических работ.

§ 119. Экономика инженерно-геодезических работ

При расчетах экономичности отдельных методов необходимо учитывать не только прямые затраты на развитие основной опоры сети, но и последующие работы по развитию съемочного обоснования, привязке трасс, построению разбивочных сетей и т. д.

На основании «Сборника цен на проектные и изыскательские работы для строительства», часть I «Цены на изыскательские работы» (1967) составляется смета на производство топографо-геодезических работ.

Для каждого вида топографических и геодезических работ, а также линейных изысканий в Сборнике цен приведены состав работ и показатели стоимости единиц измерения по трем категориям сложности. В нем учтены также полевые и камеральные работы, полевые довольствия, стоимость материалов, расходы на организацию и ликвидацию работ. В смету, кроме того, включают дополнительные расходы, не учтенные Сборником цен, стоимость транспорта, аренды помещений, стоимость работ в неблагоприятный период года и др.

Технический проект топографо-геодезических работ с соответствующей сметой представляется в территориальный отдел Геодезнадзора для получения разрешения на производство этих работ на территории строительства.

Топографо-геодезические работы при производстве инженерных изысканий, нормируются в соответствии с «Едиными нормами выработки на проектные и изыскательские работы при строительстве», ч. I (1958).

В Единых нормах по каждому виду работ установлены I и V категории трудности, составы работ и бригад, квалификация исполнителей, тарифные разряды рабочих и нормы выработки на единицу измерения. Если топографо-геодезические работы выполняются в неблагоприятное время года, то к нормам выработки применяется понижающий коэффициент.

При производстве съемочных работ на строительной площадке встречаются условия, затрудняющие проведение полевых измерений, дополнительное наличие котлованов, навалов земли, строительного мусора, временных складов материалов, строительных зон и т. п. В этих случаях категория трудности работ повышается.

На основании Единых норм составляют комплексные нормы выработки на отдельные виды геодезических работ, включающие полевые измерения и камеральную обработку материалов.

Специальных норм на разбивочные работы нет, поскольку они выполняются в большинстве случаев небольшими частями, по мере производства строитель-

ных работ. При необходимости нормировать отдельные виды разбивочных работ используются нормы выработки близких по содержанию геодезических работ, приведенных в Единых нормах.

§ 120. Техника безопасности геодезических работ при строительстве зданий и сооружений

Автодороги и железнодорожные пути. Инструмент устанавливают по оси дороги, если ширина ее составляет не менее 7 м. На более узких дорогах (при двустороннем движении) проезжий транспорт может сбить инструмент и вызвать несчастный случай. Если производственная необходимость исключает возможность проведения геодезических работ на обочинах дороги, вне ее проезжей части, то по обе стороны от исполнителя на расстоянии 15—20 м должны быть поставлены сигнальщики с красными флагами.

Следует избегать переходов по проезжей части дороги, а переходить от стоянки к стоянке вдоль дороги. Такого же правила нужно придерживаться и при переходах через железную дорогу: следует ходить только вдоль бровки, но не по полотну дороги. Во время прохождения поезда люди и инструменты должны находиться на расстоянии не менее 1 м от бровки железнодорожного полотна.

Во время работы на полотне железной дороги, имеющей заглубления, необходимо выделить одного человека для дежурства на повороте дороги и сигнализации о приближении поезда. К работе на железнодорожном полотне и на проезжей части автодороги нельзя допускать работников с плохим слухом или плохим зрением.

Подземные коммуникации. При рытье траншей для подземных коммуникаций необходимо систематически проверять их глубину. Работать с нивелиром на бровках траншей и ходить по ним опасно, поэтому инструмент следует устанавливать не ближе 1 м к бровке. Стоянки для инструмента нельзя устраивать там, где производится сварка трубы, так как это отрицательно сказывается на зрении. При исполнительной съемке и нивелировке водопроводных, канализационных и других колодцев, при замерах рулеткой или установке рейки внутри колодцев нужно быть уверенным, что в них отсутствуют вредные газы. В связи с этим от исполнителя сантехнических работ следует затребовать соответствующую справку. При необходимости спуститься в колодец для промера его глубины или съемки местоположения труб рабочий в любом случае должен надеть на себя спасательный пояс с веревкой, конец которой должны держать двое рабочих, находящихся наверху. Крышку колодца следует открывать специальным крюком или ломом.

Высоковольтные линии. С особой осторожностью нужно работать в районе уложенного высоковольтного кабеля. Копка ям для закладки реперов или марок геодезической основы, забивка металлических штырей или трубок могут закончиться несчастным случаем, если лопата или труба пробьет изоляцию кабеля. В местах прохождения кабелей, отмеченных специальными знаками, такие виды работ не производят.

Съемка и закладка знаков основы. Запрещается пользоваться неисправными вспомогательными инструментами. Людям, работающим на строительной площадке необходимо быть в обуви. Производство полевых работ вне сооружения или в неотопливаемом здании при температуре ниже —25° разрешается лишь по особому распоряжению начальника или главного инженера строительства.

Котлованы. Глубина котлована под фундамент многоэтажного здания значительно превышает размеры, принятые для жилых или промышленных зданий. Фундамент на глубину 15—20 м нередко закладывают при сооружении многоэтажных зданий. При производстве строительных работ нельзя становиться под стрелой экскаватора, даже если он не работает. Нельзя также находиться вблизи экскаватора во время его работы. Нельзя устанавливать инструмент и производить работы на краю котлована, в месте выемки экскаватором грунта во избежание обвала. Не разрешается устанавливать инструмент под нависшим грунтом (козырьком) и непосредственно на нем. Края котлована с крутыми откосами также не пригодны для стоянки инструментов. Спускаться

в котлован можно только по лестницам с перилами, сделанными из доброкачественного материала.

При работе в зимних условиях применяется электропрогрев грунта. Чтобы предупредить возможность поражения электрическим током, инструмент следует устанавливать и производить промеры вне таких участков котлована. При осуществлении взрывных работ работники геодезической службы и геодезические инструменты не должны находиться вблизи места зарядки шпуров. По сигналу взрывника персонал должен укрыться в помещении или уйти от места взрыва на расстояние не менее 150—200 м.

Фундаменты. Для выполнения разбивок необходимо проложить по арматуре доски в нужных направлениях и передвигаться только по ним. При укладке арматуры широко применяется электросварка, а при бетонировании в зимних условиях — электропрогрев. Повреждение токоведущих линий ножками штатива или соприкосновение с местами, имеющими недостаточную изоляцию, опасно для исполнителей, поэтому в местах, где проходят такие линии, производить геодезические работы не следует. В случае необходимости выполнения таких работ следует временно отключить электролинию.

По окончании возведения стен фундамента и устройства верхней плиты геодезические работы внутри фундаментов не прекращаются. Выноска осей и высот для различных строительно-монтажных работ, как и в подвальном этаже, требует достаточного освещения инструмента, реек, отвесов и т. д. Для этой цели применяют шахтерские или карманные электрические фонари различного типа, а также переносные электролампы на штангах. Напряжение электросети для таких ламп, как правило, не должно превышать 36 в. Можно для этих целей использовать сеть и более высокого напряжения при наличии у работающих перчаток и резиновой обуви.

В местах, где на поверхности проложен электрокабель, нельзя устанавливать инструмент, так как ножки штатива могут пробить изоляцию кабеля.

Опалубочные работы. По опалубке нельзя ходить, если она еще не укреплена окончательно и не имеет распоров. Пользоваться такими распорами для спуска или подъема не следует, так как плохо укрепленный распор может оборваться с большой высоты. Нельзя также спускаться с инструментом по наклонной лестнице, стремянке, трапу, если они не очищены от грязи, снега и льда. Снег и лед нужно счистить, а стремянку посыпать песком или золой. Переходить с одной опалубки на другую можно только по непрогибающейся доске, прибитой к опалубке гвоздями.

При работе на опалубке по выноске осей или высот, теодолит или нивелир можно устанавливать только на жесткой опоре, а не на случайно лежащих досках. При выполнении работ с инструментами внизу нужно следить, чтобы в одной вертикальной плоскости не работали наверху плотники или опалубщики, так как случайное падение топора, молотка или другого инструмента может вызвать несчастный случай. Не следует производить какие-либо разбивочные работы на опалубке в дождливое время, так как на мокрых досках можно легко поскользнуться.

Монтаж каркаса. При подъеме с яруса на ярус можно пользоваться только закрепленными стремянками или лестницами с исправными ступеньками, жесткими по конструкции.

Нельзя спускаться или подниматься по конструкциям, канату, тросу. Подъем тяжелых приспособлений (кронштейнов, штанг и т. д.) следует производить только при помощи каната или троса.

Для переходов с инструментами на колонны, с ригеля на ригель на ярусах используют удобные подмости или переносные мостики, изготовляемые из сбитых в щиты доброкачественных досок.

При работе на таких подмостях на торцах колонн или во время установки подставок для инструмента или зенитных марок исполнитель должен прочно привязать себя к закрепленным конструкциям специальным предохранительным поясом.

Переход без инструментов по ригелям (балкам) каркаса можно разрешать опытному монтажнику или геодезисту-верхолазу. При этом категорически запрещается ходить по балкам, можно лишь переползать, придерживаясь рука-

ми и закрепив себя за ригель предохранительным поясом. Одежда при этом должна быть удобной (комбинезон или лыжный костюм), не стеснять движений.

Работать и переходить по ригелям с рейкой при ветре можно лишь при силе его не выше 3 баллов. При гололедице или густом тумане производить какие бы то ни было геодезические работы на каркасе запрещается.

Промерять линии между торцами колонн, если мостики с перилами не придвинуты к ним, можно только рабочим, привязанным к соответствующим колоннам предохранительными поясами.

Работающий с инструментом (рейкой или рулеткой), должен находиться на безопасном расстоянии от человека, работающего по соседству.

Кладка стен. Причинами травм при возведении стен многоэтажных зданий могут быть засорение и ожоги глаз известью, падение с высоты, повреждения инструментами и материалами.

При выноске осей, высот, исполнительной съемке кирпичной кладки пользоваться лесами можно лишь при ограждении настила прочными поручнями высотой не менее 1 м, с бортовой доской шириной 18 см. Нельзя стоять на перекрытии в тех местах, где на следующем ярусе, не имеющем перекрытия, производится кладка стен по вертикали.

Рабочий, прикладывающий рейку к стене или к облицовке во время исполнительной съемки, высовываясь из оконного проема, должен закрепить себя веревкой или прибегнуть к помощи другого рабочего, поддерживающего его. Нужно следить также, чтобы в это время не произошло падения на рабочего каких-либо предметов сверху.

При измерениях на наружных гранях стен (исполнительная съемка, выноска осей и т. д.) нужно устраивать навесные защитные козырьки или выбирать такое время, когда строительные работы вверху не производятся (обеденные перерывы, перерывы между сменами или выходные дни).

К монтажному поясу каждого работающего геодезиста должна быть привязана веревка, закрепленная концом за конструкцию на перекрытии или за консоль, если работа производится не с монтажных или облицовочных люлек.

При любом несчастном случае (порезе, ожоге) пострадавшему необходимо оказать первую медицинскую помощь, в случае необходимости отправить на медицинский пункт.

Противопожарная безопасность. Правила по противопожарной безопасности должны соблюдаться как во время работ вне сооружения, так и внутри его. На территории постройки не разрешается курить в местах, где находятся стружки, отходы лесоматериалов; запрещается разводить костры внутри здания и вблизи существующих или строящихся деревянных построек, а также возле легко воспламеняющихся материалов.

При выполнении работ из состава бригады рабочих, если нет инженерно-технических работников, выделяют ответственного за производство работ и соблюдение правил по технике безопасности.

Каждый вновь поступивший рабочий может быть допущен к работе только после прохождения вводного инструктажа по технике безопасности и производственной санитарии, а также инструктажа на рабочем месте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аэронивелирование на изысканиях путей сообщения. М., Изд-во АН СССР, 1959.
2. Антонюженко В. Ф. Уравнивание полигонометрии строительной сетки. Сб. «Инженерная геодезия». Вып. 7. К., «Будівельник», 1970.
3. Багратуни Г. В., Большаков В. Д. и др. Справочник геодезиста. М., «Недра», 1966.
4. Багратуни Г. В. и др. Инженерная геодезия. М., «Недра», 1969.
5. Базакуца В. А. Международная система единиц. Харьков, изд-во Харьковского университета, 1970.
6. Беликов Е. Ф., Василенко С. С. Инженерно-геодезические работы при проектировании и строительстве гидроэлектростанций. М., Геодезиздат, 1960.
7. Бобылев Г. З. Геодезия (2-е изд.). М., Росвузиздат, 1963.
8. Большаков В. Д. Теория ошибок и наблюдений с основами теории вероятностей. М., «Недра», 1965.
9. Брайт П. И. Геодезические методы измерений деформаций оснований и сооружений. М., «Недра», 1965.
10. Вдовиченко С. Г. Спутник изыскателя (2-е изд.). М.—Л., «Энергия», 1965.
11. Видуев Н. Г., Гржибовский В. П., Подрезан В. В. Геодезические работы при крупномасштабном строительстве. К., Госстройиздат, УССР, 1963.
12. Видуев Н. Г. Осевая система геодезической основы разбивочных работ. Сб. «Инженерная геодезия». Вып. 7. К., «Будівельник», 1970.
13. Видуев Н. Г., Кондра Г. С. Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерений. М., «Недра», 1969.
14. Видуев М. Г. та ін. Інженерна геодезія. К., Держбудвидав УРСР, 1959.
15. Временные технические указания по геодезическому обслуживанию строительно-монтажных работ многоэтажных зданий. ВТУ 203—69. К., НИИСП Госстрой УССР, 1970.
16. Гайдаев П. А., Большаков В. Д. Теория математической обработки геодезических измерений. М., «Недра», 1969.
17. Ганьшин В. Н., Купчинов И. И., Лебедев С. М., Лютц А. Ф., Хренов Л. С. Инженерная геодезия. М., «Недра», 1968.
18. Гержула Б. И. Основы инженерной геодезии. М., Геодезиздат, 1960.
19. Даниленко Т. С. Геодезическое обеспечение монтажных работ. М., «Недра», 1971.
20. Долбачев М. А. Сетевое планирование инженерно-геодезических работ на строительной площадке. Сб. «Инженерная геодезия». Вып. 7. К., «Будівельник», 1970.
21. Дубовский М. Т. Геодезические работы на строительной площадке. К., «Будівельник», 1969.
22. Захаров А. И., Зуиков И. И. Теодолиты средней точности и оптические дальномеры. М., «Недра», 1965.
23. Инструкция о построении государственной геодезической сети СССР. М., «Недра», 1967.
24. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., «Недра», 1966.

25. Инструкция по топографическим работам. СН 212—62. М., Госстройиздат, 1962.

26. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000. М., Геодезиздат, 1954.

27. Коськов Б. И., Павлов К. П. Руководство по переносу проектов планировки и застройки городов и поселков в натуру. М., Госгеолтехиздат, 1963.

28. Купчинов И. И., Лебедев С. М. Геодезия при крупном промышленном строительстве. М., «Недра», 1965.

29. Лавриков А. С., Свиридов А. Е. Геодезические работы при геологических исследованиях. М., «Недра», 1968.

30. Лебедев Н. Н. Инженерная геодезия. Часть V. М., Геодезиздат, 1960.

31. Левчук Г. П. Курс инженерной геодезии. М., «Недра», 1970.

32. Ливанов М. М. Геодезия в строительстве (2-е изд.). М., Стройиздат, 1968.

33. Лобанов А. Н. Фототопография. Наземная стереосъемка. М., «Недра», 1968.

34. Лютиц А. Ф. Разбивка крупных сооружений. М., «Недра», 1969.

35. Григоренко А. Г., Мазницкий А. С. Методические указания по измерению перемещений на оползнях. К., ОНТИ Министерства геологии УССР, 1968.

36. Нагнибеда П. М. Геодезические измерения при монтаже 12-этажных панельных домов. Сб. «Инженерная геодезия». Вып. 6. К., «Будівельник», 1969.

37. Небылов А. А., Серебряков Б. И. Допуски на изготовление и монтаж строительных конструкций. Л., Стройиздат, 1967.

38. Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. М., ГУГК, 1970.

39. Панкратьев Ю. Н., Пузанов Б. С., Сердюков В. М. Инженерная фотограмметрия. Львов, изд-во Львовского университета, 1964.

40. Положение о геодезическо-маркшейдерской службе в строительно-монтажных организациях. М., Стройиздат, 1970.

41. Правила по технике безопасности на топографо-геодезических работах. М., «Недра», 1969.

42. Сироткин М. П. Справочник по геодезии для строителей. М., «Недра», 1968.

43. Справочник маркшейдера. Часть I. М., Metallurgizdat, 1953.

44. Стародубов В. Л., Сундуков Я. А. Короткобазисная параллактическая полигонометрия. М., Госгеолтехиздат, 1963.

45. Субботин И. Е. О допустимом отклонении опор и станций подвесных канатных дорог. Сб. «Инженерная геодезия». Вып. 2. Киев, «Будівельник», 1966.

46. Субботин И. Е. Косвенное определение натяжения канатов подвесных дорог. Известия высших учебных заведений. Раздел «Геодезия и аэрофотосъемка». Вып. 1. М., 1965.

47. Строительные нормы и правила (СНиП): III-В, 3—62; III-В. 1—62; III-В. 5—62; III-Б. 4—62; II-М. 162; II-Л. 1—71; III-Г. 4—62. Госстройиздат, 1962.

48. Сундуков Я. А. Геодезические работы при строительстве многоэтажных зданий. М., Геодезиздат, 1956.

49. Татерин Е. Н. и др. Организация и планирование геодезических и топографических работ. М., «Недра», 1965.

50. Фаренбрух Н. К. Геодезия в строительстве. М., Госстройиздат, 1962.

51. Черемисин М. С. Геодезические сети при крупном подземном строительстве. М., Геодезиздат, 1960.

52. Чмчян Т. Т. О точности перенесения в натуру осей крупнопанельных зданий методом створной засечки. Сб. «Инженерная геодезия». Вып. 5. Киев, «Будівельник», 1968.

53. Шилов П. И. Геодезия. М., Госгеолтехиздат, 1963.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава I. НЕКОТОРЫЕ СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МАТЕМАТИКИ	3
§ 1. Площадь плоских фигур	3
§ 2. Объем тел	4
§ 3. Гониометрия	7
§ 4. Плоская тригонометрия	9
§ 5. Аналитическая геометрия на плоскости	11
§ 6. Аналитическая геометрия в пространстве	13
§ 7. Дифференциальное исчисление	14
§ 8. Интегральное исчисление	16
§ 9. Некоторые переводные множители для перехода от английских, американских и старых русских единиц к единицам СИ	17
Глава II. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ	19
§ 10. Использование планов и карт	19
§ 11. Геодезические измерения для составления крупномасштабных изыскательских планов	26
§ 12. Ошибки измерений	28
§ 13. Создание опорных геодезических сетей	40
§ 14. Виды съемок, выполняемых на территории строительства	46
§ 15. Особенности геодезических работ при изысканиях сооружений линейного типа	59
§ 16. Особенности геодезических работ при градостроительстве	62
§ 17. Особенности геодезических работ при гидростроительстве	65
§ 18. Общие задачи инженерно-геодезических изысканий на разных стадиях проектирования	66
Глава III. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СООРУЖЕНИЙ	68
§ 19. Решение инженерно-геодезических задач на топоплане	68
§ 20. Привязка осей инженерных сооружений (при их разбивке) к пунктам геодезической основы	74
§ 21. Способы определения величин разбивочных элементов	77
§ 22. Подготовка к перенесению проекта на местность	86
§ 23. Проект строительной координатной сетки	88
§ 24. Горизонтальная планировка территории строительства	91
§ 25. Вертикальная планировка территории строительства	94
§ 26. Задачи геодезических работ на строительной площадке в подготовительный период	104

Инструменты и приспособления для геодезических разбивочных работ

§ 27. Теодолиты (общие сведения)	106
§ 28. Теодолиты с металлическими лимбами	106
§ 29. Теодолиты со стеклянными лимбами (оптические теодолиты)	108
§ 30. Устройство и назначение теодолитов	108
§ 31. Особенности эксплуатации теодолитов	111
§ 32. Поверки и юстировки теодолитов	117
§ 33. Способы измерения горизонтальных углов	119
§ 34. Точность измерения горизонтальных углов	123
§ 35. Измерение вертикальных углов	124
§ 36. Нивелиры	126
§ 37. Нивелирные рейки	132
§ 38. Поверки и юстировки нивелиров	135
§ 39. Основные источники ошибок нивелирования	138
§ 40. Полевые работы по нивелированию трассы. Рекогносцировка местности. Разбивка пикетажа	138
§ 41. Разбивка кривых	140
§ 42. Производство геометрического нивелирования	144
§ 43. Обработка журнала нивелирования	148
§ 44. Составление профиля	150
§ 45. Проведение проектной линии	151
§ 46. Нивелирование застроенных и открытых участков местности	153
§ 47. Оптические дальномеры двойного изображения	155
§ 48. Измерение расстояний	157
§ 49. Оптические дальномеры	158
§ 50. Принцип измерения расстояний	158
§ 51. Характеристика и принцип работы дальномера ОТД	160
§ 52. Радиофизические дальномеры	161
§ 53. Радиодальномер РДГ	167
§ 54. Радиодальномер «Луч»	167
§ 55. Светодальномер «Кристалл»	168
§ 56. Светодальномер топографический СТ-64	169
§ 57. Оптические квантовые дальномеры (ОКД)	170
§ 58. Измерение наклонов с помощью микрокренометра	170
§ 59. Мерные приборы и их компарирование	171

Разбивочные сети на строительном объекте

§ 60. Строительная координатная сетка	172
§ 61. Привязка строительной координатной сетки к геодезической основе	173
§ 62. Разбивка и построение строительной координатной сетки	175
§ 63. Случай перенесения главной оси сетки на закрытую местность	177
§ 64. Разбивка строительной координатной сетки. Способ микротриангуляции	178
§ 65. Способ посредственных линейных измерений при разбивке строительной сетки	179
§ 66. Замена временных знаков постоянными	181
§ 67. Расчет точности строительной координатной сетки	183
§ 68. Высотная опорная сеть на строительной площадке	191
§ 69. Расчет норм точности геодезических разбивочных работ по строительным допускам	194
§ 70. Строительные допуски	195
§ 71. Нормы точности разбивки сооружений	197

Элементы геодезических разбивочных работ	
§ 72. Построение на местности линий заданной длины	203
§ 73. Построение на местности заданных углов	206
§ 74. Способы переноса точек в натуру, оценка их точности	209
§ 75. Передача отметок по вертикали	211
§ 76. Вынесение на местность точки с проектной отметкой	212
§ 77. Построение на местности линий и плоскостей заданного уклона	213
§ 78. Разбивка площадок на местности	214
Разбивка инженерных сооружений в плане	
§ 79. Подготовительные работы	215
§ 80. Способ прямоугольных координат	216
§ 81. Полярный способ	216
§ 82. Способы засечек	218
§ 83. Разбивка строительных объектов от уже существующих	220
§ 84. Разбивка и закрепление на местности главных и основных осей сооружений	221
§ 85. Установка и закрепление геодезических пунктов на строительной площадке	222
Геодезическое обслуживание строительных работ нулевого цикла	
§ 86. Разбивка котлованов	225
§ 87. Проектирование осей на дно котлована и подготовка оснований под фундаменты	226
§ 88. Разбивка траншей и смотровых колодцев для подземных сетей инженерных коммуникаций	227
§ 89. Геодезические разбивочные работы при сооружении фундаментов	229
§ 90. Разбивочные работы при устройстве подвальной части здания	232
§ 91. Вынос и закрепление проектных осей и нулевого горизонта на цоколь здания	233
§ 92. Составление исполнительной схемы подвальной части здания	235
Геодезические работы при возведении надземной части зданий и сооружений	
§ 93. Общие положения	236
§ 94. Передача отметок на вышележащие монтажные горизонты	237
§ 95. Геодезические разбивки при возведении стен зданий	238
§ 96. Перенесение монтажных осей на верхние ярусы сооружений	236
§ 97. Поэтажные геодезические разбивки	241
Геодезические работы при монтаже строительных конструкций	
§ 98. Виды геодезических работ	241
§ 99. Установка железобетонных колонн	247
§ 100. Выверка установки колонн	248
§ 101. Разбивочные работы при монтаже рам, балок-ригелей и ферм	251
Глава V. ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СЪЕМКА	254
§ 102. Задачи, методы и содержания исполнительных съемок	254
§ 103. Плановое и высотное обоснования исполнительной съемки	256

§ 104. Составление исполнительного генплана и исполнительных чертежей	266
§ 105. Применение аэрофотосъемки при проведении исполнительных съемок	271
Глава VI. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	276
§ 106. Виды деформаций зданий и сооружений	276
§ 107. Причины осадок и деформаций сооружений	277
§ 108. Наблюдение за осадками зданий и сооружений	277
§ 109. Глубинные реперы и нивелирные марки	279
§ 110. Измерение осадок зданий и сооружений	283
§ 111. Измерение вертикальных смещений грунтов в основаниях сооружений	285
§ 112. Геодезические методы измерения горизонтальных перемещений зданий и сооружений	288
§ 113. Методы измерения кренов и трещин	289
§ 114. Геодезические наблюдения за оползнями	294
§ 115. Применение методов наземной фотограмметрии для измерения деформаций сооружений	295
§ 116. Техническая документация по измерению осадок и деформаций сооружений	297
Глава VII. ОРГАНИЗАЦИЯ И ПЛАНИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ	300
§ 117. Организация инженерно-геодезических работ	300
§ 118. Планирование инженерно-геодезических работ	301
§ 119. Экономика инженерно-геодезических работ	302
§ 120. Техника безопасности геодезических работ при строительстве зданий и сооружений	303
ЛИТЕРАТУРА	306

*Иван Егорович Субботин,
Анатолий Саввич Мазницкий*

СПРАВОЧНИК СТРОИТЕЛЯ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

Редакторы *С. К. Овчаренко, Г. С. Шандро*
Обложка художника *М. О. Босенко*
Художественный редактор *Я. М. Яковенко*
Технический редактор *З. П. Золотарева*
Корректоры *Н. Б. Ревуцкая, Е. А. Шулык*

БФ 07462. Сдано на производство 1. IX. 1972 г. Подписано к печати 16. XI. 1972 г. Бумага типографская № 2, 60×90^{1/16}=9,75 бумажных, 19,5 физ., 19,5 усл., 25,69 уч.-изд. л. Заказ 1771. Тираж 40 000. Цена 1 р. 52 коп.

Издательство «Будівельник», Киев, Владимирская, 24.
Киевская книжная типография № 6, Киев, Выборгская, 84.