

ГЕОДЕЗИЯ

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ

Под редакцией

В. П. САВИНЫХ и В. Р. ЯЩЕНКО



МОСКВА "НЕДРА" 1991

ББК 26.12

Г 35

УДК 528.3 + 528.4 (038)

Авторы: *Ю. К. Неумывакин (2), Е. И. Халугин (4), П. Н. Кузнецов (1),
А. В. Бойко (3)*

Г 1802020000 197
043(01)—91

^@ Коллектив авторов, 1991

181М 5-247-01251-8

1. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ СГУЩЕНИЯ

Геодезической основой крупномасштабных съемок служат пункты государственной геодезической сети (триангуляции и полигонометрии 1, 2, 3, 4 классов, нивелирования I, II, III, IV классов), геодезические сети сгущения 1 и 2 разрядов, техническое нивелирование, съемочные геодезические сети.

1.1. ПОЛ И ТОНОМЕТРИЯ 4 КЛАССА, I И 2 РАЗЯДОВ

На объектах крупномасштабных съемок полигонометрию 4 класса выполняют по требованиям, приведенным в табл. 1, с пониженной точностью по сравнению с государственной полигонометрией 4 класса. Полигонометрические сети 4 класса, 1 и 2 разрядов создают в виде отдельных ходов или систем ходов.

Отдельный ход полигонометрии должен опираться на два исходных пункта с обязательным измерением примычных углов. Допускается проложение замкнутых полигонометрических ходов 1 и 2 разрядов с опорой на один исходный пункт (при условии передачи или измерения с точек хода двух дирекционных углов) и координатная привязка к пунктам высшего класса. В последнем случае для контроля угловых измерений используются астрономические или гиротеодолитные наблюдения азимутов. Проложение висячих ходов не допускается.

В табл. 1 приводятся основные требования к построению полигонометрии 4 класса, I и 2 разрядов.

Допускаются некоторые отклонения от требований (табл. 1), установленных инструкцией [10]. Длины привязочных сторон, если они измеряются светодальномерами, разрешается увеличивать до 30 %. В ходах полигонометрии 1 разряда длиной до 1 км и в ходах полигонометрии 2 разряда длиной до 0,5 км допускается абсолютная линейная невязка 10 см. Число угловых и линейных невязок, близких к предельным, не должно превышать 10 %. Допускается увеличение длин ходов полигонометрии 1 и 2 разрядов до 30 %, в этих случаях не реже, чем через 15 сторон и через 3 км определяют дирекционные углы с ошибкой 5—7".

В работе В. Д. Большакова и Ю. И. Маркузе [6] доказано, что в ряде случаев (например, при наличии топографических светодальномеров, обеспечивающих точность измерения длин сторон со средней квадратической ошибкой 1—1,5 см) целесообразно строить одноразрядную полигонометрическую сеть.

Параллельно проложенные ходы, если их длина близка к предельной, а расстояние между ходами 4 класса менее 2,5 км, 1 разряда — менее 1,5 км, соединяют перемычками того же класса или разряда.

Высоты закрепленных попарно пунктов полигонометрической сети, как правило, определяют из геометрического нивелирования.

Таблица 1

Основные показатели	Полигонометрия		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
Предельная длина хода, км:			
отдельного	15	5	3
между исходной и узловой точками	10	3	2
между узловыми точками	7	2	1,5
Предельный периметр полигона, км	30	15	9
Длина стороны хода, км:			
наибольшая	2,00	0,80	0,35
наименьшая	0,25	0,12	0,08
средняя	0,50	0,30	0,20
Число сторон в ходе, не более	15	15	15
Относительная ошибка хода, не более	1/25 000	1/10 000	1/5000
Средняя квадратическая ошибка измерения угла (по невязкам в ходах и полигонах), с, не более	3	5	10
Угловая невязка хода или полигона, с, где n — число углов в ходе, не более	$2\sqrt{n}$	$10\sqrt{n}$	$2(\sqrt{4n})$

1.1.1. Составление проекта хода и сети полигонометрии, оценка проекта

Проектирование полигонометрических сетей 4 класса, 1 и 2 разрядов и съемочного обоснования крупномасштабных съемок проводят с учетом масштабов и методов предстоящих съемок, народнохозяйственных задач и требований нормативных документов, на основе: сбора и анализа данных по геодезической изученности на объекте съемки; наличия приборов; изучения физико-географических и экономических данных о районе работ, с учетом наличия строительных материалов и рабочей силы, результатов обследования района и перспектив развития района не менее чем на 10—15 лет.

Проект сети составляют на топографических картах масштаба 1:10 000 или 1:25 000. Выполняют оценку составленного проекта. Исходными требованиями для расчета точности сети ступенчатого обоснования: они не должны превышать на открытой местности и застроенных территориях 0,2 мм на плане, т. е. 10 см в масштабе 1 : 500.

Проектирование сетей с применением ЭВМ [6] позволяет получить оптимальное решение: создание сети заданной точности с наименьшими затратами денежных средств.

Пусть на конечной ступени требуется относительная средняя квадратическая ошибка $\sqrt{T_K}$, на начальной — $\sqrt{T_n}$. При числе ступеней n определим коэффициент обеспечения точности при переходе от предыдущей ступени построения к последующей [17]

$$K = \sqrt[n]{\frac{T_n}{T_K}}$$

Например: $7'_{\text{н}} = 50\ 000$, $T_{\text{к}} = 10\ 000$ (переход от полигонометрии 4 класса к полигонометрии 2 разряда), $n = 2$, $f = 2,24$.

Формула (1.1) применима к расчетам ступеней полигонометрических построений, если ходы полигонометрии опираются на два безошибочных исходных пункта или примычных дирекционных угла.

Наличие дополнительных ошибок исходных данных приводит к появлению в формуле (1.1) коэффициента e , характеризующего увеличение действия ошибок исходных данных на относительную ошибку последующей ступени построения (см. *Конусов В. Г.* Предвычисление точности полигонометрических ходов. — М.: Недра, 1966)

$$K = \frac{1}{e} \cdot n \sqrt{\frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{к}}}}. \quad (1.2)$$

В работе [17] рекомендуется ориентировочно принять коэффициент e равным 1,5 или $\sqrt{2}$. Тогда формула (1.2) примет вид

$$K = \frac{1}{1,5} \cdot n \sqrt{\frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{к}}}}. \quad (1.3)$$

Например, при точности начальной ступени (полигонометрии 4 кл.) $1/7'_{\text{н}} = 1/50\ 000$ и конечной ступени (теодолитного хода) $1/7'_{\text{к}} = 1/4000$ при трехступенной схеме развития обоснования ($n = 3$) коэффициент обеспечения точности должен быть равен не менее

$$K = \frac{1}{1,5} \sqrt[3]{12,5} = 1,55.$$

При проектировании одиночного полигонометрического хода, опирающегося на исходные пункты и исходные дирекционные углы, необходимо определить ошибку в положении пункта и ошибку дирекционного угла в середине хода после его уравнивания.

Известно, что средняя квадратическая ошибка в слабом месте хода после уравнивания:

$$M_{\text{с}} = \sqrt[n]{M}, \quad (1.4)$$

где M — средняя квадратическая ошибка в положении конечного пункта хода до уравнивания вычисляется для хода произвольной формы (угловая невязка распределена) по формуле

$$M^2 = [m_l^2] + [o_u^2] \quad p \quad (1.5)$$

или, когда углы не уравнены, по формуле

$$M^2 = [m_s^2] + [D_{(n+1), i}^2] \frac{m_p^2}{p}. \quad (1.6)$$

Для вытянутого хода с примерно равными сторонами соответственно имеем

$$M^2 = \tau^2 / (1 + \lambda^{-1} \tau^2) \quad (1.7)$$

или

$$M^2 = \tau^2 / (\Gamma + \lambda^{-1} \tau^2) \quad (1.8)$$

При наличии ошибок исходных данных в правой части равенств (1.5), (1.6), (1.7), (1.8) добавляют слагаемое τ^2

В приведенных формулах приняты обозначения: m_s — средняя квадратическая ошибка измерения стороны; m_α — средняя квадратическая ошибка измерения угла; $0_{0>}$ — расстояния от каждой вершины хода до центра тяжести хода; $0_{(n+1)}$ — расстояние от каждой вершины хода до конечной его вершины; n — число сторон в ходе; L — длина замыкающей хода.

В случае измерения длин сторон подвесными мерными приборами, например, вместо формулы (1.5) имеем

$$M^2 = \tau^2 \Pi + L^2 / (2 + [L] \tau^2) \quad (1.9)$$

где x и A — соответственно коэффициенты случайного и систематического влияния при линейных измерениях; $[x]$ — периметр хода. Для инварных проволок при измерениях по целиковым штативам из опыта $\tau^2 = 0,0003 - 0,0004$; $A = (1/20 - M/30)$ ц.

Среднюю квадратическую случайную ошибку измерения длин сторон хода определяют в зависимости от метода измерения по формулам:

для проволок

$$\tau_{5\phi} = |x_d / 5|, \quad (1-10)$$

для светодальномеров

$$m_{II} = a - b \tau, \quad (1-11)$$

где a и b — коэффициенты, определенные на базисе; для короткобазисного метода

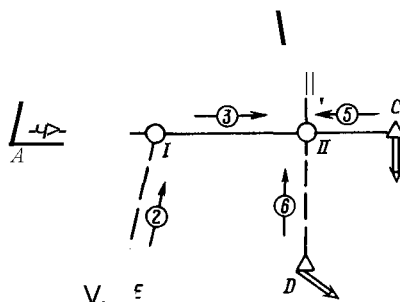
$$\tau_{5\phi} = (\tau^2 / \phi) \tau, \quad (1-12)$$

где ϕ — параллактический угол; m_ϕ — средняя квадратическая ошибка.

С целью уменьшения влияния угловых ошибок на поперечный сдвиг хода и на M практикуют в середине хода точное определение дирекционного угла (азимута) из астрономических или гиротеодолитных наблюдений, тогда формула, например, (1.7) имеет вид

$$\tau_{II}^2 = \tau^2 / (1 + 4 \tau^2 / \Gamma^2) \quad (1-13)$$

Рис. 1. Сеть полигонометрии



где k — число секций в ходе (при одном дирекционном угле, точно измеренном в середине хода, $k = 2$, при двух — $k = 3$ и т. д.). Приведенные расчеты по формулам (1.4) — (1.13) привлекают простотой вычислений и широко применяют в приближенных оценках проектов. Более точные результаты получают по формулам [17], но они также являются упрощенными.

Средняя квадратическая ошибка дирекционного угла в слабом месте хода после уравнивания, при наличии только случайных ошибок измерений, примерно равна средней квадратической ошибке измерения угла, т. е.

$$m_a = m_p. \quad (1.14)$$

При наличии систематических ошибок и погрешностей исходных данных часто принимают

$$m_a = 1,5 m_p. \quad (1.15)$$

Расчет точности полигонометрических сетей можно проводить по формулам [6] на ЭВМ, и по способу узлов (последовательных приближений).

Сущность способа узлов заключается в следующем.

На рис. 1 представлена сеть полигонометрии из шести ходов, сходящихся в двух узлах I и II. По каждому ходу вычисляют M по формулам (1.5) — (1.13). Например, имеем M_1 по ходу 1 от точки A до узла I; M_2 по ходу 2 от точки E до I; M_3 по ходу 3 между узлами I и II. Вес первого узла в первом приближении равен

$$P_I = P_1 + P_2 + P_3. \quad (1.16)$$

а средняя квадратическая ошибка / узла

$$(M_I^2)' = \frac{C}{P_I}, \quad (1.17)$$

где

$$P_I = C/M^2; P_{II} = C/M^2; P_3 = C/M^2.$$

Среднюю квадратическую ожидаемую ошибку определения узловой точки II в первом приближении получают по формуле

$$\langle \sigma \rangle' = C/\sqrt{C}, \quad (1.18)$$

где

$$P'_u = P_3 + P_4 + P_5 + P_6. \quad (1.19)$$

Во втором приближении учитывают ошибки исходных данных для / и // узлов, вычисленные по формулам (1.17) и (1.18). Следовательно, во втором приближении изменится вес хода 3. Для первого узла имеем

$$(M^2)' = C/P'\{, \quad (1.20)$$

где

$$1/\sigma^2 = 1/\sigma_0^2 + P_i + P'_L \quad (1.21)$$

$$P'\{ = C/[M^2 + (M^2)'_u]. \quad (1.22)$$

Для второго узла имеем

$$(M^2)'_u = C/P'\{, \quad (1.23)$$

$$P_{Г1} = Y_4 + Y_5 + P_6 + Y_7, \quad O-24)$$

где

$$P_Z = C/[M^2 + (M^2)'_u]. \quad (1.25)$$

В третьем приближении в качестве ошибок исходных данных узловых точек *lall* принимают их ошибки, полученные во втором приближении. Вычисления продолжают до тех пор, пока

По способу приближений (узлов) получаются строгие результаты оценки точности сети и достигаются достаточно быстро, если сеть хорошо спроектирована (обусловлена). Когда, например, отсутствуют чрезмерно длинные и слишком короткие ходы.

Далее подсчитывают общие средние квадратические и предельные относительные ошибки каждого хода с учетом ошибок исходных данных:

$$M^2_{\text{хода}} = M^2 + \dots, \quad (1.26)$$

и

$$2 M_{\text{хода}} - И - < T - < ' - 27 >$$

где M — средняя квадратическая ошибка хода, обусловленная ошибками измерения углов и линий в ходе; $M_{\text{н}}$, $M_{\text{к}}$ — средние квадратические ошибки начального и конечного пунктов хода, $1/7''$ — допуск, установленный инструкцией [10].

Исследования [33] и других авторов показывают, что вытянутый ход не всегда является более точным, особенно при измерении длин линий светодальномерами.

Составленный и утвержденный проект является основным руководящим документом при построении сетей сгущения.

1.1.2. Рекогносцировка и закрепление пунктов полигонометрии

При рекогносцировке уточняют проект сети, направление ходов, и определяют места установки полигонометрических знаков. Полигонометрические ходы прокладывают по местности, наиболее благоприятной для производства угловых и линейных измерений. Места установки полигонометрических пунктов выбирают легкодоступными, хорошо опознаваемыми, обеспечивающими долговременную сохранность и возможность использования их в качестве точек съемочной сети.

Между смежными пунктами хода и примыкающими направлениями на узловых точках обеспечивают прямую видимость с земли при прохождении луча над ее поверхностью не менее чем 0,5 м.

Центры и знаки выбирают и закладывают в соответствии с требованиями действующей инструкции [10]. На застроенной территории предпочтение отдается стенным знакам.

При рекогносцировке и установке знаков учитывают методы измерения длин сторон в ходах полигонометрии и ряд других важных требований [33, с. 15—22].

Запрещается устанавливать полигонометрические знаки на проезжей части улиц, пашне, болоте, осыпях, оползнях, а также вблизи карьеров, котлованов и других опасных мест.

Каждый установленный полигонометрический знак привязывают к постоянным предметам местности не менее чем тремя промерами (до 1 см), а местоположение знака аккуратно зарисовывают в карточке закладки.

Заложенные знаки и центры сдают на хранение местным Советам по акту. К акту прикладывают карточки закладки и схему расположения пунктов.

По завершении рекогносцировки уточняют проект полигонометрической сети и составляют схему ходов полигонометрии с указанием номеров пунктов и типов знаков. В пояснительной записке указывают методику измерения углов и описывают особые случаи.

1.1.3. Измерение углов на пунктах пол и тонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов

Теодолиты, их основные технические характеристики и особенности конструкций

Угловые измерения в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов выполняют точными теодолитами типов: Т2, Т5 (рис. 2 и 3), соответственно, с оптическим микрометром и двухсторонней системой отсчета, со шкаловым микроскопом и односторонней системой отсчета. К настоящему времени в производстве имеется большое количество различных модификаций точных отечественных и зарубежных теодолитов: Т2, 2Т2, 2Т2П,

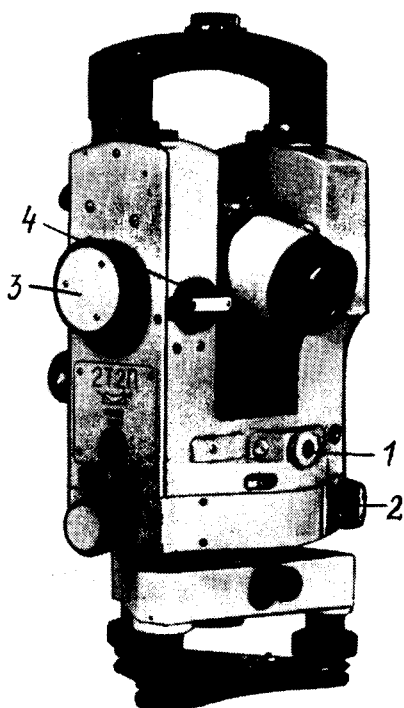


Рис. 2. Теодолит 2Т2:

1—окуляр оптического отвеса; 2 —
малыра для перестановки лимба;
барaban оптического микрометра;
переключатель кругов

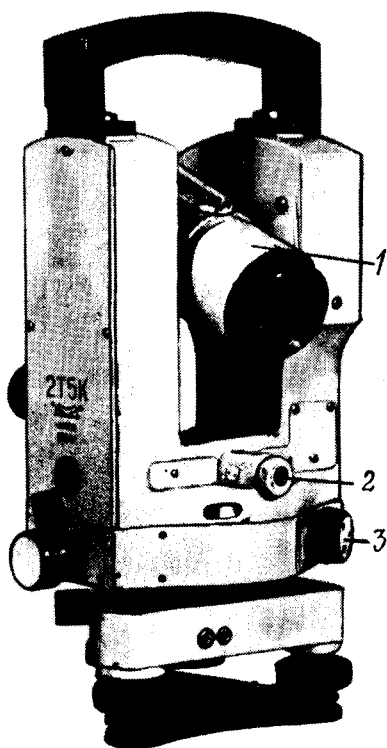


Рис. 3. Теодолит 2Т5:

1—зрительная труба; 2 — окуляр опти-
ческого микрометра; 3—кремалыра для
перестановки лимба

аого-оэщ	а с(
ого-оэщ	о
имэк:	СССР
М512	
X91	
31 г	
51	
еа-<>1	а
аого-оэщх	
УОЮ-оощ	0, с* и о
ОЮ-ОЭЩ	
вг!е	СССР
гаг	
21	

ЗТ2КП, Theo-010, Theo-OIOA, Theo-OIOB, Те-ВЗ; Т5, Т10, Т5К, 2Т5, 2Т5К, 2Т5КП, 3Т5КП, Theo-020, Theo-020А, Theo-020В и ряд других, им равно-точных.

В табл. 2 приведены основные технические характеристики некоторых модификаций точных теодолитов.

Современные точные оптические теодолиты ЗТ2К.П., 3Т5КП имеют зрительные трубы прямого изображения, двухскоростное фокусирование зрительной трубы, одинаковые диаметры горизонтального и вертикального кругов, круглые уровни на алидаде горизонтального круга. В теодолите ЗТ2КП установлен компенсатор с арретиром и оптический центрир. Оба теодолита выгодно отличаются от предшественников надежностью конструкции, возможностью и удобством юстировки в полевых условиях.

Все точные теодолиты приспособлены для работы по трехштативной системе. Серии теодолитов ЗТ и 2Т унифицированы, ряд их узлов и деталей взаимозаменяемы. У всех новых отечественных теодолитов за основное рабочее положение принято положение вертикального круга слева от зрительной трубы (КЛ).

Особенностью конструкций теодолитов серии 2Т является неподвижность сетки нитей. В этих приборах исправление $2c$ достигается поворотом клинового кольца на объективной части зрительной трубы с помощью специального ключа, что вызывает измерение МО. Для исправления МО в теодолите 2Т5К имеется винт с выходной головкой под отвертку. Винт расположен на колонке с вертикальным кругом.

В теодолите 2Т2 применена более удобная система отсчета по кругам, чем в теодолите Т2. В поле зрения трубы отсчетного микроскопа имеется три окна. В вертикальном окне, расположенном над окном с совмещенными штрихами, отсчитывают градусы и десятки минут (цифра, расположенная под градусами). Единицы минут, секунды и их десятые доли отсчитывают в правом окне по шкале микрометра, по неподвижному индексу, т. е. так же, как и в теодолите Т2.

Теодолиты Theo-OIOA, Theo-OIOB широко применяют для измерения углов в полигонометрии в нашей стране. В них установлены зрительные трубы с прямым изображением, компенсаторы вместо уровней при алидадах вертикальных кругов, оптические центры, совмещенные закрепительные винты и совмещенные наводящие винты. В теодолите Theo-OIOB имеется двухскоростное фокусирующее устройство и механизм грубого и точного азимутального наведения. В поле зрения оптического микрометра, кроме окна со штрихами круга, имеется верхнее окно для отсчета градусов, два малых центральных окна для отсчета десятков минут (четных и нечетных) и правое окно для отсчета по шкале микрометра.

Шкаловый теодолит Т5 (Т10) и другие однотипные с ним шкаловые теодолиты применяют для измерения углов в сетях 1 и 2 разрядов. Теодолит Т5 имеет повторительную систему осей с защелкой для скрепления лимба с алидадой. Модификацией теодолита Т5 является теодолит Т5К, неповторительный теодолит с компенсатором. Оцифровка горизонтального и вертикального кругов в теодолитах от 0 до 360° . Основное положение — КП, т. е.

$$r = \text{КП-МО}, \quad (1.28)$$

где

$$\text{МО} = \frac{\text{КП+КЛ} + 180^\circ}{2} \quad (1.29)$$

Шкаловые теодолиты унифицированной серии 2Т: 2Т5, 2Т5К по внешнему оформлению имеют много общего с теодолитом 2Т2. У них одна и та же зрительная труба, ахромат ГД 309, одинаковые корпуса, совмещенные закрепительные и наводящие винты, цилиндрические осевые системы. Вертикальные круги теодолитов 2Т5 и 2Т5К имеют секторную оцифровку: два сектора от 0 до 75° и два — от 0 до -75° . Основное положение теодолитов — КЛ.

$$v = \text{КЛ-МО}, \quad (1.30)$$

$$\text{МО} = \frac{\text{КЛ+КП}}{2} \quad (1.31)$$

Особенность отсчитывания по вертикальному кругу состоит в следующем. При отсчете по штриху вертикального круга, перед оцифровкой которого стоит знак минут, минуты берут по отрицательной шкале. Если перед цифрой градусного штриха минуса нет, то минуты отсчитывают по положительной шкале вертикального круга.

Из зарубежных шкаловых теодолитов широко применяются теодолиты Т1ео-020, Т1ео-020А и Т1ео-020В, имеющие незначительные отличия от отечественных шкаловых теодолитов. Теодолиты серии «В» народного предприятия «Карл Цейсс», Йена снабжены широким набором комплектующих изделий, например: устройство быстрого центрирования и упрощенного приведения прибора в рабочее положение; электрифицированная вешка, устанавливаемая на ручке — мостике теодолита; призмная насадка на объектив трубы для визирования в зенит и надир; насадочные линзы на объектив для уменьшения расстояния визирования до 0,5 м и другие приспособления, создающие удобства в работе и расширяющие возможности теодолитов.

Проверка точных теодолитов и угломерного комплекта

До начала работ проводят осмотр, проверки теодолита и всего угломерного комплекта, выполняют исследования и определяют метрологические характеристики теодолита.

При осмотре проверяют комплектность прибора, сохранность оптических деталей, ампул уровней; фиксацию зеркала подсветки; плавность перемещения фокусирующей линзы; плавность вращения зрительной трубы, подъемных и наводящих винтов прибора; чистоту оптики, четкость изображения нитей сетки, штрихов шкал кругов и шкал микроскопа; отсутствие коррозии и вмятин на металлических деталях.

Проверяется устойчивость прибора в приданном положении: отсутствие качки в подъемных винтах, в головке и ножках штатива. В необходимых случаях выполняют регулировку хода подъемного винта вращением регулировочной гайки, закрепляют винты головки и ножки штатива.

Поверки теодолита выполняют в такой последовательности.

1. Перпендикулярность оси цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга и оси вращения теодолита проверяют поворотом алидады на 180° .

2. Параллельность оси круглого уровня и оси вращения теодолита проверяют после установки прибора по цилиндрическому уровню.

3. Правильность установки сетки проверяют по точке или по отвесной линии.

4. Перпендикулярность визирной оси и оси вращения трубы проверяют по удаленной точке, расположенной вблизи горизонта,

$$2c = L, - П, \pm 180^\circ. \quad (1.32)$$

В теодолитах с односторонним отсчетом, чтобы исключить влияние эксцентриситета, выполняют вторую серию отсчетов Лг и Пг после поворота теодолита в подставке на 180°

$$2c = \frac{(L, - П, \pm 180^\circ) + (L_2 - П_2 \pm 180^\circ)}{2} = C_1 + C_2. \quad (1.33)$$

Правильный отсчет, равный

$$L_{\text{п}}, = L; - C, \quad (1.34)$$

устанавливают наводящим винтом алидады горизонтального круга, или, для теодолитов, в которых основное положение КП:

$$П_0 = П, + c. \quad (1.35)$$

Совмещение вертикальной нити сетки с визирной целью достигают боковыми исправительными винтами. В теодолитах серии «2Т» — поворотом клинового кольца.

5. Перпендикулярность оси вращения трубы к оси вращения теодолита проверяют проектированием высоко расположенной точки на горизонт прибора при КЛ и КП.

Угол неперпендикулярности определяют по формуле

$$= \frac{m_n m_n}{m_n m_n} \quad (1.36)$$

где $m_n m_n$ — отрезок между точками (проекциями) на горизонте, 5 — расстояние от теодолита до стены, на которой выбиралась высоко расположенная точка.

6. Место нуля вертикального круга должно быть постоянным. В теодолитах Т5, 2Т5, Т2, 2Т2, Тбео-20 и Тбео-ОЮ, имеющих уровень при алидаде вертикального круга, приведение МО к нулю выполняют одним из следующих способов.

I. Два-три раза определяют МО, убеждаясь в его постоянстве, вычисляют среднее значение и поворотом трубы устанавливают отсчет на вертикальном круге равным $MO_{ср}$, при этом пузырек уровня на алидаде вертикального круга должен оставаться в нуль-пункте. Винтом алидады вертикального круга совмещают нули лимба и шкалы, пузырек уровня отклонится от нуль-пункта. Исправительными винтами уровня при алидаде вертикального круга устанавливают снова пузырек в нуль-пункте. Повторяют определение МО.

В теодолитах 2Т2 и ТИео-ОЮ отсчет на вертикальном круге устанавливается так: вращением барабана микрометра устанавливают нужные минуты и секунды на шкале, а затем винтом алидады вертикального круга совмещают штрихи.

II. Устанавливают винтом алидады вертикального круга, например, при КЛ отсчет равный V , при этом труба должна оставаться наведенной на ту же точку. Пузырек уровня отклонится от среднего положения. Исправительными винтами уровня приводят пузырек на середину. Для контроля МО определяют вновь.

В теодолитах с компенсатором (2Т5К, 2Т5КП, 3Т2КП, 3Т5К.П) приведение МО к нулю осуществляется специальным винтом на кожухе вертикального круга. В теодолитах Т5К, ТЬео-ОЮА, ТЬео-ОЮВ, Т11ео-020А, ТИео-020В в пределах $1-2'$ — перемещением сетки. В больших пределах исправление выполняют в мастерской.

7. Параллельность оси визира и визирной оси трубы проверяют путем наведения их на удаленную точку. Исправление достигают разворотом визира на корпусе трубы.

8. Параллельность или совпадение визирной оси оптического центра, встроенного в алидаду, и оси вращения теодолита проверяют путем поворота алидадной части теодолита на 180° . Исправление достигают перемещением сетки оптического центра на 0,5 величины отклонения. В теодолитах серии 2Т исправление выполняют в мастерской. В теодолитах серии 3Т — перемещением объектива центра.

В качестве визирных целей в полигонометрии применяют марки, точную установку которых над центрами полигонометрических пунктов проводят с применением оптических центриров. Визирная марка должна удовлетворять двум условиям:

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения марки.

2. Ось симметрии рисунка марки должна совпадать с осью вращения марки.

Оптические центриры также должны быть поверены:

1. Оси цилиндрических уровней должны быть перпендикулярны к оси вращения центра.

2. Визирная ось центра на выходе из объектива должна совпадать с осью вращения центра.

При измерении горизонтальных углов в полигонометрии по методу трех штативов производят поверку условия трехштативной системы. На одной и той же подставке, укрепленной на штативе, поочередно уста-

Таблица 3

Характеристика	Теодолиты	
	T2	T5
Средняя квадратическая ошибка измерения горизонтального угла, с	2	5
Средняя квадратическая ошибка измерения вертикального угла, с	3	8
Ошибки диаметров горизонтального круга, с	$\pm 1,5$	$\pm 2,5$
Коэффициент нитяного дальномера, %	$100 \pm 0,5$	$100 \pm 0,5$
Рен отсчетного устройства, с:		
горизонтального круга	1	3
вертикального круга	2	3
Ошибка за ход фокусирующей линзы, с	2	3
Эксцентриситет вертикального круга, с	—	10
Коллимационная ошибка, с	5	15
Место нуля вертикального круга, с	10	15

навливаются теодолит и марки, входящие в угломерный комплект. Оси вращения в подставке теодолита и марок должны совпадать, т. е. вращение должно быть соосным. Поверку проводят с помощью вспомогательного теодолита или другого геодезического прибора, установленного в стороне от поверяемого комплекта на 50—70 м. Вертикальную нить вспомогательного теодолита наводят на ось вращения контролируемого прибора (на иглу или другой тонкий предмет, устанавливаемый на ручке теодолита или на марке). Допустимым считается отклонение до 1 мм.

Исследование точных теодолитов, определение метрологических характеристик

Чтобы убедиться в том, что теодолит удовлетворяет определенному классу точности, необходимо выполнить его исследования, определить его технические, в том числе и метрологические, характеристики.

Для точных оптических теодолитов установлены следующие метрологические характеристики (табл. 3).

В работе [29] приведено подробное содержание поверочных работ, методы, средства и порядок выполнения проверок для всех типов теодолитов. Поверочной схемы для теодолитов не существует, обязательность выполнения того или иного вида поверки зависит от типа теодолита, условий его применения и продолжительности эксплуатации прибора.

Для целей измерения углов в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов выполняют исследования зрительной трубы с фокусирующим устройством, кругов и отсчетных приспособлений, осевых систем, уровней и компенсаторов наклона.

В зрительной трубе определяют: у в е л и ч е н и е по формуле

$$\Gamma = \frac{\Delta}{\Delta_{\text{Виз}}}, \quad (1.37)$$

где $O_{\text{вх}}$ — диаметр входного зрачка, измеряют линейкой до 0,1 мм; $\zeta_{\text{вых}}$ — диаметр выходного зрачка, измеряют измерительной лупой до 0,02 мм;

угол поля по формуле

$$2 \text{ со} = a - b, \quad (1.38)$$

где a и b отсчеты по кругу, при наведении трубы на одну и ту же точку левым и правым краями поля;

качество изображения, путем рассматривания правильных геометрических фигур по всему полю зрения трубы.

Правильность хода фокусирующей линзы в трубе исследуют на расстояниях от 50 м до 2 км, в зависимости от класса или разряда полигонометрии. Визирные цели (марки) устанавливают в одном створе, чтобы исключить влияние эксцентриситета алидады и круга в теодолитах с односторонней системой отсчета. При этом определяют $2c$ и $M0$ на каждую марку и уклонения от среднего

$$A2c_{\text{ср}} = 2c_{\text{ср}}, \quad (1.39)$$

$$DM0_{\text{ср}} = M0_{\text{ср}}, \quad (1.40)$$

где $2c_{\text{ср}} = 22c/i$; n — число определений; $M0_{\text{ср}} = 2M0/i$. Максимальные уклонения не должны превышать для теодолитов типов: Т2 — 3"; Т5—9".

При исследовании оптического микрометра определяют:

1. Среднюю квадратическую ошибку одного совмещения штрихов горизонтального или вертикального кругов по результатам двойных совмещений штрихов равномерно по кругу, например, через 15° по формуле

$$m_{\text{сов}} = \sqrt{\sum d^2 / 2n}, \quad (1.41)$$

где y —разность отсчетов двух совмещений; n — число совмещений. Для теодолитов типа Т2 ошибка $m_{\text{сов}}$ не должна превышать 0,5 и 0,6", соответственно, для горизонтального и вертикального кругов.

2. Мертвый ход. Для теодолитов типа Т2 мертвый ход микрометра не должен превышать 1,5". Определяют мертвый ход как разность отсчетов при вращении головки барабана микрометра на ввинчивание и на вывинчивание.

3. Наличие систематических ошибок. Измеряют малый угол $1''$ —Т на разных частях шкалы микрометра. Для теодолитов типа Т2 систематические ошибки не должны превышать 1,5".

Определение рена оптической отсчетной системы теодолитов типа Т2 для горизонтального и вертикального круга. Рен — несоответствие шкалы отсчетного устройства одному делению круга (в теодолитах с двусторонней системой отсчета — полуделению). Рен появляется и может изменяться, если не должным образом выполнена юстировка оптической отсчетной системы круга, не закреплены линзы объектива круга или линзы оптического моста круга. На разных частях круга рен может быть не одинаков, если имеется эксцентриситет алидады или лимба, а также

при наличии значительных ошибок в делениях. Как правило, разъюстировка оптической отсчетной системы сопровождается не только реном, но и параллаксом верхнего и нижнего изображений, поэтому при устранении рена надо очень тщательно устранить и параллакс, и надежно закрепить линзы.

Рен в теодолитах типа Т2 определяют путем измерения полуделения круга шкалой микрометра симметрично по всему кругу, например, через 45° и еще через $20'$, чтобы ослабить влияние длинно- и короткопериодических ошибок на средний рен. Надежность определений повышается, если делают по два совмещения штрихов и наблюдения выполняют в ходе прямо и в ходе обратно на других установках, тем самым используют большее число диаметров круга. Программа и порядок наблюдений по определению рена приведена в работах [28], [33] и др.

Определение рена отсчетной системы вертикального круга проводится при перестановке круга через $2-5^\circ$. Если величины ε и $\Delta\gamma$ горизонтального круга превышают $1''$, а вертикального $2''$, то требуется устранение рена (ъюстировка оптической отсчетной системы) или введение поправок в отсчеты по формуле

$$\delta = (2\varepsilon/\kappa) p, \quad (1.42)$$

где

$$\varepsilon = l + l^{\wedge}, \quad (1.43)$$

$$\Delta\gamma = \gamma_{\text{в}} - \gamma_{\text{н}}, \quad (1.44)$$

$$\varepsilon = (a - b)\zeta + \kappa/2, \quad (1.45)$$

$$\gamma_{\text{н}} = (a - c)\zeta + \kappa/2, \quad (1.46)$$

где ε — средний рен; $\gamma_{\text{в}}$, $\gamma_{\text{н}}$ — рен верхнего и нижнего изображений; $\kappa = 20'$ — цена деления круга, в мин; p — отсчет по шкале микрометра, в минутах; ζ — цена деления шкалы микрометра, равная $1''$; a , b , c — отсчеты по кругу при совмещении штрихов: a — при совмещении изображений штрихов A и $(A + 180^\circ)$; b — $(A - A)$ и $(A + 180^\circ)$; c — A и $(A + 180^\circ - A)$, рис. 4.

По результатам наблюдений рена можно вычислить среднюю квадратическую ошибку совмещения, величина которой будет свидетельствовать о качестве выполненных определений.

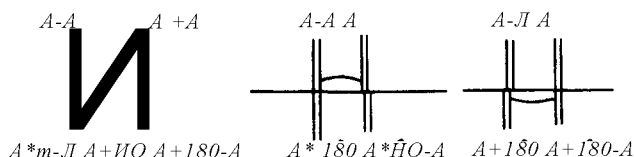


Рис. 4. Схемы положения штрихов при определении рена оптической отсчетной системы горизонтального круга теодолита типа Т2

Определяют рен отсчетной системы со шкаловым микроскопом теодолитов типа Т5 путем сравнения шкалы микроскопа с делениями круга на разных частях. Измерения выполняют двумя ходами с перестановкой лимба через 30, 45 или 60°.

Примеры установки:

Горизонтальный круг

Прямой ход.....	0;	60;	120;	180;	240;	300°
Обратный ход.....	30;	90;	150;	210;	270;	330°

Вертикальный круг

Прямой ход.....	354;	357;	0;	3;	6;	9°
Обратный ход.....	352;	355;	358;	1;	4;	7°

Величину среднего значения рена шкалового микроскопа вычисляют по формуле

$$z = \frac{I(a - 60')}{n} \quad (1.47)$$

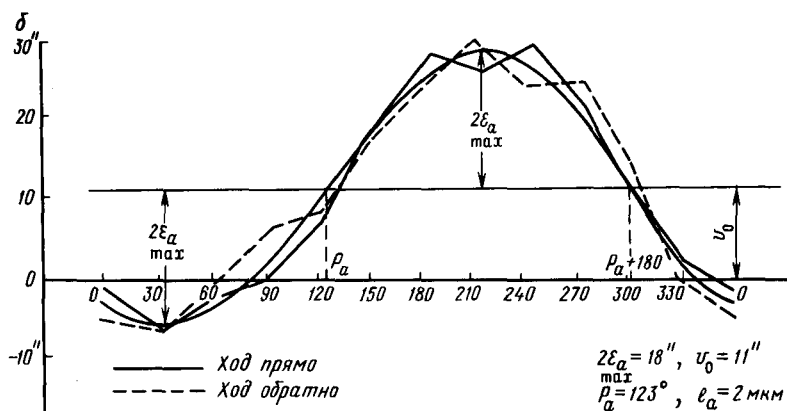
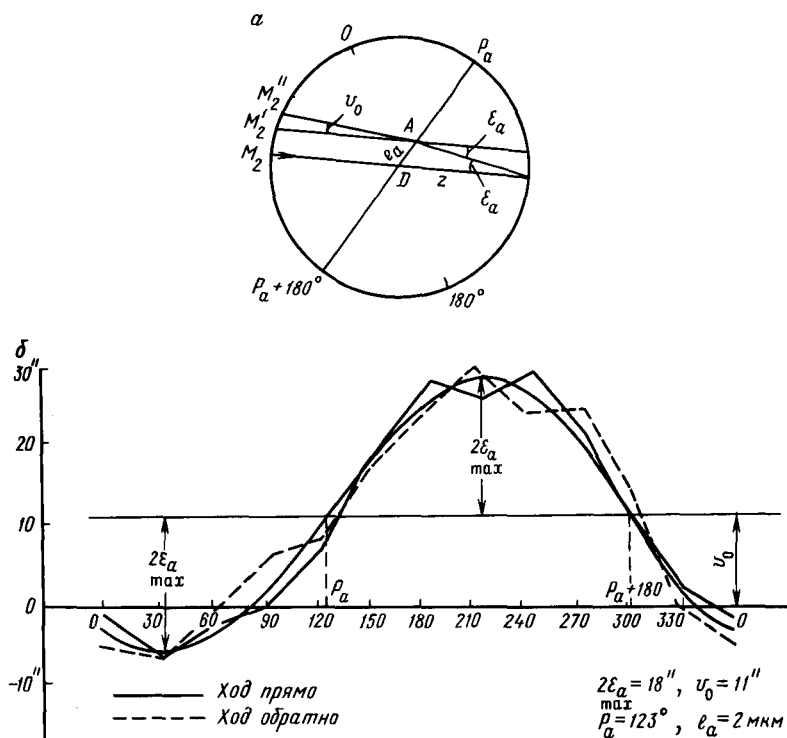
где a — отсчет по шкале микроскопа; $60'$ — номинальное значение цены деления круга; n — число установок. Если $z \sim 3''$, то проводят его устранение перемещением линз объектива отсчетной системы горизонтального или вертикального круга. На разных участках круга значение рена не должно отличаться более чем на $0,2'$. Если нет времени или возможности исправить рен, то можно вводить поправки

$$B = -S_0 - P, \quad (1.48)$$

где P — отсчет по шкале целых минут.

Исследование правильности вращения теодолита вокруг оси алидады горизонтального круга. Теодолит тщательно устанавливают по накладному уровню с ценой деления $\tau = 5$ – $10''$. На каждой установке алидады (0, 30, 60, ..., 330°) проводят отсчеты I и II по концам пузырька накладного уровня. Вращение алидады выполняют по ходу и против хода часовой стрелки. Вычисляют отклонения пузырька уровня от среднего положения $y_i = [(I + II) - (I + II)_0] \tau / 2$, где $(I + II)_0 = X(I + II) / n$, — число установок в прямом и обратном ходах. По величинам y_i строят две ломаные линии, по которым подбирают выравнивающую кривую, близкую к синусоиде. Амплитуда синусоиды Δ будет характеризовать правильность хода оси. Если $\Delta \leq \tau$, то качество оси удовлетворительное. Иначе вводят поправки с графика или в работе с теодолитом применяют накладной уровень.

Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолитов типа Т2. При совмещении диаметрально противоположных штрихов в теодолитах типа Т2 влияние эксцентриситета исключается, поэтому отсчеты по кругам свободны от влияния эксцентриситета. Необходимость определения элементов эксцентриситета обусловлена его влиянием на величину рена.



$2\epsilon_a = 18''$, $u_0 = 11''$
 $\rho_a = 123^\circ$, $\epsilon_a = 2 \text{ ммк}$

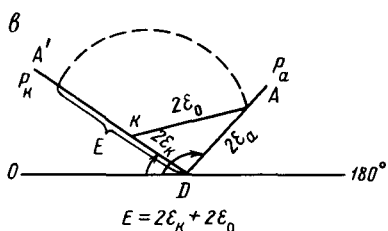


Рис. 5. Эксцентриситет алидады горизонтального круга теодолита типа Т2: а — общий случай; б — график эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита типа Т2; в — максимальный эксцентриситет алидады

На рис. 5, а приведен общий случай эксцентриситета алидады, когда A — ось вращения алидады не совпадает с O — центром делений лимба, а индекс в поле зрения микроскопа находится под углом u_0 к диаметру совмещенных штрихов.

По малости e , влияние на отсчет по одной стороне круга составит

$$\ll \dots = -\text{урвт}(M, -P_a), \quad (1-49)$$

где e_a — линейный элемент эксцентриситета; P_a — направление эксцентриситета; $\pm$ — радиус круга; УИ, — установка алидады. Если M , — $P_a - 90^\circ$, то

$$\gamma = \frac{\varepsilon''_{\max} r}{\rho''} \quad (*) \quad \text{или} \quad \varepsilon_a \quad (1.50)$$

Постоянный угол определяется по формуле

$$\nu_0 = \frac{\sum \nu}{n}, \quad (1.51)$$

$$\nu = \frac{\pi}{180} (M' + 180^\circ) = 2\varepsilon_a + O, \quad (1.52)$$

где u — разность отсчетов.

Для теодолита ТБ-1, имеющего индекс в поле зрения микроскопа,

$$u = 2(M' - M), \quad (1.53)$$

где M' — отсчет при совмещении штрихов одного края круга с индексом — отсчет, включающий влияние эксцентриситета; M — отсчет при совмещении диаметрально противоположных штрихов — отсчет свободный от влияния эксцентриситета.

В теодолите Т2, 2Т2 и других в качестве индекса для отсчета M' используют ближайший штрих вертикального круга, который при совмещении тоже движется навстречу штриху горизонтального круга, поэтому в формуле (1.54) имеет место коэффициент 4

$$u = 4(M' - M). \quad (1.54)$$

Элементы эксцентриситета алидады: $\varepsilon_{\text{аших}} > Pa$, ε_a определяют с графика рис. 5, б, который строят по наблюдаемым величинам u , откладываемым по оси ординат в ходе «прямо» и «обратно», по оси абсцисс наносят установки алидады 0, 30, ..., 330°. На графике амплитуда синусоиды является двойным эксцентриситетом алидады ($2\varepsilon_0$), линейный элемент эксцентриситета алидады (ε_a) определяют по формуле (1.50), направление линейного элемента эксцентриситета (Pa) — как пересечение восходящей ветви синусоиды с ее осью симметрии, а постоянный угол u_0 — как отстояние оси симметрии от оси абсцисс. Величина u_0 может достигать половины деления круга, поэтому на каждой установке на шкале микрометра вначале ставится отсчет 5'.

Порядок наблюдений при исследовании эксцентриситета алидады горизонтального круга состоит в следующем:

вращением барабана микрометра устанавливают отсчет 5'00";

вращением алидады устанавливают нужную установку, наводящим винтом совмещают диаметральные штрихи и записывают отсчет M ;

повернув переключатель кругов на 45°, вводят изображение штриха вертикального круга. Чтобы избежать больших u , сближают изображение штрихов горизонтального и вертикального кругов наводящим винтом трубы. После этого больше не трогают трубу и ее наводящий винт в процессе всего исследования;

вращением барабана совмещают штрихи горизонтального и вертикального кругов и записывают отсчет M' ;

вычисляют u , по формуле (1.54).

Определение элементов ε_k , Pa , u_0 , ε^* . эксцентриситета горизонтального круга выполняют аналогично описанному, только переставляют круг, но алидада остается неподвижной.

Максимальный эксцентриситет алидады вычисляют на основании чертежа рис. 5, в по формуле

$$E = \sqrt{2\epsilon_a \tan^2 \alpha + 1} \epsilon_n \quad (1.55)$$

где

$$\epsilon_o = \sqrt{\epsilon_a^2_{\max} + \epsilon_k^2_{\max} - 2\epsilon_a \epsilon_k \cos(P_a - P_k)}, \quad (1.56)$$

ϵ_o — эксцентриситет осевой системы. В исправном приборе должно быть $\epsilon \leq 40''$.

Определение эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолитов типа Т5. В теодолитах с односторонним отсчитыванием по кругу влияние эксцентриситета исключается, если наблюдения на предмет выполнены при двух положениях круга (КЛ и КП). Порядок исследования следующий. На ровной местности вокруг теодолита устанавливают марки по окружности радиуса 50—60 м через 45 или 60° примерно на одинаковой высоте от земли. По результатам наблюдений при КЛ и КП на каждую марку образуют разности

$$V_i = L_i' - \Pi(\pm 180^\circ), \quad (1.57)$$

по которым строят график, подобно рис. 5, б и определяют элементы эксцентриситета алидады горизонтального круга. Так как в разности входит $2c$, то ось симметрии синусоиды будет отстоять от оси абсцисс на величину

$$2Co_n \quad (1.58)$$

В работе [33, с. 43] предлагается способ, когда наблюдения выполняются на одну удаленную точку сразу при КЛ и КП, а перестановка алидады на заданный угол (45 или 60°) осуществляется поворотом теодолита в подставке.

Определение эксцентриситета горизонтального круга теодолита типа Т5 производят при измерении угла близкого к 180° с перестановкой лимба через 45°, дважды при КЛ и дважды при КП. Для каждой установки круга получают два значения угла ρ_{ϕ} и ρ_{ov}' в прямом и обратном ходах и среднее его значение ($S = 1/2 (P_{\phi} + P_{ov})$) образуют разности по формуле

$$v_i = \beta_i - \frac{1}{8} \sum \beta_i, \quad (1.59)$$

где ρ — среднее значение угла на данной установке.

Можно образовать разности по формуле (1.57), если наблюдать на одну точку при двух положениях круга, а между установками перемещать лимб на 45°.

Элементы эксцентриситета алидады горизонтального круга, самого круга и максимальное значение эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита типа Т5 получают графически, так же как и для теодолитов типа Т2.

Определение ошибок диаметров лимба. В теодолитах типа Т5 современных конструкций ошибки нанесения делений, как правило, в 3—4 раза

меньше ошибок отсчета, поэтому потребность в их определении практически не возникает.

Под ошибкой диаметра круга теодолита типа Т2 понимают сумму ошибок положения штрихов, отстоящих один от другого на 180° .

Наиболее просто полные ошибки диаметров можно определить при интервале $\Delta p = 5^\circ$ из наблюдений угла $p = 45^\circ$ [26]. Обработку результатов измерений следует выполнять строгим способом обратной матрицы с привлечением быстродействующих ЭВМ в такой последовательности:

1) проверка журнала; 2) вычисление свободных членов уравнений ошибок в виде уклонений измеренных углов на установках $\leq p$ от среднего для $(-го$ ряда измерений; 3) вычисление свободных членов нормальных уравнений по формуле:

$$C_{ij} = \dots + (180 - i)! + \dots + (180 - j) + C_{ij} \dots + (180 - p) \alpha_i : \quad (1.60)$$

4) вычисление полных ошибок диаметров (A_{ij}) на ЭВМ по заранее отработанной программе по формуле

$$A_{ij} = 2 \quad (1.61)$$

где a_{ij} — коэффициент обратной матрицы i -й строки, j -го неизвестного;

C_{ij} — свободный член j -го нормального уравнения (1.60).

Затраты времени на исследование круга по способу обратной матрицы меньше, чем по способу Елисеева, примерно на 40 %. Подробное описание методов определения ошибок диаметров лимба горизонтального круга приведено в ГОСТ 13424—68.

Исследование уровней и компенсаторов в теодолитах. Цену деления уровней определяют на экзаменаторе на разных частях ампул.

При исследовании компенсатора в теодолите определяют: диапазон его действия, точность самоуставки отсчетного индекса, время успокоения колебаний.

Устанавливают теодолит по круглому уровню так, чтобы один из подъемных винтов располагался под трубой. Производят отсчет по вертикальному кругу и, продолжая наблюдать в отсчетный микроскоп, медленно вращают подъемный винт подставки до тех пор, пока не прекратится смещение изображения штриха вертикального круга относительно шкалы микроскопа. Производят второй отсчет. Разность отсчетов определит диапазон действия компенсатора при наклоне прибора в коллимационной плоскости трубы. Такой же наклон прибора осуществляют в противоположную сторону, и снова определяют диапазон действия компенсатора. Диапазон действия компенсатора при боковых наклонах определяют на экзаменаторе или с помощью подъемных винтов, предварительно устанавливая шаг подъемного винта в угловой мере. Точность самоуставки отсчетного индекса определяют путем измерения одного и того же угла наклона, когда круглый уровень в нульпункте и при отклонениях его в разные стороны на $3'$. Значения V не должны отличаться более чем на $0,1$ в теодолитах 2Т5К и $1''$ — в теодолитах 3Т2КП.

Время затухания колебаний чувствительного элемента компенсатора определяют по наручным часам. Оно не должно превышать 2 с.

Измерение углов в полигонометрии сопровождается ошибками: в установке визирных целей, центрирования теодолита, инструментальными, влияния внешних условий, собственно измерений и исходных данных, которые создают поперечный сдвиг хода, выраженный вторым слагаемым формул (1.5) — (1.8).

При проектировании, как правило, полагают, что работы в полигонометрии будут так организованы, что продольный и поперечный сдвиги в вытянутых ходах будут одинаковы, т. е.

$$m_l = m^{\wedge} = m_{\sim}, \quad (1.62)$$

где $m_{\sim}$ — поперечный сдвиг, m_l — продольный сдвиг хода.

Принимая независимый характер действия источников ошибок измерения углов на поперечный сдвиг, имеют среднюю квадратическую ошибку для одного источника равной

$$m_{\sim} = \frac{m}{\sqrt{5}} \quad \text{и} \quad \frac{m}{\sqrt{12}} \quad (1.63)$$

где $m_{\sim}$ из формулы (1.7) равно

$$m_{\sim} = \frac{m}{\sqrt{12}} \cdot \sqrt{3} = \frac{m}{2} \quad (1.64)$$

Переходя к предельному влиянию на один угол одного случайного источника ошибок, имеют [28]

$$(1.66)$$

где $1/\Gamma$ — предельная относительная ошибка хода. При систематическом характере влияния

$$\text{Пред (Теист)} = \frac{m_l/2}{T(\Gamma+1)} \quad (1.66)$$

С учетом характера влияния на измеренный угол каждого из источников ошибок легко установить допустимые ошибки установки визирных целей и центрирования теодолита, соответственно по формулам

$$e_p = \frac{m_l}{p} = \frac{m}{p} \quad (1.65)$$

Где p — длина стороны по [10]. В табл. 4 приведены величины, рассчитанные по формулам (1.65), (1.66) и (1.67) при $n = 15$.

Пр. А Рслуч

Таблица 4

Величины	Полигонометрия		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
T	25 000	10 000	5000
предДр _с луг, с	1,9	4,9	9,8
пред Досист, с	0,5	1,3	2,6
e_p , мм	0,8	1,0	1,3
e_{np} , мм	0,6	0,7	0,9
$\wedge_{тг}^*$ М	250	120	80

Данные табл. 4 подтверждают необходимость центрирования прибора и марок только оптическим центриром, особенно при коротких длинах сторон.

Инструментальные ошибки имеют или систематический, или случайный характер влияния: это ошибки делений лимба, остаточное влияние 2 с, наклона оси вращения трубы, рен, эксцентриситет, неустойчивость прибора и др. Борьба с приборными ошибками сводится к продуманной методике измерений или выявлению и устранению их тщательной юстировкой.

Например, влияние на результат измерений ошибок в делениях ослабляется, если использовать большее число диаметров круга, т. е. между приемами переставлять лимб на величину $180/n$, где n — число приемов. Часть инструментальных ошибок (2 с, наклон трубы и др.) существенно ослабляется, если угол измерять при КЛ и КП и брать среднее его значение и т. д.

Опасным источником ошибок при измерении углов является влияние внешних условий, к которому можно отнести: 1) загрязненность атмосферы (при плохой видимости ошибка визирования может увеличиваться до четырех раз); 2) турбулентное состояние приземного слоя воздуха (требуется значительно удалить визирный луч от земной поверхности, до 2 м); 3) боковой ветер (лучше прекращать наблюдения при сильном ветре); 4) слабый грунт (забивают колья под ножки штатива); 5) вечная мерзлота (особые условия наблюдений); 6) вибрации (при необходимости выполнять наблюдения, надо применять виброзащитные меры); 7) односторонний нагрев штатива (использовать зонт, прокладывать ход в пасмурную погоду); 8) боковая рефракция, обусловленная неравномерным нагревом предметов, особенно в городах и горах скального типа. Избежать опасного влияния боковой рефракции можно лишь при соблюдении ряда мер и предосторожностей: прокладывать ходы по теневым сторонам улиц города, удалять стороны ходов от зданий (особенно бетонных). От освещенных солнцем стен до 2 м, в тени — до 1 м, измерять углы в пасмурную погоду, в летние солнечные дни — только в утренние и вечерние часы.

Неустойчивость прибора может быть вызвана:

1) неустойчивостью штатива (в оковке ножек, соединительном креплении барашками, в головке);

2) неустойчивостью подставки (качка подъемных винтов);

3) качкой оси алидады или тугим ее вращением, что может вызвать несходимость результатов измерений в разных приемах (качки штатива и подставки нет);

4) вибрацией, транспортной тряской (обнаруживается смещение лимба).

Ошибки исходных данных на измерения не влияют, но их наличие увеличивает угловую невязку.

Ошибка собственно измерения угла вычисляется по формуле

$$m'_\beta = \sqrt{\frac{1}{n} (m_{\text{виз}}^2 + m_0^2)}, \quad (1.68)$$

где ошибка визирования $m_{\text{виз}} = 40''/\Gamma$, ошибка отсчета для Т2 и 2Т2 $m = 1''$, Γ — увеличение зрительной трубы. На основе табл. 4 ($m_s = 1''$) число приемов при измерении углов в полигонометрии 4 класса, при $\Gamma = 25\times$, равно 4. Инструкция [10] предусматривает естественное завышение точности (6 приемов), так как имеется в виду то обстоятельство, что целый ряд источников ошибок не поддается практическому учету.

Измерение горизонтальных углов и оценка точности

В полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов горизонтальные углы измеряют по методу трехштативной системы способом круговых приемов. В первом полуприеме алидаду вращают по ходу часовой стрелки, последовательно выполняют наведение на все пункты, и замыкают горизонт снова наведением на начальный пункт. При каждом наведении производят отсчеты при двух совмещениях (для теодолитов типа Т2). Во втором полуприеме вращение алидады осуществляют в обратном направлении, начиная и заканчивая наблюдения также на первый пункт.

Повышение качества можно достигнуть, если придерживаться некоторых практических рекомендаций. Заканчивать на винчивание вращение наводящего винта алидады горизонтального круга и головки барабана микрометра. Перед началом измерений делать два-три оборота алидадной части теодолита в направлении вращения. По возможности не менять фокусировку трубы и отсчетного микроскопа и положение зеркала подсветки. Стремиться все измерительные операции в приеме и программе наблюдений на пункте выполнять равномерно по времени. Контролировать в процессе наблюдений центрирование и нивелирование теодолита.

Чтобы уменьшить влияние ошибок в делениях круга между приемами

осуществляют перестановку лимба на угол $\alpha = \frac{180^\circ}{n} | - y$, где n — число приемов; $y = 10'$.

Измерение отдельных углов производят без замыкания горизонта при вращениях алидады в одну сторону в первом и втором полуприемах, причем, во втором полуприеме лучше измерять дополнение угла до 360°, что контролирует увлечение лимба. Во втором приеме вращения алидады осуществляют в обратном направлении.

Число приемов при измерении отдельного угла и число круговых приемов по типам теодолитов для разных классов полигонометрии приведены в табл. 5.

Допуски на измерения [10] указаны в табл. 6.

Оценка точности результатов полевых измерений горизонтальных углов может быть выполнена:

- а) по внутренней сходимости
 - из многократных измерений по отклонениям от среднего. Средняя квадратическая ошибка измерения угла одним приемом

$$m_{\alpha} = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2} \tag{1.69}$$

Средняя квадратическая ошибка измерения угла *n* приемами

$$m_{\alpha} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\sum_{i=1}^n (\alpha_i - \bar{\alpha})^2} \tag{1.70}$$

где α_i — α , — $\alpha_{ср}$;

— по разностям двойных измерений

Таблица 5

Типы приборов	Число приемов		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
T2			
T5			

Таблица 6

Элементы измерений, к которым относятся допуски	Типы приборов	
	T2	T5
Расхождение между значениями одного и того же угла, полученного из двух полуприемов	8"	0,2'
Колебание значения угла, полученного из разных приемов	8	0,2
Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема	8	0,2
Колебание значений направлений, приведенных к общему нулю, в отдельных приемах	8	0,2

$$m'_\beta = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}} \quad (1.71)$$

или

$$M'_\beta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{n}} \quad (1.72)$$

где $\beta_1, \beta_2 = |3| - 0_2; 0|, 0_2$ — углы, измеренные первым и вторым приемами; n — число разностей. M_β и m'_β , как правило, примененные оценки, так как они по существу включают только ошибки собственно измерений угла и инструментальные ошибки и не включают ошибки центрирования, редукции и другие, поэтому принято считать $\text{тр} = 2\text{тр}, MS = 2\text{Щ}$

б) по невязкам ходов
— угловым невязкам

№

N

где $(n+1)$ — число углов в ходе; N — число ходов; $p=2$ $n+1$
0,—

— $(a_k - a_n) - 180(n+1)$ — невязка хода разомкнутого; a^* — дирекционный угол конечного; a_n — дирекционный угол начального исходных направлений; 0 , — измеренный угол; $p = 2$ $0 - 180^\circ$ ($n - 2$) — невязка хода замкнутого; $180(n - 2)$ — теоретическая сумма углов в замкнутой фигуре; n — число углов (сторон) в замкнутом ходе.

Если углы в ходе измерены n приемами, то вместо тр имеет место M_β

— по поперечным невязкам вытянутых ходов:

1) поперечные невязки (u) вычислены по углам, исправленным за угловую невязку

$$m_\beta = \sqrt{\frac{12 \left(\frac{u}{L} \right)^2}{n+3}} \quad (1.74)$$

2) поперечные невязки (u') вычислены по углам, неисправленным за угловую невязку

(1.75)

где l — длина замыкающей хода; n — число сторон хода; N — число ходов.

Отметим, что

$$u' = u - \frac{lo}{l/2}. \tag{1.76}$$

Из всех приведенных оценок наиболее близка к реальной формула (1.73).

1.1.4. Измерение линий светодальномерами

Топографические светидальномеры, их основные технические характеристики и особенности конструкций

В СССР с 1 января 1984 г. введен новый ГОСТ 19223—82 «Светодальномеры геодезические. Общие технические условия». Предусмотрены светодальномеры: Г — геодезические, для измерения длин в государственной геодезической сети, П — прикладной геодезии и маркшейдерии, Т — топографические, предназначенные для измерения длин в геодезических сетях сгущения и топографических съемках.

Допустимое значение средней квадратической ошибки определено формулой

$$m_{\sigma_0} = a + B \cdot 10^{-6} \sigma_0, \tag{1.77}$$

где a и B , коэффициенты, указанные в табл. 7.

Новые отечественные светодальномеры имеют шифры, согласно ГОСТ, например, 2СТ10 — вторая модель светодальномера топографического для измерения расстояний до 10 км.

Основные технические характеристики распространенных в производстве топографических светодальномеров и электронных тахеометров приведены в табл. 8.

Светодальнономер 2СМ2. Выпуск второй модели малого светодальномера (ГОСТ 19223—73), имеющего среднюю квадратическую ошибку измерения расстояний 2 см, отечественной промышленностью продолжался с 1973 до 1980 года. Это первый отечественный светодальнономер с цифровым табло, который до настоящего времени находит широкое применение на производстве.

Таблица 7

Группа	а, мм	В, мм	Пределы измерения О, км	
			нижний	верхний
Г	5; 10	1; 2	0,5	15—50
П	0,3; 0,5; 1,2	0,5; 1; 2; 3	0,002	0,1—3
Т	5; К)	2; 3; 5	0,002	1 — 15

Таблица 8

Технические характеристики	Светодальномеры		
	СТ5	СМ5	2СМ2
	СССР		
Средняя квадратическая ошибка измерения расстояния, мм	10 + 5/км	30	20
Измеряемые расстояния, м	0,2—5000	2—500	2—2000
Потребляемая мощность, Вт	5	5	20
Напряжение питания, В	6—8	6—8	12
Частота модуляции, МГц, основная	15	15	15
Количество частот	2	2	3
Время измерения, мин	0,2	0,2	2
Метод фазовых измерений	Цифровой импульсный	Цифровой импульсный	Цифровой
Источник излучения	ваАв диод	ОаДэ диод	ОаАэ диод
Температурный диапазон, °С	-30 + 40	— 30 + 40	-35 + 40
Масса прибора, кг (без источника питания)	5	4,5	4,6 + 7,0
Средняя квадратическая ошибка измерения угла, мгон *:			
горизонтального			
вертикального			
Метод съема информации по измерению угла			

* 1 мгон — 3,2"

В комплект светодальномера 2СМ2 входят приемопередатчик, электронный блок, два источника питания, два трипель-призмных отражателя, два оптических двусторонних центрира, термометр-пращ, барометр и три штатива. Светодальномер 2СМ2 представляет собой электронно-оптическую систему, в которой используется фазовый метод измерения расстояния. Разрешение неоднозначности осуществляется автоматически путем измерения расстояний на трех масштабных частотах модуляции. Особенностью конструкции светодальномера является прекращение счета при появлении в створе измеряемой линии препятствий, после устранения препятствия счет продолжается. В приемопередатчике прибора совмещена передающая, визирная и принимающая оптические системы. Подробно с описанием прибора можно ознакомиться в работах [28], [33].

Светодальномер СМ5 (рис. 6). Первоначально светодальномер предполагалось использовать для измерения расстояний в теодолитных ходах с ошибкой 5 см (СМ5 — светодальномер малый), но промышленность выпустила прибор, который надежно обеспечивает измерение расстояний до 500 и даже до 1000 м со средней квадратической ошибкой

	ЕОК 2000	Ta3	Ta5	ЕОТ 2000	RECOTA, RETA
	(6. ГДР)	СССР		(6. ГДР)	
	10	10 + 5/км	20	10	5 + 2/км
	0,3—2500	0,5—5000	2—2500	1,3—2500	0,3—3000
	8—20	10	10	13—20	12
	12	6	12	12	12
	30	15	15	15	15
	3	2	3	3	3
	2	0,2	0,4	0,2	0,2
Аналоговый		Автоматический цифровой	Цифровой	Цифровой	Автоматический цифровой
ваАв диод		импульсный ваАв диод	ОаАБ диод	ОаАэ диод	ОаАв диод
— 30 + 45		-30 + 40	— 35 + 40	-25 + 45	-25 + 45
12		8	8	10,5	12,8/10,5 (с батареей)
		1	2	0,3	0,5/1
		2	3,5	0,3	0,5/1
		Автоматический	Шкаловой микроскоп	Оптический микрометр	Автоматический

не более 3 см, поэтому функции прибора расширились. Он успешно применяется и для измерения длин в сетях сгущения. В светодальномере СМ5 гетеродинного типа с цифровым фазометром впервые в отечественной практике использован импульсный метод измерения расстояний.

На схеме (рис. 6, б) излучатель 1 (йАЛв — диод) излучает импульсы длительностью 15 нс с частотой 14 985,5 кГц в режиме «точно» и 149,855 кГц — в режиме «грубо». После прохождения через отверстия 2 и 4 диафрагмы 3 и отражения призмой 6 излучение направляется на отражатель объективом 7. С дистанции излучение тем же объективом направляется на другую грань призмы 6 (см. направление хода излучения) и фокусируется в плоскости полевой диафрагмы 9. Далее, проходя через световод 10, принятое с дистанции излучение фокусируется микрообъективом 11 в плоскости фотокатода 12 фотоэлектронного умножителя (ФЭУ) 13. Переключатель «дистанция — ОКЗ» автоматически может закрывать отверстие 2, тогда излучение, минуя дистанцию, через отверстия 5 и 4 и клинья 8 «ОКЗ» направляется на ФЭУ по линии ОКЗ.

В результате на световое табло со счетного блока выдается информация об измеренном расстоянии в режиме «грубо» до 1 см, в режиме

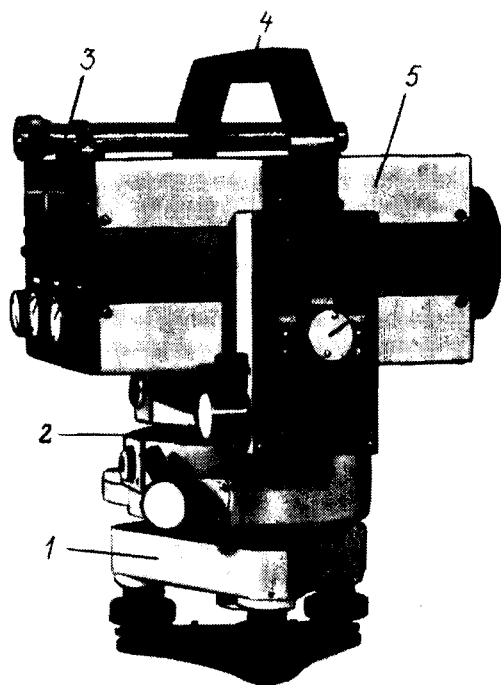
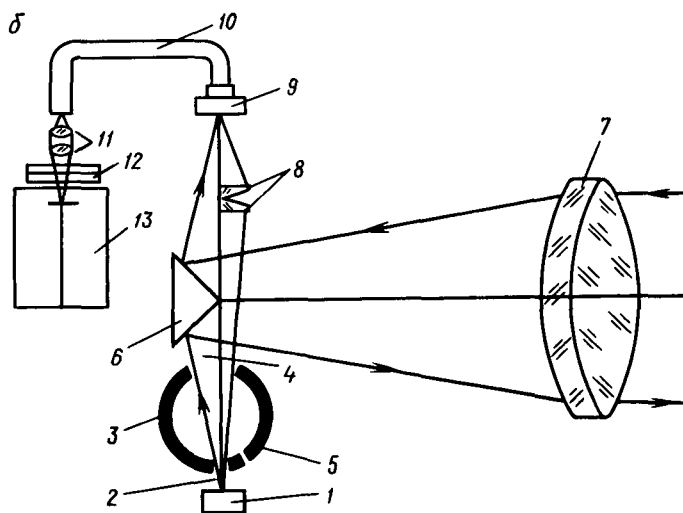


Рис. 6. Светодальномер СМ5:

a — приемопередатчик; 1 — подставка, 2 — колонки, 3 — зрительная труба, 4 — ручка, 5 — головка; б — оптическая схема



«точно» до 1 мм. Высвечиваемый на табло отсчет есть разность результатов измерений на дистанцию и на ОКЗ. Отсчет на табло появляется после звукового сигнала.

В комплект прибора входит блок контрольного отсчета (специально изготовленная в оправе отражательная призма), который надевают на объектив, чтобы проверить контрольное число, указанное в паспорте прибора. Если измеренное контрольное число соответствует значению, указанному в паспорте (± 3 мм), то постоянная прибора равна нулю.

Как и в светодальномере 2СМ2 имеется устройство блокировки счета при помехах.

Светодальномер СМ5 может быть установлен в виде насадки на теодолит серии 2Т.

Светодальномер СТ5 «Блеск», разработанный на базе СМ5 и выпускаемый серийно с 1982 г., имеет улучшенный излучатель, зрительную трубу и другие конструктивные изменения. По техническим характеристикам (см. табл. 8) он существенно превосходит СМ5 и 2СМ2. Светодальномер работает в режиме «точно» на частоте 14 985,5 кГц и в режиме «грубо» на частоте 149,855 кГц. Излучатель на GaAs диоде излучает импульсы длительностью 10 нс. Для ослабления сигнала на расстояниях менее 400 м на объектив надевают сетку-аттенюатор.

Светодальномер СТ5 имеет малые габариты и массу (5 кг, а без основания 3,8 кг), надежен и удобен в работе и обеспечивает высокую производительность труда.

Светодальномер ЕОК 2000, широко применяется в нашей стране для измерения расстояний в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов с начала 70-х годов и по настоящее время. Устройство прибора и порядок работы с ним описаны в литературе [7], [14], [28], [30], [33]. По конструкции, характеру и производительности его можно сравнить в какой-то мере со светодальномером 2СМ2, но у него аналоговый метод фазовых измерений и разделены передающая и принимающая оптические системы.

Электронные тахеометры. В настоящее время в нашей стране при измерении длин сторон в полигонометрии находят применение электронные тахеометры: Та5, Та3, ЕОТ 2000, RECOTA и др. (см. 2.3.5).

Поверки, исследования и метрологическая аттестация топографических светодальномеров

Светодальномеры до начала работ подлежат осмотру, поверкам, исследованиям. Комплект прибора сличают с документацией, убеждаются в отсутствии механических повреждений, сохранности ампул уровней и оптических деталей. Опробованием проверяют надежность закрепления и плавность вращения винтов, четкость изображений нитей сеток и штрихов шкал, устойчивость штативов и подставок, работоспособность всех основных узлов: источников питания, стрелочных приборов, термостатов, зуммеров, цифровых табло, микроскопов, кабелей, визиров, термометров и барометров.

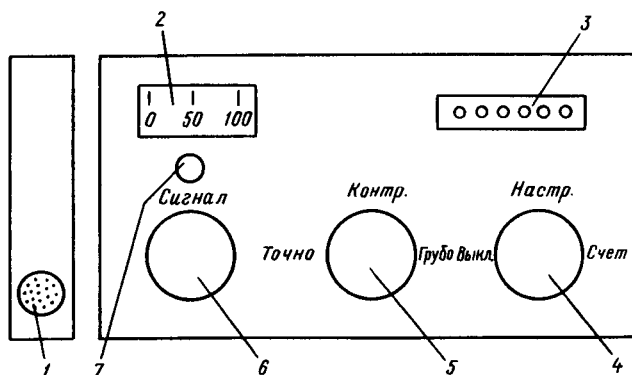


Рис. 7. Лицевая панель светодальномера СТ5 и подставка с выходом для звукового сигнала

Ежедневно выполняют проверки уровней и оптических центриров. Все другие проверки выполняют в соответствии с инструкцией по эксплуатации светодальномера.

Далее приводятся проверки и исследования светодальномера СТ5, как основного топографического светодальномера, выпускаемого в настоящее время отечественной промышленностью. Для других светодальномеров проверки подробно описаны в работах [7], [28], [29], [33].

Подключение приемопередатчика СТ5 к аккумулятору производят, когда переключатель 4 установлен в режиме «Выкл.» (рис. 7). О подключении прибора к аккумулятору свидетельствует свечение запятой в третьем знаке на цифровом табло 3.

1. Напряжение аккумуляторных батарей должно быть достаточным. Переключатели прибора 5 и 4 (рис. 7) устанавливают в положения «Контр.», «Счет». Если на стрелочном приборе 2 показание равно 60 мкА или более, то зарядка аккумулятора достаточная. Прерывистые звуки зуммера / свидетельствуют о разрядке аккумулятора и необходимости его замены. При разрядке батарей до напряжения

5,5 В светодальномер автоматически выключается.

2. Контрольный отсчет на табло должен быть равен значению, указанному в «Техническом описании и инструкции по эксплуатации» светодальномера.

Переключатель 5 переводят в положение «Точно», переключатель 4 остается в положении «Счет». На объектив надевают блок контрольного отсчета. На стрелочном приборе ручкой 6 устанавливают уровень сигнала в среднем положении его рабочей зоны (~50). Если отсчеты на табло не отличаются от значения контрольного отсчета более, чем на (± 3 мм), то условие выполнено, значит постоянная светодальномера равна нулю. При невыполнении условия требуемый контрольный отсчет устанавливают вращением ручки 7. Можно не подстраивать контрольный отсчет ручкой 7, а вводить поправки в измеренные длины по формуле

$$D = D_{H'} + AP, \quad (1.78)$$

где Оизм — расстояние отсчитанное на табло; AP — поправка за отличие контрольного числа от его паспортного значения, равная

$$D P = P_{\text{н}} - P_{\text{п}}, \quad (1.79)$$

$P_{\text{н}}$ — значение контрольного отсчета, указанное в паспорте, $P_{\text{п}}$ — значение контрольного отсчета, полученное при проверке.

3. Счетный блок должен функционировать нормально. В режиме «Точно», «Счет» (переключатели 5 и 4) на всех индикаторах табло должны высвечиваться цифры 8.

4. Схема измерения температуры кварцевого генератора должна действовать. В режиме «контроль», «счет» каждый последующий отсчет на табло не должен отличаться от предыдущего более чем на пять единиц.

Если условия 3 и 4 не удовлетворяются, светодальномер подлежит ремонту.

5. Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна направлению модулированного излучения. В режиме «наведение» светодальномер наводят на отражатель по максимуму сигнала (на расстоянии 100 или 150 м). Центр окружности сетки нитей трубы должен проектироваться выше центра отражателя на 63 мм (расстояние между центрами объективов визирной и передающей трубы). Неисправность устраняют перемещением сетки нитей зрительной трубы ее юстировочными винтами.

Кроме приведенных функциональных проверок, светодальномер подвергают метрологической проверке по ГОСТ 8.002—86. При метрологической аттестации дополнительно определяют:

1. Отклонение частоты кварцевого генератора от номинального значения. Снимают боковую крышку стойки с зуммером, переключатель «время отсчета» частотомера (ЧЗ-4А, 43-24 или 43-34), обеспечивающего точность измерений $1 \cdot 10^{-7}$, устанавливают в положение 10^4 м.ч. Светодальномер включают в режим «Счет», «Контроль». Производят несколько отсчетов частоты по частотомеру, вычисляют среднее значение f_{cp} в десятых долях Гц. Отклонение $D/$ определяют по формуле

$$D/ = (10/c_p - D/_{\text{н}}) / \dots, \text{о}_M \quad (1.80)$$

где $D/$ — поправка за температурное измерение частоты в Гц, определяемая по графику, приведенному в паспорте светодальномера; $f_{\text{н.ОМ}} = 14\,985\,500$ Гц — номинальное значение основной масштабной частоты светодальномера СТ5.

За 6 месяцев $D/$ должно быть менее 60 Гц. Частоту кварцевого генератора подстраивают резистором до получения $D/\wedge C$ 15 Гц. Подстроечные резисторы опломбируются и боковая крышка светодальномера закрывается. Если временный уход ($D/$) основной частоты между двумя эта-

лонированиями превысил установленные 60 Гц, то в измеренные расстояния вводятся поправки по формуле:

$$O = O_{И} - K, \quad (1.81)$$

где

$$K = (\Delta_{ном} - \Delta_{факт}) \quad (1.82)$$

K — масштабный коэффициент; O — измеренное расстояние; $O_{И}$ — расстояние исправленное за уход частоты.

Д. Определение величины изменения контрольного отсчета при изменении напряжения питания.

На объектив устанавливают блок контрольного отсчета. Подключают к светодальномеру источник питания Б5-29, и устанавливают напряжение $(8,5 \pm 0,2)$ В. Включают светодальномер в режим «Счет», «Точно» и устанавливают указанный в паспорте контрольный отсчет. Уменьшают напряжение источника питания до значения, когда зуммер будет подавать прерывистые звуковые сигналы, свидетельствующие о разрядке аккумулятора (5,8 В). Проводят контрольный отсчет. Изменение контрольного отсчета не должно быть более ± 3 мм. Значение контрольного отсчета проверяют ежедневно в начале и конце рабочего дня.

III. Определение циклической ошибки. Светодальномер устанавливают на местности или в помещении. Размечают одиннадцать точек от светодальномера на расстояниях $D = O_0 + i \pm 0,1$ м, где O_0 — начальное расстояние, равное не менее 5 и не более 25 м; $i = 0, 1, 2, \dots, 10$. Расстояния измеряют стальной рулеткой до 1 мм и светодальномером в режиме «Точно», «Счет» с аттенуатором. На каждом расстоянии округляют контрольный отсчет, отклонение его значения от паспортного учитывают по формуле (1.78). Образуют разности

$$\Delta O_i = O_p - O_c, \quad (1.83)$$

где O_c — расстояние, измеренное светодальномером; O_p — расстояние, измеренное рулеткой.

Колебание разностей ΔO_i должно быть более 15 мм. Строят график (по оси абсцисс — расстояния, по оси ординат — ΔO_i). В нанесенные на график точки вписывают подходящую синусоиду, по которой составляют таблицу циклических поправок.

IV. Определение правильности показаний стрелочного прибора. Переключатель 5 устанавливают в режиме «Контроль», переключатель 4 — «Выкл». К светодальномеру подключают источник питания Б5-29 и измеряют на его выходе напряжение, пока стрелка индикатора не покажет 60 мкА. Измеряют напряжение источника питания. При исправном стрелочном приборе напряжение будет $6 \pm 0,5$ В.

V. В завершение метрологической аттестации светодальномера определяют среднюю квадратическую ошибку m_0 измерения расстояния одним приемом на контрольных базисах, длины и ошибки которых известны.

Линии от 100 до 500 м измеряют по 1-призменному отражателю; 1000, 2000 и 3000 — по 6-призменному и линию 5000 — по 18-призменному отображателям. Каждая линия измеряется не менее чем шестью приемами. Ошибки измерения давления и температуры не должны превышать, соответственно, 2 гПа (1,5 мм рт. ст.) и 1 °С; m_0 вычисляют по формуле Гаусса:

$$m_D = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (1.84)$$

где D — истинная ошибка, равная $D - D_{\text{ст}}$; D — расстояние, измеренное светодальномером; $l_{\text{ст}}$ — длина контрольного базиса; n — число приемов, 6. Значение m_D для каждой линии не должно превышать 10 мм+5/ D км. Допускается для линий 3000 и 5000 м определять m'_D по внутренней сходимости, при $n \geq 10$, тогда $(5 + 2/n)_{\text{км}}$ мм.

VI. Обязательной метрологической аттестации ежегодно подвергают барометр-анероид и термометр-пращ, входящие в комплект светодальномера.

На производстве, как правило, эталонирование (метрологическую аттестацию) светодальномеров выполняют в полевых условиях на базисах (полевых компараторах), длины которых измерены с высокой степенью точности инварными проволоками и периодически контролируются. При этом, на нескольких интервалах такого компаратора, кратных $\kappa/2$, одновременно определяют и постоянную поправку, и циклические поправки. Применяют и другие методы эталонирования светодальномеров в полевых условиях. Подробно см. [33, § 13].

Основное уравнение фазовой дальнометрии, источники ошибок и расчет точности измерения расстояний топографическими светодальномерами

Идея непосредственного измерения t времени прохождения света от приемопередатчика до отражателя и обратно обусловлена чрезвычайно высокой степенью точности его фиксирования ($\sim 1 \cdot 10^{-10}$ с), поэтому не реальная в полевых условиях на современном этапе развития науки и техники. Пусть в фазовых светодальномерах

$$2D = vt, \quad (1.85)$$

где V — скорость распространения колебаний; t — время прохождения луча от светодальномера до отражателя и обратно, определяется косвенным путем, через разность фазовых углов $D\Phi$ и угловую скорость ω

$$t = D\Phi / \omega, \quad (1.86)$$

где $D\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 2\pi D \cdot \lambda^{-1} \cdot \Delta f$; $\omega = 2\pi f$; N — целое число; $\Phi_2 = \omega t/2 + \Phi_0$; $\Phi_1 = \omega t/2 + \Phi_0$; $f_2 - f_1 = \Delta f$; t_2, t_1 — моменты излучения; $D\Phi$ — фазовый сдвиг; Φ_0 — начальная фаза.

Подставляя значения $A\Phi$ и ω в (1.86), имеем

$$t = 1/f \cdot (\Delta f + A\Phi/2\pi). \quad (1.87)$$

Уравнение (1.85) для фазовой дальнометрии с учетом (1.87) запишется в окончательном виде

$$D = v/2f \left(N + \frac{\Delta q}{2\pi} \right). \quad (1.88)$$

Формула (1.88) может быть записана в виде

$$Y = X/2 (J\Gamma + A_q/2\lambda) \quad (1.89)$$

или

$$\dot{y} = X/2 (J\Gamma + A\lambda), \quad (1.90)$$

где $\kappa = u/2\lambda$ — длина волны; $A\lambda/2\lambda$ — величина, меньшая единицы. Для анализа источников ошибок измерения расстояний фазовыми светодальномерами уравнение (1.85) записывают в виде

$$\xi = 1 \cdot A' \chi / 4\lambda, \quad (1.85')$$

так как $\tau = A\chi/\omega = \chi/2\pi f$.

Светодальномером СТ5 наклонное расстояние определяют по формуле

$$O_n = O - A_0, \quad p - \text{ЛОЦ}, \quad (1.91)$$

где O — расстояние (1.85'); $A/3$, p — поправка в расстояние, учитывающая изменение температуры, давления воздуха и температурное изменение частоты кварцевого генератора; $A\lambda_{\text{ц}}$ — поправка за циклическую погрешность.

На основании теории ошибок, принимая независимыми $t_{\text{атм}}$,

$\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dt} = T_{\text{др}}, \quad m_j, \quad m_{\text{ол}} \rho = T_{\text{атм}}, \quad \text{ш}_{\text{ЛОЦ}} = T_{\text{ц}}$, получим

$$\sigma_{n_0} = \lambda \left\{ (u/4\lambda)^2 \sigma_{\text{н}}^2 + \frac{1}{3} \left[(T_{\text{др}}/I^2 + (T_{\text{ц}}/a)^2) + T_{\text{атм}} + \text{ш}_5 \right] \right\}. \quad (1.92)$$

Средняя квадратическая ошибка измерения расстояния светодальномером СТ5, определяемая выражением (1.92), не учитывает ошибок центрирования оптическим центриром приемопередатчика и отражателя ($T_{\text{ц}} = 1$ мм); ошибки постоянной прибора ($\text{ш}_{\text{к}}$), так как контрольный отсчет проверяют и выставляют каждый день, в необходимых случаях вводят поправки. Исследования [33] показывают, что незначительным будет влияние $m_{\text{н}}$, или m_i за приведение наклонных расстояний к горизонту. Ошибками $\text{ш}_{\text{ат}}$, также можно пренебречь, поскольку вводят поправки в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Циклическая ошибка может быть сведена к минимуму путем эталонирования фазовращателя и введения поправок или методикой измерений (введением дополнительного сдвига фазы опорного сигнала на 90°). Ошибкой определения скорости света * также можно пренебречь.

Для топографических светодальномеров с достаточной точностью формулу (1.92) можно записать в виде

* Скорость света в вакууме $c = 299\,792\,458 \pm 1,2$ м/с, т. е. $1 - 10^{-8}$.

$$n_n = \sqrt{(v/4nfy^2m)_{\lambda,r} + D^2(\lambda_j - \lambda)} \quad (193)$$

Первое слагаемое не зависит от расстояния, второе — зависит от измеряемой длины. В общем виде для фазовых светодальномеров принята формула

$$tn_H = a + bD. \quad (1.94)$$

По исследованиям [7] для СТ5 (1.94) следует принять $a = 5$ мм (3 мм — за счет ошибки измерения разности фаз, 2 мм — за счет остаточного влияния ряда других источников ошибок), коэффициент b в значительной степени обусловлен ошибкой ухода частоты (n_{ij}) из-за естественного старения кварцевого резонатора. В измеренные СТ5 расстояния вводят поправку за температурный уход частоты. Регулярное эталонирование масштабной частоты обеспечит $b = 2,5$ мм.

Заводская инструкция по эксплуатации светодальномера СТ5 устанавливает предельные значения коэффициентов a и b соответственно равными 10 мм и 5 мм (см. табл. 8), что вполне соответствует приведенным данным [7], [33].

Измерение линий топографическими светодальномерами

Порядок измерения расстояний современными светодальномерами прост и однообразен. Различия в методике измерений определяются уровнем автоматизации приборов. Например, для более автоматизированного светодальномера СТ5 порядок измерения расстояния проще, чем для светодальномера 2СМ2 или ЕОК 2000.

Для всех светодальномеров обязательными являются следующие операции.

1. Установка приборов в рабочее положение над центрами знаков, на концах измеряемой линии (центрирование, нивелирование и взаимное ориентирование приемопередатчика и отражателя).
2. Включение и прогрев прибора.
3. Проверка напряжения источника питания и выполнение других контролирующих действий в соответствии с техническим описанием и инструкцией по эксплуатации прибора.
4. Точное наведение по максимуму отраженного сигнала, проведение пробных измерений.
5. Измерение давления и температуры воздуха.
6. Измерение расстояния по установленной программе.
7. Измерение угла наклона и высоты приборов приемопередатчика и отражателя над центрами знаков.
8. Вычисление длины линии.

Светодальномер «Блеск» СТ5 применяют для измерения расстояний в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов. Светодальномер можно устанавливать на теодолиты серии 2Т для одновременного измерения углов и расстояний. В благоприятных условиях он обеспечивает измерение следующих максимальных расстояний для отражателей с

1 призмой — 1500, 3—2200, 6—3000, 12—4000, 18—5000 м. Ускорение измерения коротких расстояний в полигонометрии 1 и 2 разрядов и теодолитных ходах достигается при использовании специальной веши, входящей в комплект прибора. Короткие расстояния (до 400 м) измеряют с аттенуатором.

Порядок измерения расстояния светодальномером СТ5 заключается в следующем. Устанавливают приемопередатчик и отображатель на штативах по оптическому центру и по уровню. Проверяют источник питания и контрольный отсчет. Наводят зрительную трубу на отражатель, а отражатель.— на приемопередатчик, включают светодальномер в режиме «Точно», «Навед» переключателями 5 и 4 (см. рис. 7). Изменяют ориентирование светодальномера на отражатель в горизонтальной и вертикальной плоскостях вращением наводящих винтов до получения сигнала. Появление сигнала сопровождается звуком зуммера и отклонением стрелки 2 вправо по шкале. Устанавливают ручкой 6 уровень сигнала в середине рабочей зоны. Переключатель 4 переводят в положение «Счет», убеждаются в положении стрелки в рабочей зоне. После звукового сигнала, производят три отсчета измеряемого расстояния и записывают их в журнал (табл. 9). Определяют и записывают температуру и давление воздуха. Выполняют еще два наведения на отражатель по максимуму сигнала и отсчитывают на табло в том же режиме «Точно», «Счет». Переводят переключатель 5 в режим «Контр» и берут отсчет для определения значения поправочного коэффициента K_1 . Грубые измерения производят при положении переключателя 5 — «Грубо», переключателя 4 — «Счет» и уровне сигнала в пределах рабочей зоны. По окончании измерений выключают светодальномер (переключатель 4 — «Выкл»).

Таблица 9

Журнал измерения расстояний светодальномером СТ5

Линия пз 42—пз 43 (0,5 км)

Дата: 12.07.87

Погода: Ясно

Наблюдатель: Петров

Время: 17.35

Помощник: Наумов

$\varphi=18^{\circ}C; P=745$ мм рт. ст.

$L=+2^{\circ}18'$

$\Pi=-2^{\circ}10'$

$M0=0,0'v=+2^{\circ}18'$

$i_c=1,53$ м

$\text{от}=1,60$ м

Отчеты на табло (режим «ТОЧНО»)			Вычисление длины линии
1 наведение	2 наведение	3 наведение	
475,231	475,240	475,236	$i_{c,}=-2,0$
238	233	235	$K i = \pm 0,0$
235	237	238	$DO_{и} = -3$
			От = 475,236 м
Ср. 475,235	475,237	475,236	$DAK_{и} + K i = + \text{ } 10 \text{ мм}$
			$DO_{и,} = -3 \text{ мм}$
			$0_{и,} = 475,243 \text{ м}$
			$S = 474,860 \text{ м}$

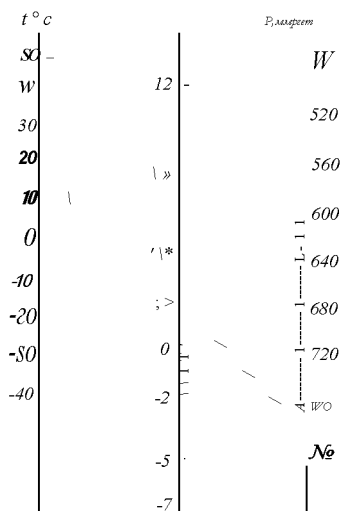
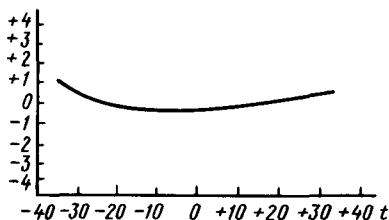


Рис. 8. График для определения коэффициента Ka

Рис. 9. График для определения коэффициента KI



Наклонное расстояние $D_{\text{н}}$ вычисляется по формуле

$$D_{\text{н}} = D_{\text{T}} + D_{\text{T}} (L: \pi + K_{\text{н}}) - 1(\Gamma^5 + \text{ЛО}_{\text{ц}}), \quad (1.95)$$

где D_{T} — среднее арифметическое значение отсчетов в режиме «точно» с учетом известного числа целых километров; $K_{\text{н}}$ — коэффициент, учитывающий изменение показателя преломления атмосферы (определяется по t °C и P с графика на рис. 8); KI — коэффициент, учитывающий температурное изменение частоты кварцевого генератора (определяется по t °C с графика на рис. 9); $AD_{\text{ц}}$ — поправка за циклическую ошибку.

Графики (см. рис. 8 и 9) прилагаются к прибору.

Горизонтальное положение линии вычисляется по формуле

$$S = D_{\text{H}} \cos v. \quad (1.96)$$

Если разности $D_{\text{тер}}$ из трех наведений превышают 5 мм + 3 мм/км, измерения повторяют при более точном ориентировании светодальномера по максимальному сигналу. При сохранении разброса результатов увеличивают на отражателе число призм и выбирают лучшие погодные условия.

Светодальномером CM5 измерения расстояний в полигонометрии 1 и 2 разряда выполняют по той же методике, что и светодальномером СТ5. Расхождение в отсчетах при одном наведении допускается 2 см, между приемами (наведениями) — 5 см. В отличие от СТ5 светодальномером CM5 измерения выполняют всегда в двух режимах «Грубо» и «Точно». В режиме «Грубо» — до 1 км результат высвечивается на пяти индикаторах табло в сантиметрах. В режиме «Точно» измерение осуществляют в пределах десяти метров, результат высвечивается на четырех индикаторах в мм. Так же как и в СТ5 каждый отсчет на табло есть раз-

ность отсчетов в режимах «Дистанция» и «ОК.З». Подробно об измерении расстояний светодальномером СМ5 см. в [31].

Светодальномеры 2СМ2 и ЕОК 2000 и электронные тахеометры (см. табл. 8) также широко применяют для измерения длин линий в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов. Порядок измерений подробно описан в литературе [28], [33].

1.1.5. Измерение линий инварными проволоками

Базисные приборы. Эталоны длины. Компарирование мерных проволок

До середины 50-х годов, когда появились светодальномеры, измерение длин линий в полигонометрии выполняли подвесными мерными приборами, получившими название базисных приборов (БП-1, БП-2, БП-3). В настоящее время базисные приборы находят применение в полигонометрии, главным образом, при измерении базисов и полевых компараторов для эталонирования светодальномеров.

В комплект БП-1 входит 8 инварных проволок (БП-2—4; БП-3—3 проволоки), инварная лента, блочные станки, блоки, гири, базисные штативы с целиками, карабины, струны с крючками, термометры-пращи, нивелирные рейки и другие принадлежности.

Инварные проволоки, как правило, длиной 24 м на концах имеют шкалы по 8 см с 1-мм делениями. Диаметр проволоки 1,65 мм. Инвар — железно-никелевый сплав (64 % железа, 36 % никеля с незначительными примесями углерода, кремния, хрома, марганца, вольфрама, ванадия и др. — всего не более 0,5 %). Специальными многочисленными исследованиями установлены свойства этого замечательного сплава: малый температурный коэффициент линейного расширения (в среднем $\alpha_{\text{л}} = 0,4 \cdot 10^{-6}$), в 20 с лишним раз меньше, чем у платины, и в 31 раз меньше, чем у стали (дословный перевод слова *invar* — неизменный). Он совершенно почти не окисляется, достаточно тверд, но сравнительно легко обрабатывается и прекрасно полируется, имеет большой модуль упругости ($E = 15 \cdot 10^5$ кг/мм²) и хорошую теплопроводность. Примеси углерода и хрома, например, поднимают, соответственно, предел упругости и увеличивают стабильность сплава, примеси марганца делают его более ковким и тягучим, препятствуют образованию трещин и т. п. Основные недостатки инвара: нестабильность, скачкообразная изменчивость длины и температурные последствия. Чем меньше $\alpha_{\text{л}}$, тем больше молекулярная неустойчивость сплава (инварная проволока с течением времени удлиняется, живет). Мера борьбы с этим явлением — искусственное старение (этюаж) инвара. Сплав нагревают до 100 °С и через 4—5 дней начинают медленно (в течение 2—3 мес) снижать температуру до 25 °С. Такая термическая обработка приводит к ускорению стабильности инвара. Поэтому изготовленные инварные проволоки применяют не раньше, чем через 3—4 года. При резком изменении температуры инварная проволока может скачками изменять свою длину, объясняется это внутримолекулярным напряжением. Устраняют — путем той же

термической обработки и тем, что проволоку предварительно до применения подвергают ряду сильных ударов и сотрясений. Кроме того, в процессе полевых работ бережно обращаются с инварными проволоками, а эталонирование их выполняют до и после измерения линий, особенно при измерениях высокой точности.

Наконец, инварная проволока испытывает временные изменения, так называемые температурные последствия, сохраняет температуру, воспринятую ранее (замечено, что при нагревании инварного жезла до 100 °С температурное последствие длилось 0,5 ч, а при нагревании на 40 °С — в течение целого дня), т. е. при меньшем нагреве более длительное время уходит на температурное последствие. В результаты измерений высокой точности Ф. Н. Красовский (см. *Красовский Ф. Н. Избранные сочинения*, т. III.— М.: Геодезиздат, 1955) предлагает вводить поправки. Но при учете температуры с точностью 5—6 °С эти поправки будут ничтожно малыми и их можно не учитывать. Из-за нестабильности инвара учеными разных стран вносились рекомендации: изготавливать проволоки из платинита (никелевая сталь при 42—44% никеля) с a , близким к a -платины; применять суперинвар с коэффициентом $a = 2 \cdot 10^{-8}$ (железо — 36,5, кобальт — 54,5, хром — 9%) и совершенно неокисляемый сплав ($a = 2 \cdot 10^{-7}$).

Все точные линейные измерения в геодезическом производстве должны быть отнесены к длине международного метра — прототипа или к длине волны атома криптона-86 принятых за единицы длины.

Государственный первичный эталон СССР единицы длины состоит из комплекса аппаратуры [30]: газоразрядной лампы с изотопом криптона-86, интерферометра с фотоэлектрическим микроскопом и рефракто-ром для измерений в диапазоне от 0 до 1000 мм, спектроинтерферометра, интерферометра Фабри-Перо и фотоэлектрического регистратора. Место хранения эталона — ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Единица длины воспроизводится и передается со средней квадратической относительной ошибкой не более $5 \cdot 10^{-9}$.

Единица длины — метр, имеющая большое значение в геодезии, есть длина, равная $1650\,763,73$ длины волны в вакууме излучения атома криптона-86, соответствующего переходу между уровнями $2P_{1/2}$ и $5d_{5/2}$ по шкале Фраунгофера, т. е. $\lambda_{\text{Kr-86}} = 0,6\,057\,802\,105$ мкм (оранжевая линия спектра).

Общесоюзная поверочная схема для средств измерений длины установлена ГОСТ 8.020—75. Вторичными эталонами длины в нашей стране являются платино-иридиевые штриховые жезлы № 28 и № 11 — прототипы метра (копии «архивного метра»), хранящегося в Международном бюро мер и весов (Париж). С эталонами — копиями сравниваются образцовые меры, например, инварные трехметровые жезлы метрологической лаборатории (компаратора) МИИГАиК № 541 и № 615 (образцовые меры 1 разряда).

Эталонирование или метрологическую аттестацию рабочих мер (инварных проволок) выполняют сравнением их длины с длиной образцовых мер (инварных 3-метровых жезлов) на 24-метровых компараторах.

Средняя квадратическая ошибка эталонирования инварных проволок на компараторе МИИГАиК, с учетом ошибки эталонирования жезла № 541, составляет 10—15 мкм. По результатам компарирования на каждую проволоку выдается свидетельство, в котором записывается уравнение проволоки

$$l = l_0 + \Delta l + a/l_0 (l - l_0) + p/l_0 (l^2 - l_0^2) + 7/l_0 (<^3 - \dot{y}), \quad (1-97)$$

где l — длина проволоки при температуре t и натяжении 98 Н; $l_0 = 24$ м — нормальная длина проволоки; Δl — поправка за компарирование при температуре l_0 ; a , P , V — термические коэффициенты, причем (3 и y — учитывают только при измерениях линий с высокой точностью. Коэффициенты a , (5 и $-y$ определяют методом электронагрева там же на компараторе.

Эталонирование рабочих мер для измерения длин сторон в полигонометрии 1 и 2 разрядов допускается проводить на полевых компараторах, которые создают в районе работ. Полевой компаратор длиной 120 или 240 м выбирают на равнинной местности с устойчивым грунтом. Его концы закрепляют грунтовыми закладными знаками. Длину компаратора определяют из шестикратного измерения его двумя инварными проволоками (прямо и обратно). Длину рабочей проволоки определяют из четырехкратного измерения компаратора. Между двумя смежными компарированиями рабочая мера не должна изменять свою длину более чем на 0,3 мм.

Источники ошибок при измерении линий подвесными мерными приборами. Расчет необходимой точности измерений

В траверсной полигонометрии при измерении линий проволокой действуют систематические ошибки за: компарирование проволоки a_k , вешение линии o_b , натяжение проволоки $a_{\dots}$, действие ветра $a_{вет}$ и случайные ошибки за: наклон мерного прибора D^* , температуру D/l , неустойчивость штативов $D_{шт}$, собственно измерение линии $D_{\dots}$.

В вытянутом полигонометрическом ходе в результате совокупного действия всех источников ошибок линейных измерений образуется продольный сдвиг l или, переходя к средним квадратическим ошибкам, $m_{\dots}$. На основе принципа равных влияний из (1.62) имеем $m_l = m_{\dots} = MD/2$.

Для хода имеем

$$m_l^2 = m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_n^2, \quad (1.98)$$

где $m_1, m_2, \dots, m_n$ — средние квадратические ошибки измерения каждой стороны проволокой, равные

$$m_l = \sqrt{a_k^2 + o_b^2 + a_{\dots}^2 + a_{вет}^2 + D^{*2} + D^2/l^2 + D_{шт}^2 + D_{\dots}^2}, \quad (1.99)$$

или, в ходе с примерно равными длинами сторон,

$$m_l = \sqrt{n} \cdot m_1, \quad (1.100)$$

где (γ и X — коэффициенты случайного и систематического влияния; l_n — замыкающая или длина хода, равная $5-n$, n — число сторон в ходе.

Учитывая систематический и случайный характер действия отдельных ошибок, и, опуская известные простые рассуждения [27], можно записать для принципа равного влияния ошибок

$$l^2 = 14\tau^2 \quad (1.101)$$

или

$$\tau = \sqrt{m} = \tau_n = \tau_{\text{д}}, \quad (1.102)$$

где $m = m_n = m_A$ — среднее квадратическое влияние одного источника ошибок на продольную среднюю квадратическую ошибку хода.

Переходя к предельным ошибкам, с учетом (1.62) и (1.102), имеем:

$$m = m_n = m_A = \sqrt{14} \tau = \sqrt{14} m_{\text{д}}, \quad (1.103)$$

$$a_{\text{пр}} = D_{\text{пр}} = \sqrt{14} B, \quad (1.104)$$

где $a_{\text{пр}}$, $D_{\text{пр}}$ — предельное влияние одного систематического или случайного источника ошибок на конечную точку хода, $[5] = \xi$ — длина вытянутого хода.

Систематические ошибки возрастают пропорционально числу пролетов в ходе, случайные — пропорционально корню квадратному из числа пролетов (уложений проволоки) в одной линии, поэтому получим

$$D_{\text{пр}} = A / \sqrt{n}, \quad (1.105)$$

$$D_{\text{случ}} = D_{\text{пр}} \sqrt{n}, \quad (1.106)$$

где $D_{\text{пр}}$, $D_{\text{случ}}$ — предельные ошибки на один пролет; n — число

пролетов в ходе, равное $n = \frac{[Y]}{l}$, $[Y]$ — число пролетов в одной

линии.

С учетом принятых обозначений определим предельные величины влияния одного источника систематических или случайных ошибок на один пролет

$$D_{\text{пр.СИСТ}} = \frac{A}{\sqrt{n}}, \quad (1.107)$$

$$D_{\text{пр.случ}} = \sqrt{n} \frac{A}{\sqrt{n}} = A, \quad (1.108)$$

В табл. 10 приведены расчетные величины по формулам (1.107) и (1.108) для полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов.

Полученные расчетные данные позволяют установить допуски на ошибки: компарирования проволоки, установки штативов в створ, натя-

Таблица 10

1 Кхлигоно- метрия	5	1 / T	5 _{ср}	На пролет		На ход = \, ф
				Д/пр.с«ст	А/„р случ	
4 класс	10 км	1 / 25 000	500	0,18 мм	0,82 мм	1 1,4 см
1 разряд	5 км	1/10 000	300	0,45 мм	1,6 мм	9,4 см
2 разряд	3 км	1/5000	200	0,91 мм	2,6 мм	11,3 см

жения проволоки, из-за ветра, наклона и точности нивелирования целиков, измерения температуры, устойчивости штатива и собственно измерений.

О ш и б к а з а к о м п а р и р о в а н и е п р о в о л о к и . Компарирование проволок надлежит выполнять (см. табл. 10) не грубее, чем 0,2 мм — в 4 классе, 0,45 мм — в 1 разряде и 0,9 мм — во 2 разряде.

О ш и б к а з а в е ш е н и е . Установку штативов в створе требуется вести с ошибкой не более чем ϵ , где

$$\epsilon = \frac{L}{L_{\text{Д.б.г}}}, \quad (1.109)$$

$L_{\text{кл}} = 5$ см, $\Gamma_p = 8$ см, $e_{\text{р}} = 11$ см. При вешении по теодолиту, при максимальных длинах линий $e^{2,5}$ см. В полигонометрии 4 класса вешение на глаз не допускается. В полигонометрии I разряда можно устанавливать базисные штативы на глаз, если длина линии не превышает 275 м. В ходах 2 разряда, если стороны измеряются проволокой, все штативы с целиками можно устанавливать в створ на глаз.

О ш и б к а з а н а т я ж е н и е . Натяжение проволоки должно осуществляться с ошибкой не более $L P$.

$$A H = 1 / (5,3 T (1 / o) \epsilon + P / 12 E^3) |, \quad (1.110)$$

где $\epsilon_0 = 2,1 \text{ мм}^2$ — площадь поперечного сечения проволоки; $E = 16\,000$ кг/мм — модуль упругости инвара; $Y = 0,42$ кг — масса проволоки; $E = 10$ кг — груз натяжения.

$$A / \Gamma_{4\text{к.1}} = 0,16 \text{ кг}, L / \text{'-}'_p = 0,4 \text{ кг}, L / \text{'-}'_{2\text{р}} = 0,8 \text{ кг}.$$

В полигонометрии 4 класса целесообразно применять гири с блочными станками, но можно использовать и динамометры с баграми. В разрядной полигонометрии гири применять не требуется.

О ш и б к а з а в л и я н и е в е т р а . Ветер, особенно боковой, не должен вносить ошибку в длину пролета в полигонометрии 4 класса более чем 0,2 мм. Этого можно добиться, если при скорости ветра и $\wedge^7$ м/с (~ 4 балла) прекращать измерения линий.

О ш и б к а з а т е м п е р а т у р у . Из формулы (1.97) определим ошибку за температуру

$$L / , = a / , L / . \quad (1.111)$$

Если влияние носит систематический характер, то

$$L / < 1 / a \, 5,37. \quad (1.112)$$

Таблица 11

Полигонометрии	На пролет $L/b_{пр}$, мм	Л/мф (м м) при h на пролете		
		0.5 м	1 м	2 м
4 класс	0,82	40	20	10
1 разряд	1,6	76	38	19
2 разряд	2,6	128	64	32

Для инварных проволок ($a_{ин} = 0,4 \cdot 10^{-6}$) $D_{ф} = 19^\circ\text{C}$, для стальных ($a_{ст} = 12,5 \cdot 10^{-6}$) $L_{ин} = 0,6^\circ\text{C}$. Чтобы с такой высокой точностью учитывать температуру при измерении линий в 4 классе стальными проволоками, необходимо на каждом пролете измерять температуру термометром-пращем. Очевидно, что при случайном характере ошибок, требования к точности измерения температуры понижаются. Измерение линий стальными проволоками в полигонометрии 1 разряда потребует знать температуру с ошибкой не более $1,2^\circ\text{C}$, т. е. требуется измерять ее также на каждом пролете.

Ошибка за наклон проволоки на пролете носит случайный характер и определяется формулой

$$A_{л, пр} = \frac{h}{L} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}, \quad (1.113)$$

где h превышение между конечными точками пролета. Из формулы (1.113), во-первых, следует, что в 4 классе при $L \leq 0,8$ мм и превышении $h \leq 20$ см штативы можно вообще не нивелировать, соответственно, в 1 разряде 28 см, во 2 — $h \leq 36$ см. Во-вторых, можно установить точность (класс) нивелирования штативов. Для этого из (1.113) по теории ошибок определим

$$A = \frac{h}{L} \cdot \frac{1}{\cos \alpha}, \quad (1.114)$$

Для разных превышений получим предельные ошибки нивелирования штативов в табл. 11. Из табл. 11 следует, что в полигонометрии 4 класса при $L = 2$ м целики штативов требуется нивелировать очень точно, почти 111 классом, так как $A/\gamma_{пр} = 10$ мм.

Ошибки в длине пролета за неустойчивость штатива возникают по разным причинам (не закреплены барашки, целики, ножки штатива; из-за неаккуратного перемещения счетчиков вокруг штатива и обращения с проволокой, с гириями, при нивелировке), кроме того, чтобы уменьшить влияние этих ошибок, рекомендуется штативы устанавливать поочередно по две ножки с одной и с другой стороны проволоки (глядя сверху).

Ошибки собственно измерений складываются из ошибок: отсчет по шкале D_0 , прикладывания шкалы к целику $A_{ин}$ и фиксирования концов линии $D_{ф}$

$$A/c_{\infty}, \quad \pi_F = \pi/\lambda^0 + \pi'' + \lambda\Phi \cdot$$

(1.115)

Из опыта $D/c_{\infty}, \quad \pi_F = \sqrt{0,3^2 + 0,5^2 + 0,5^2} = 0,8$ мм, что согласуется с данными табл. 10 для 4 класса.

Порядок измерения линий подвесными мерными приборами. Вычисление длины линии. Оценка точности

Началу полевых работ предшествуют: осмотр комплекта, проверки теодолита, нивелира, оптических центриров и эталонирование мерных проволок (лент, рулеток).

В полигонометрии 4 класса длины линий измеряют двумя инварными проволоками в одном направлении или одной проволокой (прямо и обратно) методом отсчетов. На каждом пролете производят три пары отсчетов (П-3) до 0,1 мм. Между парами отсчетов проволоку сдвигают на 1—2 см. Расхождения трех разностей не должны превышать 1 мм.

Длины сторон в полигонометрии 1 разряда измеряют одной инварной проволокой в одном направлении методом отсчетов или методом фиксации концов проволоки (нулей шкал). В полигонометрии 2 разряда—одной проволокой, в одном направлении, методом фиксации. Измерение длины линии включает: вынос начала и конца линии оптическими центрами, расстановку базисных штативов с вешением по теодолиту, собственно измерение длины линии (пролетов — проволоками, остатков — рулеткой), нивелирование штативов. Подробно порядок измерения линий инварными проволоками широко описан в литературе, например, [28].

В процессе полевого сезона длины проволок систематически контролируют на полевых компараторах (см. 1.1.5), но не реже одного раза в месяц.

Длину линии вычисляют по формуле

$$S = (l_0 + A) / n \cdot 2 (П - 3) c_p + A_5 \cdot A_5 / , \quad \text{кг}, \quad (1.116)$$

где $(l_0 + A)$ — уравнение проволоки, при l_0 ; $l_0 = 24$ м, A — поправка за компарирование; n — число полных пролетов; $2 (П - 3)$ — сумма средних разностей на n пролетах; $A_5 = a_5 D / -$ я — поправка за температуру; a — коэффициент температурного расширения проволоки; $D = t_{cp} - t_a$ — средняя температура проволоки при измерении данной линии; $A_5 = - 2 (t_1^2/2l_0 + t_1 t_2/8l_0)$ — сумма поправок за приведение длин пролетов к горизонту; t_1 — превышение i -го пролета; X_g — сумма остатков;

$g = g_1 + A_g + A_l (+ A_l / ,$ — длина остатка; $A_g = - \Delta g'$ — поправка за компарирование в длину остатка; $(l_p + D/p)$ — уравнение рулетки (инварной ленты); g' — измеренная величина остатка; $D_g = a_p l_p D/p$ — поправка за температуру в остаток; a_p — коэффициент температурного расширения рулетки; l_p — номинальная длина рулетки; D/p — разность температур: измерения остатка и компарирования рулетки (ленты); $D_0 =$

= ————— поправка за наклон остатка; Л — превышение остатка.

В полигонометрии 1 и 2 разрядов допускают измерение длин сторон длинномером АД-1М. При натяжении 10 кг достигают 1/10000, 5 кг — 1/5000. Отсчеты по шкалам длинномера и диска производят до 1 мм. Длины сторон полигонометрии 1 разряда измеряют двумя приемами, 2 разряда — одним. Прием составляет измерение длины (прокатывание диска по проволоке) прямо и обратно. Длинномер эталонируют на полевом компараторе. Длину линии, измеренную длинномером, вычисляют по формуле

$$D = ((B_1 - B_2) / B_2) \cdot c + D_5 - (L / B_2) - (A / B_2) - (A_5 / B_2), \quad (1.117)$$

где n — число пролетов; B_1 и B_2 — отсчеты по шкале мерного диска; B_1 и $B_2 > 2$ — отсчеты по шкале длинномера; c — постоянное слагаемое; D_5 — поправка за компарирование; D_5 — поправка за температуру; $D_5 /$ — поправка за провисание проволоки с учетом асимметрии цепной линии; D_5 — поправка за наклон полета.

Оценку точности измерения линий инварными проволоками выполняют по формулам (1.99) и (1.100). Коэффициенты случайного p , и систематического k влияний, характеризующие качество проволоки, условия измерений и квалификацию наблюдателя, определяют из опыта:

а) по внутренней сходимости

— по уклонениям от среднего из многократных измерений

$$\sigma' = \frac{\tau}{\sqrt{n}} = \frac{\tau}{\sqrt{n-1}}, \quad \tau = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad \text{когда } X \rightarrow 0,$$

где σ — уклонение от среднего; n — число приемов (измерений);

— по разностям двойных измерений

$$\sigma' = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n-1}}.$$

$$\sigma' = \frac{[\ddot{u}]}{\sqrt{n-1}}.$$

где $\ddot{u}$ — разность, свободная от систематического влияния; l — длина линии; σ — остаточное систематическое влияние; n — число разностей;

б) по продольным невязкам вытянутых ходов

$$\sigma' = \frac{I}{\sqrt{N}}.$$

где I — продольная невязка хода, свободная от систематического влияния; I^* — замыкающая хода; N — число ходов.

1.1.6. Измерение линий в полигонометрии параллактическими методами и точными оптическими дальномерами

Параллактический метод измерения длин применяют, когда светодальномер отсутствует, а измерение линии проволокой затруднительно или невозможно. Длину линии и ее среднюю квадратическую ошибку звена треугольной формы определяют по формулам:

$$\frac{b \sin (\phi + \gamma)}{\sin \phi} \quad \text{или } S = B \cos B \gamma - \gamma \sin \phi, \quad (1.118)$$

$$(1.119)$$

звена ромбической формы, соответственно, по формулам:

$$S = S_1 + S_2 \quad \frac{B}{2} - (\phi_1/2 + \phi_2/2), \quad (1.120)$$

$$(T) \chi \chi' \quad (1.121)$$

где B — базис, измеренный проволокой; ϕ, ϕ_1, ϕ_2 — параллактические углы; ϕ_{cp} — среднее значение угла, принятое для оценки точности; t, γ — средняя квадратическая ошибка измерения параллактического угла; γ — прибазисный угол, измеряемый двумя приемами.

Как правило, базис составляет одно или несколько целых уложений проволоки и известен с высокой степенью точности ($m_B/B \sim 1/50\,000$), тогда для звена треугольной формы имеем $m_S/3 = m_\phi/\phi$, при $\Phi = (B/B) \quad p = p/K$, где $K = 8/B$ — коэффициент, определяющий продвижение в работе, тогда

$$m_S/8 = (m_\phi/p) K, \quad (1.122)$$

для звена ромбической формы, при $\phi = \frac{2B}{p}$, имеем

$$m_S/S = (m_\phi/p \cdot 8) K. \quad (1.123)$$

Чтобы обеспечить $1/20\,000$ (относительную среднюю квадратическую ошибку полигонометрии 1 разряда) необходимо параллактические углы измерять со средней квадратической ошибкой (m_ϕ) равной $1''$ и

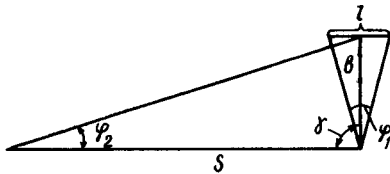


Рис. 10. Распространенное типовое звено короткобазисной параллактической полигонометрии

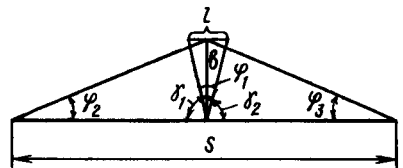


Рис. 11. Сложное звено короткобазисной параллактической полигонометрии

1,4" соответственно, в треугольном и ромбическом звеньях. Высокая точность измерения малых углов достигается за счет ослабления влияния рефракции, эксцентриситета и ошибок в делениях круга.

Параллактические углы измеряют теодолитами типа Т2 при визировании на марки четырьмя приемами. Расхождения значений угла из разных приемов не должны превышать 3". Для измерения параллактических углов используют узкий сектор лимба, где ошибки в делениях наименьшие.

Короткобазисный параллактический метод измерения длин применяют в полигонометрии 1 и 2 разрядов. Наибольшее распространение в производстве имеет звено, приведенное на рис. 10.

Длина определяемой линии 5 вычисляется по формуле

$$5 = //2c1\text{ср}1/2\text{-зт}(\phi_2 + y)/\text{зту}, \quad (1.124)$$

где $l = 2$ или 3 м — длина инварного жезла; B — промежуточный базис; ϕ_1 и ϕ_2 — параллактические углы; y — базисный угол, измеряемый с меньшей точностью; для оценки точности принимают $\phi_1 = \phi_2 = \rho$ и $B/l = B/B = K$.

Жезлы эталонируют в метрологических лабораториях с точностью 0,01 мм или на полевом компараторе с точностью 0,04 мм. Тогда без учета ш./л. < 1/50 000, имеем

$$* \rho \quad K_{л12}, \quad (1.126)$$

при $K = 10$ ($\phi = 6^\circ$) и $m_\phi = 1''$, имеем $m_3/8 = 1/14\ 000$, что вполне соответствует полигонометрии 2 разряда. Повышение точности для полигонометрии 1 разряда достигается, если измеряемую линию делят на две части и образуют двойное звено (рис. 11).

Если углы y и γ отличаются от 90° не более чем на Γ , то длину линии вычисляют по формуле

$$8 = 1/2c^4/2 (\text{с1}\text{§:}\phi 2\text{H-с1е}\text{ср}3); \quad (1.127)$$

$$(\wedge)\text{Ц-}\wedge, (\wedge)'\wedge + |(\wedge)\text{>} \quad (1.128)$$

Оптимально должно быть $6 = d//5$; тогда при $t_{\phi 1} = m_{\Gamma 2} = m_{\gamma 3}$ без учета ш./л. имеем

$$m_5 m_a \wedge 3 \quad (1.129)$$

$$5 \rho \wedge 8$$

при $l = 10$, $m_{\gamma 2} = \gamma$ ($l = 2$ м, $B = 20$ м, $5 = 400$ м)

$$\text{'я} \quad = 1/20\ 000.$$

Створно-короткобазисный параллактический метод измерения длин применяют в полигонометрии только 2 разряда.

Сторону полигонометрического хода делят на 40—60 метровые отрезки, каждый из которых измеряют короткобазисным методом звеном симметричной ромбической формы (1.120).

Средняя квадратическая относительная ошибка стороны хода при n равных звеньях по формуле (1.123) равна

$$m_5/8 = m \sqrt{p-K} \sqrt{n}/8, \quad (1.130)$$

при $l = 2$ м, $6 = 20$, $5 = 40$, $5 = 320$, $\gamma = 8$ имеем $m_5/5 = 1/10\,000$.

Основными источниками ошибок измерения линий параллактическими методами являются:

ошибка в длине жезла, длина жезла не реже одного раза в месяц контролируется на полевом компараторе;

неперпендикулярность жезла визирному лучу, которая не должна превышать $20'$, жезл устанавливают по коллиматорному визиру;

инструментальные и личные ошибки и ошибки внешней среды, определяющие $t_{\text{ж}}$, (ошибки в делениях, влияние эксцентриситета лимба на рен, влияние боковой рефракции).

До начала измерений выполняют поверки теодолита, марок, оптических центриров, определяют длину жезла. Измерение параллактических углов выполняют четырьмя приемами.

В процессе измерений по оптическому центриру устанавливают штативы с подставками, жезл приводят в горизонтальное положение по уровню и перпендикулярно визирному лучу по коллиматорному визиру.

Измерение расстояний оптическими точными дальномерами. Дальномеры двойного изображения типа Редта 002 и ОТД (Д-2) при благоприятных условиях обеспечивают точность измерения линий в полигонометрии 2 разряда $1/5000$.

Устройство, технические характеристики и принцип действия дальномеров описаны в [14], [28], [30] и других работах.

Одним из главных источников ошибок измерения расстояний точными оптическими дальномерами является изменение коэффициента с температурой, поэтому его определение на базисе должно проводиться при температуре, близкой к температуре измерения линий. Среднюю квадратическую ошибку измерения расстояния оптическим дальномером определяют по формулам:

а) для дальномеров с постоянным базисом

$$\frac{m_0}{O} \quad (1.131)$$

или, с учетом $\rho \frac{L_0}{L_P}$ имеем

$$\frac{m_0}{L} \quad \begin{matrix} O & \text{Шр} \\ B & P \end{matrix} \quad (1.132)$$

б) для дальномера с постоянным

$$\frac{m_5}{m_l} \quad (1.133)$$

или, с учетом $l = 8/K$, получим

$$m_5 = naK \text{ или } m_5 = \sqrt[8]{8}, \quad (1.134)$$

где тр , $\sigma n/$ — средние квадратические ошибки, соответственно измерения параллактического угла или отрезка на рейке. В приведенных приближенных формулах ошибки коэффициентов дальнометров не учитывались.

1.1.7. Уравнивание полигонометрии

Общие сведения по обработке и уравниванию полигонометрии

В процессе вычисления дирекционных углов, приращений координат и координат ошибки округлений должны составлять 0,1—0,2 от ошибок измерения углов и линий. Способ уравнивания следует выбирать с учетом: точности угловых и линейных измерений, длины и формы хода, наличия систематических ошибок и ошибок исходных данных, наличия настольных вычислительных машин или ЭВМ.

Обработке предшествуют: тщательная проверка полевых журналов, составление рабочих схем с измеренными данными, необходимый контроль и оценка точности полученных результатов измерений.

Предварительная обработка, вычисление рабочих координат и уравнивание должны сопровождаться высоким качеством оформления материалов.

Уравнивание полигонометрических ходов и малых сетей на настольных вычислительных средствах и на ЭВМ, как правило, выполняют коррелятными, в том числе, двух- и трехгрупповыми способами.

Обширные полигонометрические сети уравнивают на ЭВМ по способу условий с дополнительными неизвестными, видоизмененному способу узлов (см. *Большаков В. Д., Маркузе Ю. И., Громов Е. В.* К уравниванию, оценке точности и проектированию полигонометрических сетей.— Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1972, вып. 4, с. 3—12), а также приближенными и раздельными способами. Последними, как правило, уравнивают сети полигонометрии 1 и 2 разрядов.

Подробно уравнивание полигонометрических ходов и сетей рациональными способами, с учетом современных достижений науки, вычислительной техники и производства, изложено в работе [6].

Уравнивание и оценка точности полигонометрического хода произвольной формы

А. Совместное уравнивание

В ходе, который опирается на исходные пункты и направления, есть три избыточных измерения: два угла и линия. Возникают три условных уравнения: условие дирекционных углов и два условия координат:

$$a_{\text{с}}-a_{\text{к}}+j\text{ }p_{\text{с}}-180^{\circ}(n+1)=0, \tag{1.135}$$

$$\begin{matrix} \Pi \\ \text{£} \setminus Xi- \\ 1 \\ n \end{matrix} (x_{\text{к}}-x_{\text{н}})=0, \tag{1.136}$$

$$Z\text{д«//}-(Y_{\text{к}}-Y_{\text{н}})=0. \tag{1.137}$$

Если приращения координат Дх и Ду не измерялись, то, переходя к измеренным углам р, и линиям 5, в формулах (1.136) и (1.137), после дифференцирования уравнений и замены бесконечно малых величин поправками получают условные уравнения поправок в виде

$$\begin{aligned} &K]7^{+ \text{ ' + ^}}=0; \\ &[v_{\text{с}}.\cos a^?]^{?}-jL\text{ [}Vfr\text{ (}y^{\circ}_{\text{н}}+1-y^?)\text{] }I+f'_{\text{с}}=0; \end{aligned} \tag{1.138}$$

$$[u_{\text{с}}\sin a^?]\dot{i}+y[ti_{\text{п1}}\text{ (}^{*\circ}_{+1}-x^?)\text{]}\dot{i}+/'=0,$$

где $Vfi\dot{i}$, $v_{\text{с}}$ — поправки в углы и линии; $f'_{\text{с}}$, $f'_{\text{у}}$ — невязки по осям координат, вычисленные по неуравненным углам; $a^?$, $y^?$, x° — приближенные вычисленные по измеренным р и S значения, соответственно, дирекционного угла, ординаты и абсциссы; n — число сторон; $(\text{л}+1)$ — число углов в ходе; fr — угловая невязка хода.

Систему уравнений (1.138) решают под условием $[Yp^{\wedge}p]+[Psysl]=min$. Нормальные уравнения коррелат имеют вид

$$\frac{\pi\cdot 1}{\Gamma'p}K\backslash-[y^{\circ}_{\text{н}}+\frac{1}{\text{ПП5}}y^?]\frac{1K2-\backslash}{\text{ркр}}\frac{5\cdot}{\text{ркр}}[x\ddot{y}+1-x^?]"K3+ /p=0;$$

$$-\text{ }=1\text{ }(\text{ }y^{\circ}+\text{ }i-\text{ }+|\text{ }-\triangle_{ip}\text{ }[(\text{ }i/\ddot{u}+1-\text{ }Y^?)^2]\text{ }^{\text{''}}+\text{ }\backslash\sim p^{\wedge}\cos^2a^?|J/(2-\text{ }$$

$$-[(y_{\alpha}+^1-y^*)\text{ }+^1-\text{ }x,\text{ }p>\text{ }i'+fir^{\text{TM5}}a,\text{ }p\text{ }Sit1\text{ }a,\text{ }^{\circ}\text{ }],\text{ }K^3+\wedge=0;$$

$$-L_{\text{ррр}}[(x2+, -x^?)]\dot{I}/C,\text{ }_{I\wedge P_s}\text{ }[(i/S+i\cdot y^?)\text{ } (JC\ddot{U}+,-^*?)\text{ }]^{?}+$$

$$+\cos a^{\circ}\sin a^?|\text{ }j/(2+j\text{ }j_{\text{р}}-\text{ }[(xS+i-x^?)^2]\text{ }^{?}+J\text{ }-\wedge\text{ }-\sin^2\text{«? }JJx$$

$$X\text{ }K3+ / \# =0.$$

Из решения нормальных уравнений определяют коррелаты, по ним — поправки в измеренные углы и линии по формулам

$$v_{*} = -k \cdot y(Y^{\circ} + Y') \quad (*2+i-*)^{**}\}, \quad (1-140)$$

$$v_{s_i} = -\frac{L}{u_s} (\cos a?/C2 + \sin a?K3) \blacksquare \quad (1.141)$$

По уравненным углам и линиям вычисляют уравненные дирекционные углы приращения координат и координаты всех точек хода. Заключительным контролем уравнивания является совпадение координат последнего пункта из уравнивания и исходных.

Оценку точности уравненных элементов хода выполняют по известной формуле _____

$$mF = i!yT^{\wedge'} \quad (1.142)$$

где p — средняя квадратическая ошибка единицы веса; P_z — вес i -го уравненного элемента (стороны, угла, дирекционного угла, координаты).

Величину $i\gamma$ вычисляют по поправкам из уравнивания и принятым весам по формуле

$$\sigma = \text{дДМ} \pm 153 \Gamma, \quad (1.143)$$

где $\varepsilon = 3$ — число избыточных измерений.

Веса P_p и P_s измеренных углов и линий в общем случае вычисляются по формулам

$$P_p = \frac{\wedge \Gamma}{\text{тр}}; \quad (1-144)$$

$$m_j \quad (1.145)$$

где тр — определяются формулами (1.69) ч- (1.75), лучше по результатам наблюдений в условиях, близких к данным; m_3 — по формулам (1.94) — для светодальномеров, (1.99) — для проволок, (1.122), (1.123), (1.124), (1.129), (1.130) — при параллактических методах измерения линий, (1.132), (1.134) — для оптических дальномеров.

Постоянная c подбирается наиболее целесообразно, учитывая соотношение точностей угловых и линейных измерений.

В светодальномерной полигонометрии принимают $c = \text{шр}$; тогда

$$P_{\sigma} = 1.$$

$$P_s = -\frac{! \Gamma}{m\%} \cos \pi 1, \quad (1.146)$$

так как для топографических светодальномеров m_s — постоянная величина.

В траверсной полигонометрии $c = |l|^2$, откуда

$$\wedge = -4-; \quad \wedge_1 = 4-1' \quad \langle 1147 \rangle$$

В параллактической, в том числе короткобазисной, полигонометрии

$$c = /71\varnothing; \quad />_{,,} = !; \quad P_3 = \frac{2\pi \cdot \frac{1}{2} P}{m\% \cdot \Delta^2} \quad (1.148)$$

где p — параллактический угол.

В дальномерной полигонометрии $c = \text{тр}, P\$, \stackrel{2}{=} 1,$

$$\frac{n}{5} \frac{1}{5^2 (1/\Gamma)^2} \quad \langle 1149 \rangle$$

Функции уравненных элементов хода имеют вид

$$/ > = P? + \wedge; \quad (1.150)$$

$$P_{8,} = 5? + и_{5\zeta}; \quad (1.151)$$

$$/\Gamma a, = a? + [\wedge]_1; \quad (1.152)$$

$$\wedge_1 = \wedge? + [y_5, \text{co} 5a, ?]' \text{ — } \wedge [(y^+ + |-y?)^{\wedge},]; \quad (1.153)$$

$$?m = y^{\circ} \vdash [\wedge \wedge_{\text{п}} \alpha, \rho]' + y [(*2 + 1 \text{ —} \quad (1.154)$$

где $p?$, $5?$, $*?$, $y/$ — значения функции, полученные по измеренным углам и линиям.

$$\frac{1}{P} \frac{\Gamma}{\Gamma} \quad 1 \quad \Gamma \quad \wedge \text{--} \text{--} \text{T--}$$

$$\begin{matrix} \text{щ. Ж М} \\ [т\sim] [ти Рк^2] \end{matrix} \quad "155)$$

Вычисление — проводят в процессе решения нормальных уравнений

в дополнительных столбцах схемы Гаусса [28, табл. 33].

В формуле (1.155) первый член правой части есть обратный вес функции до уравнивания, два первых члена — обратный вес рассматриваемой функции после уравнивания узлов.

В производстве выполняют оценку точности далеко не всех элементов, а лишь для наиболее слабых мест хода (середина хода и места резких поворотов хода), так как веса смежных элементов хода (например, двух смежных сторон) после уравнивания будут отличаться друг от друга на незначительную величину. Как правило, достаточно знать

ошибку (1.5), (1.6) в конце хода до уравнивания, которая равна предельной погрешности в середине хода после уравнивания.

Б. Двухгрупповое уравнивание

Три условные уравнения (1.138) делят на две группы: в первой группе — первое условное уравнение дирекционных углов, во второй — два координатных. Строгость уравнивания не нарушится, если начало координат перенести в центр тяжести хода с координатами

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1.156)$$

Действительно,

$$x^n + \dots + xf = \bar{x}, \quad \sum_{i=1}^n B_i Y_i + 1 - y = \tau) n + 1 - \Pi / \quad (1.157)$$

где

$$B = X - X_{из}, \quad U_i = Y - Y_{из} \quad (1.158)$$

— новые (центральные) координаты.

Центральные координаты (1.158) определяют как отклонения от среднего (центра тяжести), следовательно, обладают свойством

$$\sum B_i = 0; \quad \sum U_i = 0. \quad (1.159)$$

Координатные условные уравнения (1.138) с учетом (1.159) принимают вид

$$[f_{s_i} \cos \alpha_i] + u \sum_{i=1}^n K_i + \{x = 0; \quad (1.160)$$

$$[t \sin \alpha_i] + v \sum_{i=1}^n K_i + \{y = 0$$

где D_B — вторичная поправка в углы

$$B_i = B_i + \delta B_i \quad (1.161)$$

По первому условному уравнению (1.138) составляют нормальное уравнение, решают его отдельно, находят коррелату и первичную поправку в измеренные углы

$$C = -t \sum_{i=1}^n K_i \quad (1.162)$$

После решения уравнений второй группы определяют вторичные поправки в углы v'_{β} . Строгость уравнивания не нарушится, если в (1.138)

$$\beta_i + u'_{\beta} f = \beta_i + p_{\beta} \quad (1.163)$$

Из (1.162) $U_p(n+1) = -h = [p]$ и $[y_{\beta}] = -l_{\beta}$, значит $[p] = 0$, что подтверждает строгость двухгруппового уравнивания.

Нормальные уравнения коррелат второй группы имеют вид

$$AK_2 + CK_3 + f^* = 0 \text{ и } SK_2 + BK_3 + f_{y,\beta} = 0 \quad (1.164)$$

Решая уравнения (1.164), получают коррелаты

$$* \text{---} *' = * \& = ? \blacksquare \text{''166)}$$

Определяют вторичные поправки в углы

$$\alpha \varepsilon = \tau 1 // p - K 2 - B / p - / C 3 \quad (1.167)$$

и поправки в линии

$$u_{\delta} = 1 / Y_5 (\cos 5 \alpha ? K \Gamma + \text{эта? } K 3) - \quad (1.168)$$

Вводят вторичные поправки в исправленные за первичную поправку углы и поправки в измеренные линии. По уравненным углам и линиям обычным порядком вычисляют уравненные значения дирекционных углов, приращений координат и координаты.

Оценку точности выполняют по формуле (1.142), но среднюю квадратическую ошибку единицы веса:

обратный вес

$$\bullet \text{ } \Gamma \varepsilon \varepsilon 1 \frac{\Gamma \wedge T M}{\sim P 7 \quad [P]} \frac{\sqrt{m-m}}{!//>, («+1) A} \quad \begin{matrix} C \\ B \sim T \end{matrix} \quad (1.170)$$

Строгое уравнивание и оценка точности других частных случаев ходов, а также уравнивание с использованием ЭВМ приведены в [6], [20], [28] и др.

При малом числе избыточных измерений ($\Gamma = 3$) строгое уравнивание полигонометрического хода не может дать существенного повышения точности при значительной затрате сил и времени, поэтому ходы полигонометрии низших порядков 2 разряда и теодолитные ходы уравнивают раздельно (приближенно). Раздельное уравнивание (когда угловая невязка распределяется поровну на все углы, невязки в приращении координат распределяются пропорционально длинам сторон) целесообразно также применять, когда углы измерены заведомо точнее, чем длины линий, и когда поперечная и продольная невязка хода — малые величины.

Современный подход к уравниванию полигонометрических сетей с использованием ЭВМ [6], [20] сводится к применению, в основном, строгих способов или тех из приближенных, которые обеспечивают получение результатов, заменяющих строгие.

Модифицированный способ узлов. От исходных уравнений (1.138) и (1.160) одиночных ходов и введения дополнительных неизвестных переходят к составлению корреляционных матриц векторов x, n, u , представляющих собой по сути невязки ходов. Произведения трех таких матриц совпадают с матрицами коэффициентов нормальных уравнений одиночных полигонометрических ходов. Для уравнивания полигонометрической сети по модифицированному способу узлов имеется программа ЭЦВМ БЭСМ-6. Программа рассчитана на уравнивание сетей практически с неограниченным числом узлов.

Способ узлов-полигонов. В основу способа положена теория уравнивания по способу условий с дополнительными неизвестными. Способ узлов-полигонов выгодно применять к сетям с небольшим числом исходных точек с использованием как настольных вычислительных средств, так и стандартных программ на ЭВМ.

Двухгрупповой способ для ЭВМ и настольных машин. От исходных уравнений одиночного хода переходят к совместному уравниванию всех измеренных углов в сети по способу двух групп. Определенные таким образом значения дирекционных углов принимают за измеренные, оценивая их достоинство корреляционной матрицей, предварительно определяя матрицу весовых коэффициентов уравниваемых дирекционных углов. Затем переходят к решению уравнений второй группы. Способ рассчитан, в основном, на применение ЭВМ. В работе [6] приведено описание программы, составленной на основе разработанного авторами способа, по которой уравнено значительное количество сетей. Способ может быть применен для уравнивания на настольных машинах для малых сетей.

В работе [20] предлагается для упрощения вычислений обширных сетей применять коррелятный способ Н. Ю. Пранис-Праневича.

Для полигонометрических сетей 1 и 2 разрядов применяют упрощенное (раздельное) уравнивание. Сначала уравнивают углы тем или иным способом, затем вычисляют суммы приращений координат по всем ходам и уравнивают их тем же способом, что и углы. Обычно результаты раздельного уравнивания в малых сетях незначительно отличаются от результатов строгого уравнивания, но сокращение объема вычислений оказывается весьма существенным.

1.1.8. Привязочные работы в полигонометрии

Полигонометрические ходы опираются на пункты государственной сети. Висячие ходы не допускаются. Может иметь место: непосредственная привязка хода, когда измеряют примычные углы и линии; привязка

к недоступным пунктам (снесение координат с вершины знака на землю) и привязка к удаленным пунктам (однократные и многократные засечки). Чтобы убедиться в достоверности непосредственной привязки измеряют по два примычных угла.

Снесение координат с вершины, недоступного знака на землю (рис. 12)

По известным координатам пунктов T_1, T_2, T_3 , измеренным базисам b_1, b_2 и углам γ_2, ϕ_1, ϕ_2 определяют S_{PT}, a_{PT}, x_P, y_P с контролем и оценкой точности по формулам

$$\sigma_{PT} = \frac{\sigma_{b_1} + \sigma_{b_2}}{2}, \quad \sigma_{\phi} = \frac{\sigma_{\phi_1} + \sigma_{\phi_2}}{2}, \quad \sigma_{S_{PT}} = \frac{\sin(\phi_1 + \phi_2)}{\sin(\phi_1) \sin(\phi_2)} \cdot \sigma_{\phi_1} \sigma_{\phi_2} \quad (1.171)$$

$$\sigma_{T \setminus P} = \sigma_{PT} \quad (1.172)$$

$$\tan \gamma_2 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad \tan \alpha_{T_3} = \frac{y_3 - y_1}{x_3 - x_1}$$

$$\sin \Pi_1 = \frac{S \sin \gamma_1}{L_1}, \quad \sin \Pi_2 = \frac{S \sin \gamma_2}{L_2}$$

$$L_1 = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}, \quad L_2 = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2};$$

$$\alpha_2 = \alpha_{T_3} - \alpha_{T_1 P};$$

$$x_i = 180 - (\gamma_i + \Pi_i);$$

$$x_2 = 180 - (\gamma_2 + \Pi_2);$$

$$-x_1 + \Delta x_{TP} \quad (1.173)$$

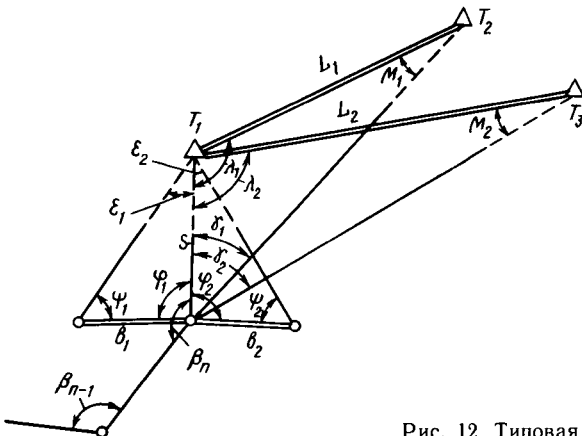


Рис. 12. Типовая схема снесения координат

$$Y_P \rightarrow Y_I \sim \sim \& Y_M \setminus P > \tag{1-174}$$

$$Ax_{TlP} = Scosa_{TlP}; \tag{1.175}$$

$$Ay_{7^{-}lP} = Ssina_{7^{-}lP}; \tag{1.176}$$

$$\mathrm{tgar,p} = \frac{Y_P - Y_M \setminus}{x_P - x_{Tl} \, '}$$

$$\begin{matrix} Y_P - Y_{T2} \\ \vdash \ddot{e} \circ T_2 P \colon \\ x_P - x_{T2} \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} Y_P - Y_{M_j} \\ \vdash g \circ \Gamma_3 P \colon \\ x_P - x_{T_b} \end{matrix}$$

$$S,-S2<(S_1-5_2)_{,,p}=2V\ll s_1+"is_2=2V2m_s; \tag{1.177}$$

$$\setminus<x_{TP}-^{\wedge}2-^{\wedge}2- \text{ при } m_a=m_y = m^{\wedge} = m^{\wedge} = m_{H}; \tag{1.178}$$

$$\chi_1, = (-^{\wedge}-) \, 5\hat{I} + [(ctg^{\wedge}_1 - (-ctgei)^2 + ctg^2e_1] \, -^{\wedge}-S?$$

$$Ws_2 = (-^{\wedge}) \, S1 + [(ctg^{\wedge}_2 - f \, ctge_2)^2 + ctg^2e_2] \, D^{\wedge} - Si \, \int \tag{1.179}$$

$$E1=180^{\circ}-(\gamma|)1+\phi|), \qquad e_2=180^{\circ}-(\wedge\gamma+\phi\gamma);$$

$$M^2_P = M^2_{s-} \setminus \frac{M^2}{} \wedge S^2; \tag{1.180}$$

$$M_a = -^{\wedge} - \mathbf{V}^2 \tag{1.182}$$

где тр — средняя квадратическая ошибка измерения угла.
Надежное определение координат пункта получится, если треуголь-
ники при базисах близки к равносторонним, но всегда должно соблю-
даться требование $B^{\wedge}B/2$.

Определение координат методом угловых засечек

О б р а т н а я о д н о к р а т н а я з а с е ч к а (рис. 13).
Даны три исходных удаленных пункта $T_i \ (x|y|) \setminus T_2 \ (JC2\hat{I}/2) \ ; \ T_3 \ (хзуз)-$
На пункте P измерены углы $P_i, \ 02-$ Определяют координаты $x, \ y$ пункта P
по формулам:

$$tg\langle i = \frac{x_{\sim}x_{\sim}}{x - x_{\chi}}; \; tg(\langle i + p!) = \frac{x_{\sim}x_{\sim}2_{\sim}}{x_{\sim} \cdot v_{\sim} \cdot \chi} - tg(g| + p_2) = \frac{x_{\sim}y_{\sim}}{x_{\chi}2} \qquad \qquad \qquad \chi - \chi_3$$

В трех последних уравнениях имеется три неизвестных $(x, \ y, \ a \ i)$. Опуская преобразования, получают дирекционный угол первого направления

$T,$

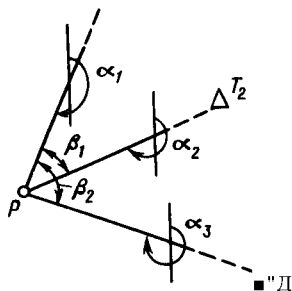


Рис. 13. Типовая схема обратной однократной засечки

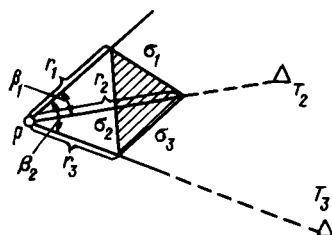


Рис. 14. Схема построения обращенного треугольника

$$\frac{(y_2 - \{l\}) \cdot \sin(\alpha_1 + (\gamma_k - \gamma_3))}{(x_2 - \text{ЛГ1}) \cdot \sin(\alpha_2 - (\gamma_3 - \alpha_1))} = \frac{|\alpha_2 - \alpha_1| \cdot (x_3 - x_2)}{n \cdot (x_1 - x_3) \cdot \sin(\alpha_2 - (\gamma_3 - \alpha_1))} \quad (1.183)$$

и координаты точки P

$$x = x_3 - \frac{(x_1 - x_3) \cdot \sin(\alpha_1 - (\gamma_3 - \alpha_1))}{\text{tg} \alpha_1 - \text{tg} \alpha_3} \quad (1.184)$$

$$x = x_1 + \frac{(x_1 - x_3) \cdot \text{tg}(\alpha_3 - \{ \gamma \} - \gamma_3)}{-1 \cdot \sin \alpha_3} \quad (1.185)$$

$$y = y_1 + (x - x_1) \cdot \alpha_1 \cdot \sin \alpha_1 \quad (1.185)$$

Контроль вычислений: $\text{tg} \alpha_2 = \frac{y - y_1}{x - x_1}$, α_2 может отличаться на 180° от

значения, вычисленного по формуле $\alpha_2 = \alpha_1 + P$, тогда α_2 и α_3 следует также изменить на 180° .

Определение пункта P бесконтрольно, так как отсутствуют избыточные измерения. Приближенная оценка точности положения точки P может быть выполнена по формуле

$$M = \frac{\sqrt{\text{тр}^2 + \text{Л}_2^2 + \text{Л}_3^2}}{\sqrt{A} \cdot \text{Л}_3} \quad (1.186)$$

где тр — средняя квадратическая ошибка измерения углов, Л_2 и Л_3 — полученные графически высоты в обращенном треугольнике на соответствующие стороны a_2 и a_3 (рис. 14). Треугольник строят по градиентам

направлений $n = \frac{1}{\sqrt{M}} \sum_{i=1}^M \frac{S_i}{S}$ в удобном масштабе, S_i — длина линии между

пунктами P и T_i .

Обратная многократная засечка. При наличии четырех и более исходных пунктов в обратной засечке возникают избыточные измерения, позволяющие выполнить уравнивание и оценку точности.

Уравнивание производят более рациональным параметрическим способом, при этом возникает только два нормальных уравнения.

Задача определения урвненных значений координат (xy) точки P решается под условием

$$[yy] = \min,$$

где $u = (v; \dots)$ — поправка из уравнивания в измеренный угол; p — урвненное значение угла; p' — измеренное его значение, полученное из разноточных измерений.

В соответствии с общей теорией метода наименьших квадратов, после дифференцирования исходных уравнений типа $\text{tg} \alpha_i = (y_i - y)/(x - x_i)$, с учетом дифференциальных уравнений связи дирекционных углов с измеренными углами $(d\beta_i = -d\alpha_i + d\alpha_i)$ устанавливают прямую зависимость неизвестных координат и измеренных углов через параметрические уравнения поправок в виде

$$v_i = (d\alpha_i + d\beta_i) \delta y_i = (d\alpha_i + d\beta_i) \delta y + l_i \quad (1.187)$$

или $v_i = A_{ix} x + B_{iy} y + l_i$,

где $(a_i + d\alpha_i) = A_{ix}$, $(b_i + d\beta_i) = B_{iy}$ — коэффициенты,

$$a_i = \frac{(b_i)}{S} \quad a_i = -p \sin \alpha_i, \quad (b_i) = p \cos \alpha_i;$$

a_i — приближенное (полученное по измеренным углам) значение дирекционного угла; S — приближенное значение расстояния от точки P до пункта T_i ; B_{ix} — поправки из уравнивания в приближенные координаты x^0 ; y^0 ($x = x^0 + \delta x$; $y = y^0 + \delta y$); l_i — свободный член, $l_i = p_i - p$, p_i — приближенное значение p — угла, введенное с целью упрощения вычислений.

Нормальные уравнения

$$\begin{aligned} [AA] Bx + [AB] By + [AI] &= 0 \\ [AB] Bx + [BB] By + [BI] &= 0 \end{aligned} \quad (1.188)$$

решают способом определителей, получают поправки

$$Bx = \frac{[AB] [BI] - [BB] [AI]}{[AA] [BB] - [AB]^2} \quad D$$

$$\frac{[AB] [AI] - [AA] [BI]}{[AA] [BB] - [AB]^2} P_y$$

Заключительный контроль:

$$p_i = p_i^0 + y_i; \quad a_i = a_i^0 - y_i; \quad (1.190)$$

где $y_i = \beta_i$, $\beta_i = P_i - P_i^0$, a_i и β_i — дирекционные углы, вычисленные из решения обратных задач по уравниваемым координатам:

$$x_i = x_i^0 + \beta_i x_i, \quad y_i = y_i^0 + \beta_i y_i. \quad (1.191)$$

Оценка точности обратной многократной засечки

$$M_P = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}; \quad (1.192)$$

$$\frac{m_x}{m_y} = \frac{m_x}{m_y} \cdot \frac{m_y}{m_x}; \quad (1.193)$$

$$\tau_0 = -d/\dot{Y}^n; \quad (1.194)$$

$$[BV] \cdot P_Y = [AV] \cdot T \quad (1.195)$$

Прямая однократная и многократная засечки. Прямые засечки выгодно применять для определения координат боковых пунктов хода с целью сгущения основы. Для привязки ходов они, как правило, не применяются.

В однократной засечке (рис. 15) координаты определяемого пункта вычисляют по формулам:

$$x_2 = (y_2 - y_1) \cdot \frac{1}{\sin \alpha_2} - x_1 \cdot \frac{1}{\sin \alpha_2}$$

$$y_2 = y_1 + (x_2 - x_1) \cdot \tan \alpha_2 \quad (1.196)$$

путем исключения y в исходных уравнениях

$$18 \gg \alpha_2; \quad (1.197)$$

(1.198)

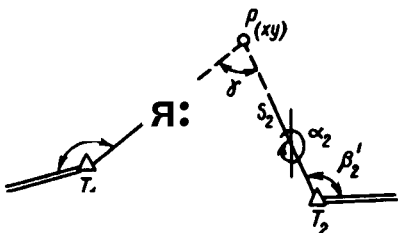


Рис. 15. Схема прямой однократной засечки

Значения дирекционных углов a_1 и a_2 , необходимых для решения, вычисляют по измеренным углам P_1 и p (см. рис. 15) и дирекционным углам сторон хода.

Среднюю квадратическую ошибку положения пункта определяют по формуле

$$M_P = \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{\sin^2 \gamma}}, \quad (1.199)$$

где γ — угол засечки.

Прямая многократная засечка имеет место, когда углы p_i измеряют на трех и более исходных пунктах. В отличие от обратной многократной засечки здесь функция связи дирекционных и измеренных углов упрощается. Дифференциальное уравнение имеет вид $c \Delta l = (l < x$. Поэтому параметрические уравнения поправок в углы имеют вид

$$(1.200)$$

им соответствуют нормальные уравнения:

$$\begin{aligned} [aa] \delta \alpha + [ab] \delta \beta - [a1] \delta \alpha_1 &= 0; \\ [aB] \delta \alpha + [bB] \delta \beta + [66] \delta \alpha_1 &= 0. \end{aligned} \quad (1.201)$$

Решая нормальные уравнения, получают поправки

$$\begin{aligned} \delta \alpha &= \frac{[a1] [bB] - [bB] [a1]}{[aa] [bB] - [aB]^2} P'_x, \\ \delta \beta &= \frac{[aB] [a1] - [aa] [bB]}{[aa] [bB] - [aB]^2} P'_y, \end{aligned} \quad (1.202)$$

и координаты

$$x = x^0 + \delta x, \quad y = y^0 + \delta y. \quad (1.203)$$

Средняя квадратическая ошибка в положении точки P равна

$$M_P = m_\beta \sqrt{\frac{1}{P_x} + \frac{1}{P_y}}, \quad (1.204)$$

где

$$P_x = \frac{D'}{[66]}, \quad P_y = \frac{D'}{[aa]} \quad (1.205)$$

При уравнении многократных засечек приближенные значения получают из решения однократных засечек.

Засечки считают удовлетворительными, если $\angle = \angle 3^\circ$, углов, использованных в однократных засечках, должна быть равна нулю с учетом ошибок округлений.

Задача Ганзена (определение координат двух точек по двум данным). На рис. 16 из определяемой точки $Я$ видно только

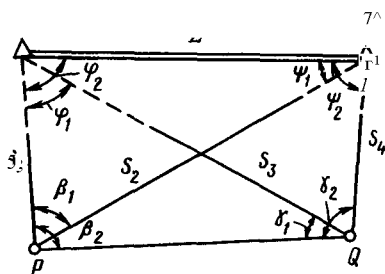


Рис. 16. Типовая схема определения положения двух пунктов по двум исходным пунктам

два исходных пункта T_1 и T_2 . Задача решается, если выбрать дополнительно пункт (3). Принимают $PC = 1$. Из треугольников по измеренным углам ($\beta_1, \beta_2, \gamma_1, \gamma_2$) углы определяют в принятом масштабе S_1, S_2, S_3, S_4 и

$L'_{cp} = \frac{L'_1 + L'_2}{2}$. Вычисляют $L = \sqrt{(y_2 - y_1)^2 + (x_2 - x_1)^2}$. Находят масштабный коэффициент $K = \frac{L}{L'_{cp}}$ и действительные стороны S_1, S_2, S_3, S_4 .

Через вычисленные углы $\phi_1, \phi_2, \psi_1, \psi_2$ определяют дирекционные углы сторон $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$, затем получают приращения координат и координаты точек P и C .

Более надежное определение точек P и C получают, если углы равны 45° и 90° соответственно. Контроль определения координат точки P осуществляют или через вторую дополнительную точку T_3 , или путем использования дополнительного исходного пункта T_4 .

Задача Ганзена применяется при привязке, когда нет четвертого исходного пункта.

1.2. ТРИАНГУЛЯЦИЯ 1 И 2 РАЗЯДОВ

1.2.1. Общие положения. Проектирование и полевые работы

В открытой и горной местности, где невозможно или нецелесообразно сгущать государственные сети методом поли тонометрии до плотности, обеспечивающей построение съемочного обоснования крупномасштабных съемок, развивают триангуляцию 1 и 2 разрядов в виде цепочки, сетей, центральных систем и вставок отдельных пунктов. Исходными пунктами триангуляции 2 разряда могут служить пункты полигонометрии и триангуляции 1 разряда. Каждый пункт триангуляции 1 и 2 разрядов определяют из треугольников, в которых измерены все углы. Триангуляция 1 и 2 разрядов должна удовлетворять требованиям инструкции [Ю], приведенным в табл. 12.

В проекте сети предусматривают места установки пунктов, их доступность при развитии съемочной основы, возможность наблюдений с земли, сохранность центров и знаков. Сплошную сеть проектируют с опорой не менее чем на три исходных пункта и две выходные (базисные)

Показатели	1 разряд	2 разряд
Длина стороны треугольника, км, не более	5	3
Минимальная допустимая величина угла, градус:		
в сплошной сети	20	20
связующего в цепочке треугольников	30	30
во вставке	30	20
Число треугольников между исходными пунктами или сторонами, не более	10	10
Минимальная длина исходной стороны, км	1	1
Предельное значение средней квадратической ошибки измерения угла, вычисленное по невязкам в треугольниках, с	5	10
Допустимая невязка в треугольнике, с	20	40
Относительная ошибка исходной (базисной) стороны, не более	1/50 000	1/20 000
Относительная ошибка определения длины стороны в слабом месте, не более	1/20 000	1/10 000

стороны. Предусматривается определение засечками выдающихся предметов (колоколен, вышек, труб и т. д.). При оценке проекта средние квадратические ошибки любых элементов сети вычисляют в общем случае по формуле

$$\hat{\sigma} = \text{цд}/\sqrt{r}. \quad (1.208)$$

Величина средней квадратической ошибки единицы веса (ц) на стадии проектирования задается заранее (из опыта подобных измерений или по инструкции). Обратный вес оцениваемого элемента ($1/P_j$) в сетях триангуляции 1 и 2 разрядов допускается вычислять по приближенным формулам.

В сети, представленной на рис. 17, среднюю квадратическую ошибку в слабом месте (связующей стороны 5) цепочки, опирающейся на две исходные базисные стороны (на четыре пункта), определяют известной приближенной формулой

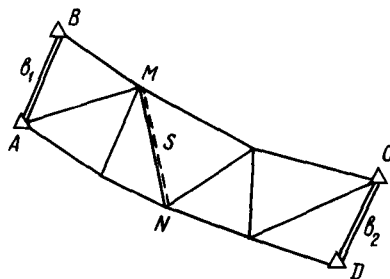


Рис. 17. Цепочка треугольников

$$\sin 51^\circ * \sin 52^\circ \quad (1.209)$$

$$r_1, + "4$$

так как

$$m_5|$$

где

$$/M. 10^6 \quad 5,; \quad (1.210)$$

5, — длина оцениваемой стороны, вычисленная от базиса с номером /,
M — модуль десятичных логарифмов.

$$5) \quad -2/3 \, m \setminus \zeta \Gamma \, \mathcal{A} \, (- /$$

$$m_1 \& b_2 e \quad (1.211)$$

где/? = $\mathfrak{E}^{\wedge} + 6| + 6_{,,} 6_B$; $6_{,,}, 6_B$ — переменны логарифмов связующих углов
A и B при изменении их на 1"; — средняя квадратическая ошибка
измерения угла.

Формула (1.209) с учетом (1.210) и (1.211) имеет вид

$$M \bullet 1 \, 0^6 \setminus \setminus \sin^2_B 5_1 + m \setminus_e 5_2$$

Для дирекционного угла оцениваемой стороны аналогично получают

$$\sin; \quad (1.213)$$

где

$$\operatorname{гс}_a = (2/3) \, m \mathcal{K}; \, m^2 = 2/3 m 1 (n - \kappa). \quad (1.214)$$

Ошибку взаимного положения пунктов M и N определяют по формуле

$$M - \quad B^2. \quad (1.215)$$

Предвычисленная точность элементов триангуляции должна обеспечить создание съёмочной основы для съёмки масштаба 1:500.

В процессе рекогносцировки выбирают наиболее выгодный вариант сети, окончательно определяют типы знаков и центров.

Углы в триангуляции 1 и 2 разрядов измеряют круговыми приемами теодолитами типов Т2 и Т6 числом приемов и соблюдением допусков, указанных в табл. 13.

Показатели	Т2		Т5	
	1 разряд	2 разряд	1 разряд	2 разряд
Число приемов	3	2	4	3
Незамыкание горизонта	8"	8"	0,2'	0,2'
Колебание значений приведенных направлений из разных приемов	8"	8"	0,2'	0,2'

. >

Центрирование теодолита и марок должно выполняться с ошибками не более 2 мм. Элементы приведения определяют графически до начала и после окончания наблюдений [10].

При наблюдениях в условиях города необходимо учитывать многочисленные местные поля рефракции, изменяющиеся в пространстве и во времени.

Лучшим временем для угловых наблюдений являются ранняя весна и осень.

Измерение длин базисных сторон в триангуляции 1 и 2 разрядов производят топографическими светодальномерами или базисным прибором с требованиями соответственно 4 класса и 1 разряда полигонометрии.

Высоты центров триангуляции 1 и 2 разрядов определяют геометрическим нивелированием (IV класса или техническим).

1.2.2. Обработка и уравнивание триангуляции 1 и 2 разрядов

Предварительная обработка наблюдений включает:

составление рабочей схемы в масштабе 1:25 000—1:50 000. На схеме подписывают названия или номера пунктов, показывают наблюдаемые направления, базисные стороны, исходные пункты;

проверку и необходимые вычисления в журналах;

составление сводок измеренных направлений (углов);

выписку исходных данных;

вычисление базисных сторон;

вычисление направлений, приведенных к центрам знаков;

вычисление невязок (угловых, полюсных, линейных, координатных),

вычисление ошибки единицы веса, сети;

вычисление рабочих координат и высот пунктов.

Средние квадратические ошибки направления (μ_n — из одного приема и M_n — из n приемов) вычисляют по формулам для одного направления

$$M'_n = \frac{\mu'}{\sqrt{n}}; \quad (1.217)$$

для станции при K направлениях

$$\frac{\sum \mu'}{K}; \quad (1.218)$$

$$(1.219)$$

Среднюю квадратическую ошибку угла m_β по невязкам ν в треугольниках вычисляют по формуле

$$m_\beta = \sqrt{\frac{[\nu^2]}{3N}}, \quad (1.220)$$

где N — число треугольников в сети.

Невязки в треугольниках не должны превышать допуски, приведенные в табл. 12.

Порядок строгого уравнивания триангуляции 1 и 2 разрядов коррелятным способом (подробно см. [24, гл. 9]): определяют число условных уравнений и виды условий. На рис. 17 в сети при уравнивании по углам возникает семь условий фигур, одно — сторон, шесть — координатных и одно — дирекционных углов, всего 15 условий. Составляют условные уравнения и уравнения весовых функций. Составляют и решают нормальные уравнения коррелят и вычисляют поправки в углы. Окончательно решают треугольники, вычисляют координаты пунктов и выполняют оценку точности уравненных элементов сети.

Порядок строгого уравнивания триангуляции 1 и 2 разрядов параметрическим способом (подробно см. [24, гл. 10]): вычисляют приближенные координаты определенных пунктов.

Определяют дирекционные углы всех сторон сети из решения обратных геодезических задач.

Составляют уравнения поправок для всех измеренных направлений.

Составляют и решают нормальные уравнения (в сети на рис. 17 будет 10 уравнений), получают поправки в координаты.

Вводят поправки в приближенные значения координат определяемых пунктов и получают окончательные координаты.

Вычисляют поправки ориентирования на станции и поправки в измеренные направления. Окончательно решают треугольники.

Вычисляют уравненные дирекционные углы, приращения координат и вторично уравненные координаты пунктов.

Выполняют оценку точности уравненных элементов сети.

Уравнивание триангуляции в настоящее время в основном выполняют на ЭВМ по стандартным программам, строго по методу наименьших квадратов [20, гл. 7]. По результатам уравнивания, кроме уравненных значений координат, вычисляют среднюю квадратическую ошибку угла (направления) из уравнивания, наибольшую и среднюю поправки угла

(направления) из уравнивания, наибольшую ошибку в положении пункта и относительную ошибку в длине наиболее слабой стороны сети.

Триангуляцию 1 и 2 разрядов на малых площадях разрешается уравнивать упрощенными способами.

1.3. НИВЕЛИРОВАНИЕ III И IV КЛАССОВ

1.3.1. Общие положения и требования

Главную высотную основу крупномасштабных съемок составляют пункты государственной нивелирной сети I, II, III и IV классов. Для построения высотного съемочного обоснования необходимой плотности и точности создают высотные сети сгущения. Нивелирование III и IV классов является основным методом сгущения государственной нивелирной сети, обеспечивающим производство топографических съемок в крупных масштабах.

Требования к построению высотных сетей сгущения определяются инструкциями [10], [11], техническими проектами, зависят от назначения, масштаба предстоящих съемок и выбранной высоты сечения рельефа горизонталями. Для городских условий и промплощадок требования приведены в табл. 14.

Нивелирные сети сгущения создают в виде отдельных ходов, полигонов и систем ходов с обязательной привязкой и не менее чем к двум исходным нивелирным реперам (маркам) высшего класса.

Высоты пунктов съемочного обоснования и высоты пунктов плановых геодезических сетей сгущения, как правило, определяют геометрическим нивелированием, которое прокладывается одиночными ходами и в виде сетей.

В городах площадью более 50 км² создают нивелирные сети II, III и IV классов. В Москве, Ленинграде и других крупных городах (пло-

Таблица 14

Показатели	Сеть сгущения в городах и на промплощадках	
	III класс	IV класс
Максимальная длина хода, км:		
между пунктами высшего класса	15	4
между узловыми пунктами	8	2
висячий (двойной) ход	—	—
Максимальное расстояние между постоянными знаками, км:		
на застроенных территориях	0,2—0,5	0,2—0,5
на незастроенных территориях	0,8—2	0,5—2
Максимальная длина визирного луча, м	100	150
Допустимая невязка, мм	$\sqrt{0}jL$	20- $\sqrt{L}$
(L — км, n — число станций в ходе)		

щадью более 500 км²) — I, II, III и IV классов. На территориях малых городов (от 25 до 50 км²) ограничиваются сетями нивелирования III и IV классов, а в городах и населенных пунктах площадью до 25 км² решено создавать сеть только IV класса.

Требования к нивелирным линиям III и IV классов, проложенным на территориях, не связанных с городами и промышленными (строительными) площадками, изложены в Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов.

1.3.2. Проектирование, рекогносцировка ходов, закладка реперов и марок

Проект составляют на карте масштаба 1:10 000, 1:25 000. На карту наносят исходные реперы и марки, пункты полигонометрии 4 класса и сетей сгущения всех разрядов. Направления ходов совмещают с дорогами, просеками, берегами рек, избегая больших уклонов, заболоченных, оползневых и других участков со слабым грунтом.

Оценку проекта хода выполняют по формуле:

$$M = \tau_{\text{кк}} \sqrt{L}, \quad (1.221)$$

где M — средняя квадратическая ошибка в конце хода до уравнивания, равная предельной ошибке в середине хода после уравнивания; $\tau_{\text{кк}}$ — средняя квадратическая ошибка хода, длиной в 1 км (для двойного хода нивелирования III класса — 3—4 мм, для одинарного хода IV класса — 10 мм, технического нивелирования — 25 мм); L — длина хода в км.

Величина M в наиболее слабом месте хода или сети не должна превышать 10 см, т. е. $1/5h$, где $h = 0,5$ м сечение рельефа горизонталями.

Оценку проекта нивелирной сети проводят по способу последовательных приближений с учетом ошибок исходных данных. Средние квадратические ошибки отдельных ходов между узловыми точками вычисляют по формуле (1.221). Пример уравнивания см. [16, § 25].

Наличие ЭВМ позволяет быстро и строго оценить качество проекта нивелирной сети. Составляют исходную матрицу N_r , числовых значений коэффициентов при неизвестных поправках в системе нормальных уравнений. Получают обратную весовую матрицу N^{-1} . Выписывают необходимые значения весовых коэффициентов $Q_{\text{кк}}$, Q_{ii} и Q^* . Устанавливают наибольший из них для репера, отметка которого определится менее надежно относительно исходного пункта. Пример строгой оценки проекта нивелирной сети, в том числе на ЭВМ, см. [25, § 23].

В процессе рекогносцировки нивелирных ходов и сетей уточняют места установки реперов и марок. Их выбирают с учетом обеспечения долговременной сохранности, удобства привязки с возможностью вертикального расположения рейки на знаке и безопасности работ. Предпочтение отдают ственным и скальным знакам, как более надежным и выгодным экономически.

1.3.3. Особенности конструкций современных точных и технических нивелиров, их основные характеристики

Наряду с выпуском известных в стране нивелиров точных: Н-3, Н-3К, технических: 2Н-10Л, Н-ЮКЛ отечественной промышленностью за последние годы разработаны и начато серийное изготовление с 1988 г. новых нивелиров: 2Н-3Л и 2Н-10КЛ. В новых приборах лучшим образом учтены главные требования к приборам современного топографо-геодезического производства: экономическая эффективность при высокой точности, удобство в работе, надежность и конкурентоспособность. В табл. 15 приведены основные технические характеристики нивелиров 2Н-3Л и 2Н-10КЛ в сравнении с нивелирами Н-3 и Н-10КЛ.

Нивелиры 2Н-3Л и 2Н-10КЛ обладают рядом технических новшеств: наличием зрительных труб прямого изображения, наличием наводящих винтов бесконечной наводки, увеличением шага и улучшением накатки головок подъемных винтов, сокращением наименьшего расстояния визирования, улучшением окраски, укладочных ящиков. В нивелире 2Н-3Л установлен лимб, в комплект прибора входят насадки, расширяющие область применения нивелира. У нивелира 2Н-10КЛ изготовлен литой кожух, уменьшающий парусность прибора и повышающий надежность нивелира в эксплуатации; удачно расположено окно круглого уровня, создающее удобство в работе наблюдателя; имеются арретир, кнопко-толкатель компенсатора и визир на кожухе; фокусирующее устройство не имеет ползунков, что существенно улучшает конструкцию прибора.

Государственные испытания показали, что по основным метрологическим характеристикам нивелиры 2Н-3Л и 2Н-10КЛ удовлетворяют требованиям ГОСТ и ТУ. По точности, эксплуатационным качествам и функциональным возможностям они превосходят Н-3 и Н-10КЛ.

Таблица 15

Основные характеристики нивелиров

Характеристики	Точные нивелиры		Характеристики	Технические нивелиры	
	2Н-3Л	Н-3		2Н-10КЛ	Н-ЮКЛ
Г	31,8	30	Г 21,5 20		
Изображение	Прямое	Обратное	Изображение	Прямое	Прямое
2 ϕ	Г16'(55')	1 ϕ 16' (55')	2 со 1 ϕ 20' 1 ϕ 20'		
$\phi_{\text{вх}}$	40 мм	40 мм			
C	1,3 (0,7) м	2 м	5 $\phi_{\text{лп}}$	0,9 (0,45) м	1,5 м
$t_{\text{к}}$	2,0 (ТУ-2,5) мм	3,0 мм	$m_{\text{к}}$	3,3 мм (ТУ-5,0)	10 мм
$m_{\text{к}}$	1,2 (Т2-1,6) мм	1,6 мм	$m_{\text{н}}$	2,0 мм (ТУ-3,2)	4 мм
$t_{\text{к}}$	10'	10'	$t_{\text{к}}$	20' 10'	
$t_{\text{ц}}$	15"	15"	Чувствительность компенсатора		
				1"	1"
			Диапазон действия	20' .	20'
Масса	1,9 кг	1,8 кг	Масса	1,5 кг	2 кг

1.3.4. Поверки и исследования нивелиров

Поверки и юстировку нивелиров выполняют в соответствии с требованиями действующей инструкции [4]. В уренных нивелирах проверяют следующие геометрические условия:

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна оси вращения нивелира.

2. Одна из нитей сетки должна быть параллельна оси вращения нивелира, а другая — ей перпендикулярна.

3. Визирная ось зрительной трубы должна быть параллельна оси цилиндрического уровня в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

В нивелирах с компенсаторами последнее условие формулируется так: визирная линия нивелира, установленного в рабочее положение, должна располагаться в вертикальной плоскости, проходящей через оптическую ось объектива, и быть горизонтальной. Другие два условия сохраняются.

До начала работ следует убедиться в устойчивости прибора, плавности хода подъемных и наводящих винтов нивелира и действии компенсатора.

При исследовании в уренных нивелирах определяют цену деления уровня (на экзаменаторе или по рейке), чувствительность уровня и качество шлифовки ампулы.

В нивелирах с компенсаторами определяют диапазон действия компенсатора, точность самоустановки линии визирования, систематические ошибки компенсатора при наклоне на Γ , нагреве на 1°C и время демпфирования.

Кроме того, в нивелирах определяют увеличение, угол поля зрения, качество изображения, коэффициент дальномера зрительной трубы и убеждаются в неизменности положения визирной оси (линии визирования) при фокусировке зрительной трубы на разноудаленные предметы.

Подробно о поверках и исследованиях нивелиров см. [31, с. 109—115].

1.3.5. Нивелирные рейки, их исследования и поверки

Рейки являются рабочими мерами при определении превышений. В нивелировании III и IV класса, как правило, применяют 3-метровые, двусторонние, шашечные рейки с сантиметровыми делениями. По ГОСТ 11158—76 они имеют обозначение РНЗ (Р-рейка, Н — нивелирная, 3 — средняя квадратическая ошибка, в мм на 1 км двойного хода).

Нивелирные рейки изготавливают из хвойных пород выдержанного дерева. Для большей прочности и жесткости нивелирные рейки в сечении делают двутавровыми с окованными концами. Одна сторона рейки имеет черную окраску с оцифровкой дециметровых делений от 0 до 30, другая сторона рейки красная, с раскраской и оцифровкой, имеющими сдвиг более 40 дм, чтобы исключить возможность получения одинаковых отсчетов по двум сторонам рейки. Нуль шкалы черной стороны рейки

должен точно совпадать с пяткой рейки — нижней плоскостью нулевого конца рейки. Плоскость пятки должна быть изготовлена строго под прямым углом к черной и красной сторонам рейки. На рейке устанавливают круглый уровень с ценой деления $7' \sim 20'$.

Рейка должна удовлетворять ряду метрологических требований и геометрических условий. Прогиб рейки допускается не более 0,5—1,0 см. Поверку выполняют с помощью натянутой нити. Ось круглого уровня на рейке должна быть параллельна осям шкал рейки. Отклонение допускается 0,1—0,2 деления уровня. Поверку выполняют наведением на ребро рейки вертикальной нити нивелира, установленного в рабочее положение, на расстоянии не менее 50—70 м от рейки. При этом рейку ставят в двух положениях (шкалой и ребром к нивелиру).

Перед началом полевых работ и по их завершению производят компарирование реек (определение длины одного метра пары реек и определение ошибок дециметровых делений) в соответствии с требованиями инструкции по нивелированию. Определяют разность высот нулей черной и красной шкал реек.

1.3.6. Основные источники ошибок в нивелировании

III и IV классов, меры по ослаблению их влияния.

Расчет точности

1. Несоблюдение главного условия (остаточная величина угла i) является следствием непостоянства температурных условий, в которых выполняется нивелирование, и ряда других факторов. Расчеты [14] показывают, что в нивелировании III класса неравенство визирных лучей на станции можно допускать не 2, а 4 м, в IV — 5—6 м. Изменение угла i по ГОСТ 10528—76 при изменении температуры на 1°C не должно превышать соответственно 0,8 и $1,5''$.

2. Оседание прибора требует соблюдения симметричной во времени программы наблюдений на станции (ЗППЗ или ПЗЗП).

3. Ошибки в превышениях конечных точек хода за оседание костылей (башмаков) можно ослабить двойным нивелированием (в прямом и обратном направлениях).

4. Ошибки за наклон реек существенно ослабляются при установке на рейках круглых уровней и их ежедневной поверкой.

5. Ошибки за кривизну Земли исключаются методом нивелирования из середины, при этом влияние ошибок за рефракцию существенно ослабляется. Для большего ослабления влияния рефракции луч не должен проходить ближе чем 0,3 (0,2 м) от поверхности земли.

6. Ошибки за длину одного метра пары реек ослабляются введением поправок по результатам компарирования реек.

7. Ослабить влияние одностороннего нагрева нивелира и штатива можно применением зонта при наблюдениях, чехла при переходах и работы по теневым сторонам улиц, а также чередованием начала наблюдений на нечетной станции — с задней, на четной — с

передней рейки. При двойном нивелировании рекомендуется прямой ход прокладывать до полудня, обратный — после полудня.

Соблюдение перечисленных мер и предосторожностей существенно ослабляет влияние систематических ошибок.

Среднюю квадратическую ошибку взгляда или среднего превышения вычисляют по эмпирическим формулам:

А. С. Чеботарева

$$m_{\text{взг}} = \sqrt{\left(0,04t + 0,16 \frac{S}{\Gamma}\right)^2 + \left(\frac{0,09\tau}{\rho} S\right)^2}, \quad (1.222)$$

Л. А. Башлавина

$$m_{\text{взг}} = \sqrt{\left(0,03t + 0,20 \frac{S}{\Gamma}\right)^2 + \left(\frac{0,1\tau}{\rho} S\right)^2}. \quad (1.223)$$

В нивелировании III и IV классов при $l=10$ мм, $S = 75$ и 100 м, $\tau=15$ и $25''$, $\Gamma = 30$ и 25 имеем, соответственно, по формулам:

Чеботарева (1.222) — 1,0 мм (III кл.), 1,5 мм (IV кл.);

Башлавина (1.223) — 1,1 мм (III кл.), 1,7 мм (IV кл.).

В одностороннем ходе длиной 1 км получим $t_{\text{км}}$ по Башлашину для III класса — 2,5 мм, для IV класса — 3,5 мм. С учетом остаточного влияния других источников ошибок справедливо принять в одностороннем ходе $m_{\text{км}}$, соответственно, равными: 5 и 7 мм. Тогда в двойном нивелировании III класса получим $t_{\text{кр}} = 3$ мм, что подтверждает величину допустимой невязки, приведенной в табл. 14.

1.3.7. Нивелирование III и IV классов

А. Нивелирование III класса. Нивелирные ходы III класса прокладывают в прямом и обратном направлениях. Разрешается прокладывать несколько секций (20—30 км) сначала в одном направлении, затем в обратном или каждую секцию нивелировать прямо и обратно. В секции и в ходе рекомендуется начинать и заканчивать нивелирование одной рейкой, т. е. иметь четное число станций.

Как правило, нивелирование III класса выполняют нивелирами Н-3, Н-3К или им равноточными приборами методом из середины по шашечным рейкам с отсчетами по средней нити.

На каждой станции соблюдают следующий порядок наблюдений: черная задняя рейка (отсчет по средней нити и по дальномерным нитям), черная передняя рейка (отсчет по средней нити и по дальномерным нитям), красная передняя рейка (отсчет по средней нити), красная задняя рейка (отсчет по средней нити). Для большей симметрии во времени на четных станциях рекомендуется начинать наблюдения с передней рейки (ПЗП). Нормальная длина визирного луча — 75 м. При хороших условиях наблюдений и увеличении зрительной трубы нивелира $35\times$ разрешается увеличивать длину визирного луча до 100 м. Неравенство расстояний до задней и передней реек не должно превышать 2 м, накопле-

ние в секции и ходе допускается не более 5 м. Визирный луч над подстилающей поверхностью должен проходить не менее 0,3 м. Рейки устанавливают по уровню на костыли или башмаки. Результаты наблюдений записывают в журнал нивелирования III класса.

На каждой станции производят контроль наблюдений. Расхождения превышений, вычисленных по средним нитям черных и красных сторон реек с учетом разности нулей пятков реек (определенной из многократных наблюдений заранее) не должны превышать 3 мм. Средний отсчет по нижней и верхней дальномерным нитям не должен отличаться от отсчета по средней нити черной стороны рейки более чем на 3 мм.

Повторные наблюдения на станции выполняют при измененной на 3—5 см высоте прибора. В журнале зарисовывают постановку рейки на каждом закладном знаке, записывают вид, номер знака и высоту места постановки относительно поверхности земли.

После каждой секции и хода в журнале оставляют место для вычисления суммы превышений и длины секции и хода. Расхождения между превышениями (прямо и обратно) не должны превышать 10 мм д/Lkm. Невязки ходов также не должны превышать 10 мм sjL_{KV} .

Б. Нивелирование IV класса. Нивелирные ходы IV класса прокладывают в одном направлении нивелирами типа Н-3, Н-3К, а также Н-10 и Н-10КЛ. Используют шашечные рейки с уровнями.

Программа наблюдений на станции: черная задняя рейка (отсчет по средней и одной из дальномерных нитей), черная передняя рейка (отсчет по средней и одной из дальномерных нитей), красная передняя (отсчет по средней нити), красная задняя (отсчет по средней нити). Нормальная длина визирного луча — 100 м, в хороших условиях разрешается — 150 м. Допуск на неравенство плеч — 5 м, на накопление в секции и ходе — 10 м. Визирный луч может проходить над подстилающей поверхностью не менее 0,2 м.

На каждой станции выполняют контроли: расхождение превышений, полученных по черной и красной сторонам (с учетом разности высот нулей пятков), не должно превышать 5 мм. Невязки в ходах не должны превышать 20 мм.

1.3.8. Уравнивание и оценка точности результатов измерений в нивелирных сетях сгущения

Уравнивание превышений и оценка точности в одиночном нивелирном ходе III класса

До уравнивания проверяют вычисления в журналах и выполняют постраничный контроль: $\sum a_3 - \sum b_3 = \sum \Delta h = 2\sum \Delta h_{cp}$, где a_3 — отсчеты по средней нити задней рейки, b_3 — отсчеты по средней нити передней рейки, $\sum \Delta h$ — сумма превышений, вычисленных по средним нитям (по черной и красной сторонам реек), $2\sum \Delta h_{cp}$ — удвоенная сумма средних превышений.

Составляют рабочую схему хода. На схему наносят исходные реперы (марки) и их отметки, все определяемые точки, выписывают измеренные

прямые и обратные превышения по каждой секции с указанием направлений стрелками и длины секций.

Вычисляют среднюю квадратическую ошибку среднего превышения на 1 км хода

$$m_{\text{км}} = \frac{m}{\sqrt{L}} \quad (1.224)$$

где $P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$ — вес i -секции; L — длина секции; $\phi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \phi_i$ — разность между прямым и обратным превышениями i -секции; n — количество секций; $\phi_{\text{доп}} < 110$ мм — допустимое значение разности. Если длины секций примерно равны между собой, то

$$\text{контрольная формула.} \quad (1.225)$$

Вычисляют невязку хода

$$W = \sum_{i=1}^n (H_B - H_A), \quad (1.226)$$

где H_B , H_A — отметки конечной и начальной точек хода. Оценивают допустимость невязки хода

$$W < 10 \text{ мм (хода)} \quad (1.227)$$

Уравнивание превышений и отметок точек хода выполняют на основе среднего весового по формуле

$$H_C = H_A + \frac{\sum_{i=1}^n H_{C_i} - \sum_{i=1}^n H_i}{n} \quad (1.228)$$

где H_C — уравненная отметка произвольной точки хода C (репер C

отстоит от начала хода на k станций), $\sum_{i=1}^n H_{C_i}$ — сумма измеренных средних превышений от начальной точки A до C , до которой выполнено k станций; n — число всех станций в ходе; b — число станций до произвольной точки хода (k может принимать значения от 1 до n).

Вес уравненного значения отметки произвольной точки хода

$$P_{H_C} \sim \frac{n}{k(n-k)} \quad (1.229)$$

В самом слабом месте хода после уравнивания (в середине хода) вес будет равен

$$P_{H_C} = 4 \quad (0.23^\circ)$$

так как $k = n/2$.

Средняя квадратическая ошибка отметки произвольного репера C после уравнивания будет равна

$M_{\dots c} = \wedge.$
 $\dots an$

Средняя квадратическая ошибка отметки репера в середине хода (в самом слабом месте) после уравнивания будет равна

$$M_{\text{max } \Gamma p} = m_{\phi} \sqrt{\frac{VO}{\min}^2}$$
(1.232)

В равнинной местности за единицу меры точности лучше брать $\tau_{\text{км}}$, но не m_h , тогда формулы (1.228)-ь (1.232) соответственно, будут иметь вид (1.233)4- (1.237)

$$H_C = H_A + Y_A \cdot h_{cA} \cdot \sqrt{L_c}$$
(1.233)

$$P \gg C = \frac{1}{L_c} (L - L_c)^2$$
<L234>

(L235)

$$M'_{Hc} = \sqrt[4]{1 \text{ км}}$$
(1.236)

$$\text{«шах»} = \frac{M \sqrt{L}}{2}$$
(1.237)

где — длина хода, в км; L_c — длина хода, в км, от начальной точки A до произвольной точки C .

Уравнивание нивелирной сети с одной узловой точкой

На рис. 18 представлена простая нивелирная сеть. A, B, C — исходные марки (реперы) с известными отметками (H_A, H_B, H_C); O — опреде-

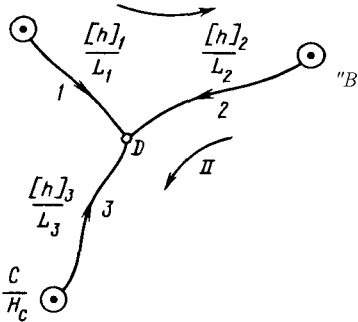


Рис. 18. Нивелирная сеть с одной узловой точкой

ляемая узловая точка; 1, 2, 3 — номера ходов; $[\gamma]$, — сумма измеренных превышений по ходу γ ; — длина хода. Требуется найти: а) уравненное значение отметки узловой точки (H_0), б) оценить точность результатов полевых измерений ($\tau_{км}$), в) оценить точность уравненного значения отметки узловой точки (M_{H_0}) и г) уравнивать отдельные ходы.

До уравнивания осуществляют контроль результатов полевых измерений по принятым полигонам / и II:

$$fh^{\wedge} = [L] - [L]2 - (Y_B - 1 \quad 0 \quad \text{мм д/} \quad \wedge \quad 1 \quad + \quad \wedge^2 \quad ; \quad (1.238)$$

$$- [L] \quad 2 - [A] \quad 3 - \{H_c - H_e\} \text{редн} = 10 \text{ мм} \cdot \wedge^2 + \wedge^3 \quad \blacksquare \quad (1.239)$$

Последовательно решаются задачи уравнивания на основе среднего весового

$$\text{а) } H_0 = H_0^{\circ} + \quad \blacksquare \quad (1.240)$$

$$\text{б) } = \quad (1.241)$$

$$\frac{M-c}{\lambda/c} \quad (1.242)$$

$$\text{в) } M_{H_B} = -2f \cdot \quad \text{ч } H_B \quad (1.243)$$

г) Далее см. 1.3.8.

В формулах приняты общеизвестные в геодезии обозначения

$$Y^{\circ} = Y_{\text{пип}}; H \setminus = H_A \setminus - [A] \quad Y_2 = Y_B + [A]_2; Y_3 = Y_C + [A]_3;$$

$$v \setminus = Y, \text{ — } Y_d; e_2 = Y_2 - Y_0^{\circ}; e_3 = Y_3 - Y^{\circ}; \quad \wedge = \zeta - 5$$

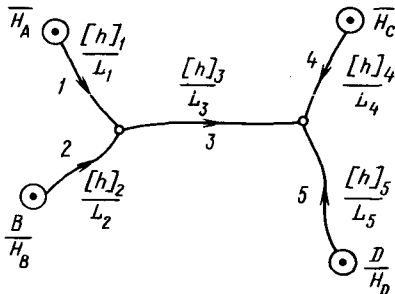
$$\beta_2^{\circ} = -m_{b2}^{\circ}; \quad {}^n P_3 = -I_{\zeta-3}^{\circ}; \quad {}^{l.)+} \zeta^2 = \overset{\wedge-3}{O}; \quad 1>, = \frac{y}{y_0} - \frac{y}{y_1}; \quad \text{гс} = \overset{\circ}{3};$$

$$\wedge = 1; = [/ >].$$

Уравнивание нивелирной сети по способу эквивалентной замены

Сущность способа эквивалентной замены заключается в том, что два или более хода заменяют одним эквивалентным ходом. Например, ходы / и 2 — ходом 1, 2 (рис. 19), тогда уравненные значения отметок узловых точек можно получить по формулам среднего весового

Рис. 19. Нивелирная сеть с двумя узловыми точками



$$H_{1,2} = \frac{H_A + 3 - P + H_4 P a + H_5 P 5}{P_{1,2} + 3 + P_4 + P_5}; \quad (1.244)$$

$$H_1 = \frac{Y_{4,5} + P_{45} + 33 + H_4 P a + H_5 P 5}{4.5 + 3 + P_4 + P_5}, \quad (1.245)$$

где

$$H_{1,2} = H_{1,2} - [L] 3; \quad P_{1,2+3} = \frac{7}{1,2+1-3}; \quad \delta_{1,2} = \frac{7}{1,2}.$$

$$\delta_1 = \delta_2^* \quad Y_1 + Y_2 \quad \delta_1 \wedge [P] \quad [L] = Y_{4,5} + [L] 3; \quad //^* = //_{1,2} + [A] 2; \quad H^* = H_C - [L] 4; \quad H_5 = H_D - [L] 5.$$

Уравненное значение отметки 1 узла вычисляют также по формуле

$$H_{1,2} = H_{1,2} - 1 > 2, \quad (1.246)$$

где

$$H_{1,2} = \frac{H_{1,2} + 3}{\delta_{1,2} + 3}; \quad H_{1,2+3} = \frac{H_{1,2} + 3}{\delta_{1,2} + 3}; \quad \delta_{1,2} = \frac{7}{1,2} + A - 3.$$

Среднюю квадратическую ошибку 1 км хода ($\sigma_{км}$) вычисляют по формулам (1.241), (1.242), где $\delta = 5$, $\epsilon = 2$. Поправки в ходы вычисляют по формулам:

$$H_5 - H_4 - H_5 \wedge Y_4 = Y_M - H_{1,2} = \frac{H_{1,2} + 3}{\delta_{1,2} + 3}; \quad H_2 = H_1 - H_2;$$

Оценка точности уравненных результатов выполняется по известным формулам

$$\delta_4 = \delta_1 \quad (1.247)$$

№ ходов	L	P	№ ходов	L	P
1	$\dot{L}_1$	$P\dot{1} = c/L_1$	4	$\dot{L}_4$	$P_4 = c/L_4$
2	$L_1 \rightarrow$	$P\dot{2} = c/L_1$	5	L_b	$P_5 = c/L_5$
1,2 + 3	$\dot{L}_{1,2} =$ $= C/P_{1,2} \cdot$ $\blacksquare \cdot L_1$	$P\dot{1,2} = c/L_{1,2} + 4,5 + 3$		$\dot{L}_{4,5} =$ $c/R_{1,b}$ $\cdot L_2$	$P_{4,5} = P_4 + P_5$
1,2 + 3	$\dot{L}_{1,2} + 3 \cdot \blacksquare$	$P\dot{1,2} + \cdot =$ $= c/L_{1,2} + 3$	4,5 + 3	$\dot{L}_{4,5} + 3$	$P_{1,2} + 1 =$ $= C/\dot{L}_{4,5} + 3$
4	$L_A \cdot \blacksquare$	$P_4 = c/L_1$	1	$L_1 \cdot \blacksquare$	$P_1 = c/L_1$
5	$\dot{L}_5 \cdot \blacksquare$	$P_5 = c/L_1$	2	$\dot{L}_2 \cdot \blacksquare$	$P_2 = c/L_2$
(1,2 + 3), 4, 5		$P_{11} = 1,2 + 3 + (4,5 + 3),$ $+ P_A + P_B$	1, 2		$P_1 = P_{4,5} + 3 +$ $+ P_1 + P_2$

$$P\dot{1} = P\dot{1,2} + i^j r P^* \cdot \dot{L}_1 - P_b \dot{L}_1 \quad P_A = \frac{c}{L_1 \cdot 4} \quad P_S = \frac{c}{L_1 \cdot 5} \quad (1.248)$$

где

$$Y_1 = P_4, 5, 3 + Y_1 + Y_2; \quad P\dot{1} = \frac{c}{L_1 \cdot 1} \quad P^* = \frac{c}{L_1 \cdot 2}$$

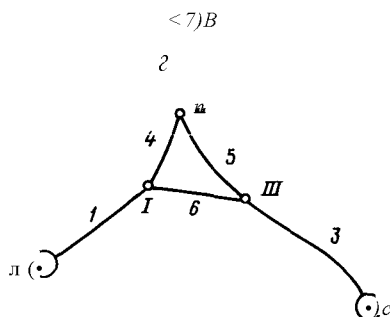
Веса уравненных значений отметок узлов можно вычислить в таблицах (Рц. Рi):
Способ строгий и удобен для простых сетей. Для больших сетей способ становится громоздким.

Уравнивание нивелирной сети по способу последовательных приближений (способ узлов)

Сеть, представленную на рис. 20, просто уравнивать по способу последовательных приближений. В первом приближении отметки узлов I, II, III получают только от ближайших исходных реперов A, B, C. $H_I = H_A + [r] i$; $H'_u = H_e - [r] r$; $H'u = H_c L - [r] z$. Во втором и всех последующих приближениях отметки узлов вычисляют по формуле весового среднего (1.240). Вычисления продолжают до тех пор, пока отметки узлов H_b, H_u, H_{u1} не будут отличаться от отметок тех же узлов из предыдущего приближения на величины пренебрегаемо малые (например, меньшие ошибок измерений).

Способ узлов строгий, универсален, причем, чем больше исходных реперов (чем жестче сеть), тем меньше требуется приближений для достижения необходимой точности. Ошибки, допущенные в процессе вычисле-

Рис. 20. Нивелирная сеть с тремя узловыми точками



ний, не окажут влияния на результат, лишь увеличится число приближений. Способ узлов удобно применять на ЭВМ. Оценку точности результатов полевых измерений ($t_{кн}$) вычисляют по тем же формулам (1.241), (1.242), где $1_{>} = //_{уравн.}$, ш- //узла из 1 пригл.-

Недостатком способа узлов является отсутствие строгих формул для вычисления весов уравненных величин. Веса вычисляют также по способу приближений по формулам В. П. Козлова. Например, во втором приближении вес отметки узла вычисляют по формуле

(К249)

где $|P|'$ —сумма весов всех ходов, сходящихся в узле (первое приближение); $P_{a,1}$, $P_{b,1}$ и т. д.— веса ходов до смежных узлов (ходы от данного узла до исходных реперов здесь не учитывают). Как правило, два-три приближения дают результаты, обеспечивающие необходимую точность.

Строгое уравнивание нивелирных сетей может быть выполнено также коррелятным или параметрическим способами.

1.3.9. Барометрическое нивелирование

Сущность и формулы барометрического нивелирования

Барометрическое нивелирование предназначается в основном для определения высот пунктов в труднодоступной местности, например, для целей геологии, геофизики, гравиметрии, где нет возможности или нецелесообразно применять геометрическое или тригонометрическое нивелирование.

Для определения разности ($//_2 - //_1$) высот точек 1 и 2 земной поверхности методом барометрического нивелирования необходимо одновременно измерить атмосферное давление и температуру в этих точках.

Единицей давления P в системе СИ принят Паскаль (Па), $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$; $100 \text{ Па} = 1 \text{ гПа}$ (ГектоПаскаль); $1 \text{ гПа} = 1 \text{ мбар} =$

$= 0,750 \text{ 062 мм рт. ст.}$; $1 \text{ мм рт. ст.} = 133 \text{ Па} = 1,33 \text{ мбар}$. Давление

760 мм рт. ст. равно 1013,25 гПа (мбар) и соответствует средней величине атмосферного давления на уровне моря в спокойном состоянии P_0 .

В основу вывода формул барометрического нивелирования положено уравнение статики атмосферы

$$-dP = \rho g dH. \quad (1.250)$$

Бесконечно малому изменению толщи атмосферы dH , при данной ее плотности ρ и ускорении силы тяжести g соответствует бесконечно малое изменение атмосферного давления $< dP$. Знак (—) показывает, что с увеличением высоты давление падает.

После подстановки в уравнение (1.250) значений ускорения силы тяжести и плотности воздуха, полученной из объединенного закона Бойля — Мариотта и Гей — Люссака для газообразных веществ, и интегрирования уравнения получают полную барометрическую формулу

$$h = H_2 - H_1 = \frac{P_0}{\rho_{0,45} g_{0,45} M} (1 - \alpha_{\tau})^{\gamma} (1 + \rho \cos 2\varphi_m) \times \times \left(1 + \frac{2H_m}{R_m}\right) \lg \frac{P_1}{P_2}, \quad (1.251)$$

где K_0 — постоянный барический коэффициент, равный

$$K_0 = \frac{P_0}{\rho_{0,45} g_{0,45} M}$$

18 401; P_0 — среднее давление на уровне моря, равное 101325 кг/см²; $\rho_{0,45}$ — плотность сухого воздуха на уровне моря и $T_0 = 273$ К ($t_0 = 0^\circ\text{C}$), равная 1,293 кг/м³; $g_{0,45}$ — ускорение силы тяжести на уровне моря, на широте $\varphi = 45^\circ$, равное 9,8062 м/с²; $M = 0,02896$ — модуль десятичных логарифмов; α — температурный коэффициент объемного расширения воздуха, равный $1/273$; $\gamma = 1 - \beta$ — отношение упругости водяных паров к плотности сухого воздуха на уровне моря, равное 0,622; β — постоянный коэффициент, равный 0,002 642; T_m — средняя температура; P_m — среднее давление водяных паров; P_{atm} — среднее атмосферное давление; φ_m — средняя широта; R — средний радиус Земли; H_m — средняя высота над уровнем моря; P_1 и P_2 — атмосферные давления, измеренные в точках 1 и 2.

В полной барометрической формуле учитывалось

$$g = g_{0,45} \left(1 - \frac{2H_m}{R_m}\right) (1 - \beta \cos 2\varphi_m); \quad (1.252)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{P_0}{\rho_{0,45} g_{0,45} M} \frac{(1 + \alpha T_m)^{\gamma}}{(1 + \gamma \frac{e_m}{P_m})}. \quad (1.253)$$

Влияние поправочных членов полной барометрической формулы на превышение не однозначно: $\alpha \frac{H_m}{R_m} \sim 1/10$; $\gamma \frac{e_m}{P_m} \sim 1/100$; $\beta \cos 2\varphi_m \sim 1/500$; $2H_m/R_m \sim 1/5000$. Учитывая, что изменением ускорения силы тяжести с

изменением H_m , и ϕ_m , по сравнению с ошибками собственно измерений (ΔH и m) часто можно пренебречь, превышение в барометрическом нивелировании надежно определяют по сокращенной барометрической формуле

$$h = K'_0 (1 + \alpha t_m) \left(1 + \gamma \frac{e_m}{P_m} \right) \lg \frac{P_1}{P_2}. \quad (1.254)$$

Формула (1.254) принята в СССР для вычисления превышений барометрическим методом, при $\varphi = 18^\circ 45'$, $\phi_m = 60^\circ$, $H_m = 500$ м. Широко применяют сокращенные барометрические формулы, где в постоянных учитываются средние значения влажности. Формула Певцова

$$h = K(\lambda + \alpha t_m) \lg \frac{P_1}{P_2} \quad (1.255)$$

и формула Бабиня

$$h = N (1 + \alpha t_m) \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}, \quad (1.256)$$

где $K = \frac{1}{\rho g M} = 18\,470$, $N = \frac{1}{\rho g} = 16\,000 = 2 \text{ км}$

Для практического использования формул Певцова и Бабиня составлены таблицы.

1. Таблицы приближенных альтитуд.

Формулу Певцова представляют в виде

$$h = (1 + \alpha t_m) \left\{ K \lg \frac{P_0}{P_2} - K \lg \frac{P_0}{P_1} \right\},$$

где $K \lg \frac{P_0}{P_2} = (H_2)$ — приближенная альтитуда точки 2,

$K \lg \frac{P_0}{P_1} = (H_1)$ — приближенная альтитуда точки 1.

Окончательный вид рабочей формулы Певцова

$$h = h' + h' \alpha t_m, \quad (1.257)$$

где $L' = (H_2 - H_1)$ — приближенное значение превышения, полученное по выбранным из таблиц приближенным альтитудам. Входными параметрами таблицы являются измеренные давления P_2 и P_1 . Поправочный член выбирается по L' и

2. Таблицы ступеней высот.

Формулу Бабиня представляют в виде

$$L = \Delta H (P_1 - P_2), \quad (1.258)$$

где ΔH — барометрическая ступень,

$$\Delta H = KM \left(1 + \alpha \frac{t_1 + t_2}{2} \right) \frac{2}{P_1 + P_2}; \quad (1.259)$$

ΔH выбирают из таблиц по t_m и P_m .

Приборы для барометрического нивелирования

В комплект приборов для барометрического нивелирования входят: барометры, термометры-Пращи и наручные часы. Влажность учитывают по данным ближайших метеостанций. Широты и высоты — по топографической карте. Давление измеряют барометрами: ртутными, пружинными, газовыми и гипсотермометрами.

Ртутные барометры могут применяться для измерения давления на постоянных станциях со средней квадратической ошибкой ($m_{\text{лр}}$) около 6 Па (0,06 мбар). В показания ртутного столба вводятся поправки за температуру прибора, за широту и высоту места и приборная поправка. Их диапазон работы от 570 до 1070 мбар.

Газовые (дифференциальные) барометры ($m_{\text{кр}} \sim 0,07$ мбар) имеют малый диапазон (~ 30 мбар), чувствительны к изменению температуры (до 3 мбар на 1°C), хрупкие, громоздки при подготовке к работе, в настоящее время не применяются.

Гипсотермометры (термобарометры), основанные на точном измерении температуры кипения воды ($P = 760 + (t - 100^\circ)/0,0375$), требуют шкалы термометра с ценой деления не более $0,05^\circ\text{C}$, чтобы получить 0,07 мбар. При более точном измерении температуры прибор может обрести новую жизнь.

Пружинные барометры имеют широкое распространение в виде анероидов, микробарометров (с анероидными блоками и спиралями).

Анероиды МД-49-2 и МД-49-А ($m_{\text{сп}} = 0,2\text{—}0,3$ мбар) имеют диапазоны измеряемого давления, соответственно, 1050—800 и 1065—500 мбар. Для получения атмосферного давления в показания анероида вводят температурную, шкаловую и добавочную поправки. Прибор легкий, удобен в работе, но обеспечивает недостаточную точность измерения давления.

Микробарометры в настоящее время являются основными приборами барометрического нивелирования. В них использован принцип преобразования незначительных поступательных движений (прогиб анероидных коробок от 0,001 до 0,005 мм) во вращательные перемещения больших величин.

В микробарометре ОМБ-1 0,5 мм вызывает поворот стрелки на 3° при точности угловой фиксации $20''$ (1 мкм поступательного перемещения анероидного блока), что обеспечивает $m_{\text{аф}} = 0,04\text{—}0,08$ мбар в диапазоне 200 мбар.

В приборах МБНЦ, МБ-63 цилиндрическая пружина с зеркалом поворачивается на 50° . 1 мкм прогиба анероидного блока соответствует развороту стрелки на $8'$. Чувствительность этих приборов значительно выше чем ОМБ-1 ($\tau_p^\wedge = 0,03$ мбар). Диапазон работы — 100 мбар, с перестановкой — 400 мбар.

Микробарометры фирмы «Аскания» б. ФРГ со спиралью Бурдона (пустотелая трубка с глиптическим сечением из берилиевой бронзы) при диапазоне работы 800 мбар обеспечивают $m_n^\wedge = 0,01$ мбар. В США

прибор со спиралью из кварца также обеспечивает $m_{Ap} = 0,01$ мбар.

В СССР изготовлены микробаронивелиры с регистрацией результатов измерений на цифровом табло и приборы с пьезорезонансным датчиком, цифровым табло и возможностью записи результатов на магнитную ленту.

Температура воздуха в барометрическом нивелировании измеряется термометром «Праш» или психрометром до $0,1^\circ\text{C}$. Время фиксируется до Г" по сверенным наручным часам.

Основные источники ошибок и точность барометрического нивелирования

Условно рассматривают три группы источников ошибок в барометрическом нивелировании.

1. Ошибки, обусловленные приближенным характером формул. Все барометрические формулы (в том числе и полная) приближенные, так как при их выводе допускали: неподвижность воздушных слоев, неизменность среднего давления на уровне моря, линейное изменение температуры воздуха с высотой, однородность химического состава воздуха и подчинение воздуха законам идеального газа. В реальной атмосфере ни одно из перечисленных условий не соблюдается, т. е. постоянные K_0 , K и N — не постоянны. Если влажность учитывают с погрешностью $m_e = 1$ мм рт. ст., то ошибка в коэффициентах достигает 6 единиц (1/2000).

2. Ошибки приборов и личные.

Воспользуемся формулой Бабиня в виде

$$h = \frac{N}{2} \left(1 + \alpha t_{cp} \right) \frac{\Delta p}{P_{cp}}, \quad (1.260)$$

где

$$\Delta P = P_1 - P_2; \quad P_{cp} = \frac{P_1 + P_2}{2}$$

Принимая α , N и P_{cp} как независимо изменяемые величины, после логарифмирования, дифференцирования и перехода к средним квадратическим ошибкам получим:

$$m_h^2 = (h \alpha m_t)^2 + \left(\frac{h m_{\Delta p}}{\Delta P} \right)^2 + \left(\frac{h m_{P_{cp}}}{P_{cp}} \right)^2, \quad (1.261)$$

где $1 + \alpha t_{cp} \sim 1$, так как αt_{cp} в 10 раз меньше 1.

Пример. При $h = 115$ м (всхолмленная местность), $P = 13$ мбар, $m_t = 1^\circ\text{C}$, $m_{Ap} = 0,05$ мбар, $m_p = 1$ мбар, $P_{cp} = 1000$ мбар, (микробарометр) имеем: $m_h = (0,42)^2 + (0,414)^2 + (0,12)^2$ или $m_h = 0,62$ м. Для aneroid — $m_h = 1,5$ м.

3. Ошибки, вызванные неравновесием атмосферы.

Идеального состояния атмосферы нет. Атмосферное давление изменяется во времени и в пространстве. Главная причина изменения давления — солнечная радиация, неравномерный нагрев земной поверхности

Солнцем. Изменение давления в одной и той же точке за 3 часа называют барометрической тенденцией. Нормальная величина барометрической тенденции составляет 0,1—0,3 мбар за 3 часа, но может достигать 1—3 мбар. Для уменьшения влияния барометрической тенденции на результаты барометрического нивелирования целесообразно наблюдать давления в двух точках, превышение между которыми определяют, производить одновременно или организовать наблюдение за изменением давления во времени, а затем вводить поправки за время.

Изменение давления в пространстве (на 1° дуги по меридиану, т. е. на 111 км) называется барическим градиентом. Барический градиент (наклон изобарических поверхностей относительно уровня) считается нормальным, если его величина составляет 0,01—0,03 мбар на 1 км. Влияние барического градиента на определяемое превышение можно уменьшить, если ограничивать до 15 км длины ходов, прокладывать ходы между пунктами с известными высотами, перпендикулярно изобарам и в период спокойного барического поля (пасмурные дни, период антициклона). Используя синоптические карты, можно вводить поправки в измеренную разность давлений в двух точках местности.

Непостоянство температурного градиента (особенно по вертикали) также вносит ошибки в измеряемые давления. Лучшая мера борьбы с этим источником ошибок — точное интегральное знание температуры между точками, в которых производят измерения. Уменьшение влияния ошибок достигают: измерением температуры воздуха в определяемых точках на высоте не ближе 2 м от поверхности земли, ограничением превышений до 250 м, наблюдениями в утренние и вечерние часы, когда изменения температуры почти нет.

Для борьбы с перечисленными источниками ошибок предложены различные методы баронивелирования.

Способы барометрического нивелирования

1. Ходы с опорой на временную барометрическую станцию. Возможны два случая: а) станцию выбирают в центре площади участка, подлежащего съемке, лучше на репере. От нее прокладывают замкнутые ходы. Для определения высот точек ходов с точностью m_n — 0,5 м наблюдения на станции ведут через 10—15 мин, удаление точек ходов допускают на 3—4 км. При $m_n = 1,0$ м, соответственно, наблюдают на станции через 20—30 мин, а точки могут быть удалены на 6—8 км; б) станцию выбирают в середине разомкнутого хода.

2. Способ передвижной станции. Применяется при предложении протяженных ходов (до 30 км). Комплекты приборов сравнивают на начальной точке хода. В качестве временной станции поочередно являются первый и второй наблюдатели. Другой наблюдатель движется по точкам хода, т. е. прокладывается двойной ход в одном направлении.

3. Способ срочных отсчетов. На обширных площадях с большой разностью высот (в горах), где располагаются несколько метеостанций, организуют временные барометрические станции. На метеостан-

циях ведут наблюдения в 3, 9, 15, 21 час. На определяемых точках давление измеряют в часы срочных отсчетов (по договоренности, например, через 2 часа). Превышение до искомых точек определяют относительно 3—4 временных станций, установленных на реперах.

Для дальнейшего повышения точности определения высот методом барометрического нивелирования (до 0,2—0,3 м) необходимо: повысить точность определения средней интегральной температуры между точками до 0,5—0,3 °С; уменьшить инструментальную ошибку определения разности давлений в двух точках до 0,015 мб; организовать на временных барометрических станциях непрерывные наблюдения за изменением давления и температуры; не допускать $m_e \sim 0,7$ —1,0 мбар; прокладывать ходы с удаленными точками от станции не более 2—3 км и превышениями не более 200 м в благоприятных условиях барического поля.

2. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

2.1. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

2.1.1. Топографические карты и планы

Топографической картой называют построенное в картографической проекции, уменьшенное, обобщенное изображение земной поверхности, позволяющее определять как плановое, так и высотное положение точек. Государственные топографические карты СССР издаются в масштабах 1:1 000 000 и крупнее.

Топографический план — картографическое изображение на плоскости в ортогональной проекции в крупном масштабе ограниченного участка местности, в пределах которого кривизна уровенной поверхности не учитывается.

При создании топографических карт применяется конформная проекция Гаусса эллипсоида на плоскости. Основные свойства конформного изображения заключаются в том, что бесконечно малый контур на эллипсоиде изображают подобным ему на плоскости; угловые искажения отсутствуют; масштаб изображения в каждой точке зависит только от ее координат и не зависит от направления.

Высоты точек при создании топографических карт и планов определяют в абсолютной Балтийской системе высот 1977 года от нуля Кронштадского футштока. При использовании проекции Гаусса земной эллипсоид разделяется на зоны меридианами. Каждая зона представляет собой сфероидический двугольник, построенный от одного полюса до другого и ограниченный меридианами с постоянной разностью долгот для всей изображаемой территории. Протяженность зон по долготе для создания

топографических карт в масштабах 1:10 000 и мельче в СССР принимают равной 6° , а для топографических карт масштабов 1:5000 и 1:2000 она равна 3° (трехградусная зона). Топографические планы в масштабах 1:1000 и 1:500 всегда создаются в ортогональной проекции. На сравнительно небольших участках земной поверхности при создании топографических планов масштабов 1:5000 и 1:2000 может также применяться ортогональная проекция.

Обозначение отдельных листов топографических карт и планов по определенной системе называют номенклатурой. Ее получают на основе разграфки (разделения) соответствующих листов топографических карт и планов по определенной системе.

В основу образования номенклатуры топографических карт положен лист государственной топографической карты масштаба 1:1000 000, который получают путем разграфки меридианами и параллелями следующим образом.

Проводят параллели по широте через 4° , начиная от экватора и к северу от него (на территории СССР), меридианы по долготе через 6° , начиная от Гринвичского меридиана и к востоку от него. Части земной поверхности, полученные в результате такой разграфки, изображают на листах топографической карты масштаба 1:1 000 000. Листы топографических карт, заключенные между смежными параллелями, составляют ряды или пояса, а между смежными меридианами — колонны (рис. 21).

Пояса обозначают прописными буквами латинского алфавита *A, B, ..., V, Z*, колонны обозначают арабскими цифрами 1, 2, ..., 60, начиная от меридиана с долготой 180° в направлении с запада на восток.

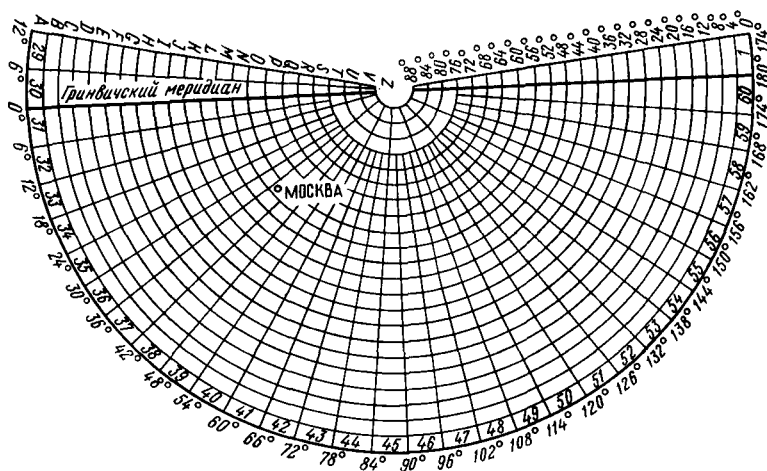


Рис. 21. Схема разграфки листов карт масштаба 1 : 1 000 000

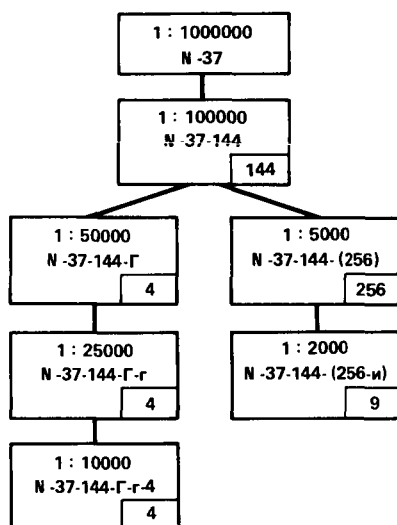
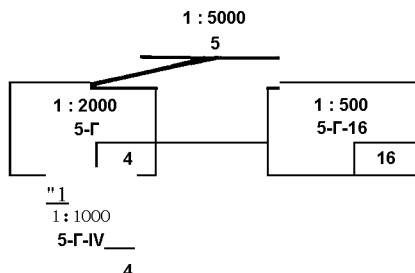


Рис. 22. Схема образования номенклатуры листов топографических карт

Рис. 23. Схема образования номенклатуры листов топографических планов



Номенклатура листа топографической карты масштаба 1:1 000 000 образуется из обозначения пояса и номера колонны, например, N-37.

Для получения листа топографической карты масштаба 1:100 000 лист топографической карты масштаба 1:1 000 000 делят на 144 части, которые обозначают арабскими цифрами от 1 до 144.

В основу номенклатуры листов топографических карт более крупных масштабов положена номенклатура листа топографической карты масштаба 1:100 000. Образование номенклатуры листов топографических карт соответствующих масштабов показано схематично на рис. 22. В нижнем правом углу каждого прямоугольника на этой схеме указано число листов топографических карт, соответствующее листу топографической карты более мелкого масштаба, а внутри него приведены номенклатура последнего листа топографической карты и ее масштаба.

Размеры листов топографических карт, показанных на рис. 22, представлены в табл. 16.

Таблица 16

Масштаб топографической карты	Размер листа по		Запись номенклатуры
	широте	долготе	
1 1 000 000	4°	6°	Ы-37
1 100 000	20'	30'	Л/-37-144
1 50 000	10'	15'	N-37-144-Г
1 25 000	5'	7'30"	Д'-37-144-Г-2
1 10 000	2'30"	3'45"	Л'-37-144-Г-2-4
1 5000	1' 15"	1 '52,5"	Л/-37-144-(256)
1 2000	25"	37,5"	№-37-144-(256-и)

На топографических картах показывают линейную рамку, т. е. выходы меридианов и параллелей через определенное число минут, и сетку плоских прямоугольных координат Гаусса. Линии сетки плоских прямоугольных координат проводят через 10 см на листах топографических карт масштабов 1:10 000 и крупнее, на листах топографических карт масштаба 1:25 000 — через 4 см.

При создании топографических планов на застроенных территориях городов и сельских населенных мест на участках площадью менее 20 км², а при мелиоративном строительстве более 20 км² применяют прямоугольную разграфку с размерами рамок для планов масштаба 1:5000 — 40X40 см, а для масштабов 1:2000, 1:1000 и 1:500 — 50X50 см.

В основу разграфки для образования номенклатуры топографических планов принимают лист плана масштаба 1:5000. Номенклатурой плана масштаба 1:5000 является ее номер, обозначаемый арабской цифрой. Образование номенклатуры листов топографических планов соответствующих масштабов схематично показано на рис. 23. Смысловое содержание обозначений на этом рисунке соответствует пояснениям, сделанным к рис. 22.

2.1.2. Методы создания топографических карт и планов

Топографические карты и планы создают при помощи топографических съемок или (кроме планов масштаба 1:500) по материалам топографических съемок, как правило, более крупных масштабов. Топографическая съемка (съемка) представляет комплекс работ, выполняемых с целью получения съемочного оригинала топографической карты или плана, а также топографической информации в другой форме.

Топографические съемки выполняются следующими методами: стереотопографическим, комбинированным аэрофототопографическим, мензуальным, наземным фототопографическим (фототопографическая съемка), тахеометрическим и теодолитным.

Основными методами съемки являются стереотопографический и комбинированный.

В отдельных случаях, когда применение аэрофотосъемки затруднено или экономически нецелесообразно, применяют мензуальную, тахеометрическую или теодолитную съемки. Теодолитную съемку проводят главным образом на застроенной территории. Она состоит из съемки деталей фасадов зданий, проездов и внутриквартальных территорий, а также подземных коммуникаций. Для получения высот характерных точек местности применяют нивелирование застроенных территорий. При составлении проектов вертикальной планировки участков в мелиоративном строительстве используют высоты точек, полученные геометрическим (техническим) нивелированием вершин квадратов или других геометрических фигур, обозначенных соответствующим образом на местности.

Топографические съемки на территории СССР выполняют в масштабах 1:25 000, 1:10 000, 1:5 000, 1:2 000, 1:1000 и 1:500. Лица, занятые проведением топографических съемок обязаны пройти инструктаж по

Характеристика рельефа и максимально преобладающие углы наклона	Масштаб съемки				
	1 : 25 000	1 : 10 000	1 : 5000	1 : 2000	1 : 1000 1 : 500
	Высоты сечения рельефа, м				
Равнинный с углами наклона до 2°	2,5	1(2)	1(0,5)	0,5(1)	0,5
Всхолмленный с углами наклона до 4°	2,5—5	2(2,5)	2(1)	1	0,5
Пересеченный с углами наклона до 6°	5	5(2,5)	2(5)	2(1)	0,5
Горный и предгорный с углами наклона более 6°	5—10	5	5	2	1

Пр и м е ч а н и е . В скобках показаны неосновные высоты сечения рельефа, допускаемые при особых условиях, обоснованных в технических проектах.

технике безопасности применительно к условиям местности и объектам съемки.

Высоту сечения на топографических планах устанавливают в соответствии с данными, приведенными в табл. 17 [23].

В особых случаях при спланированных поверхностях равнинного рельефа может применяться высота сечения рельефа 0,25 м, которая должна быть обоснована в техническом проекте (программе) работ.

Для изображения характерных деталей рельефа, не выражающихся горизонталями основного сечения, применяют дополнительные (полугоризонтали) и вспомогательные горизонтالي.

Полугоризонтالي обязательно проводят на участках, где расстояние между основными горизонталями превышает 2,5 см.

Плотность пунктов геодезической сети зависит от масштаба топографической съемки и высоты сечения рельефа, топографических условий местности, а также задач обеспечения топографо-геодезическими данными мелиоративных, строительных, землеустроительных и других работ как на стадиях изысканий и строительства, так и при дальнейшей эксплуатации инженерных сооружений. Средняя плотность пунктов государственной плановой геодезической сети (триангуляции и полигонометрии) при съемках в масштабах 1:5000 и 1:2000 должна соответственно составлять: один пункт на 20—30 и 5—15 км². Один репер нивелирования I — IV классов для этих же масштабов съемки должен соответственно приходиться на 10—15 и 5—7 км². На застроенных территориях городов средняя плотность пунктов государственной геодезической сети должна быть не менее 1 пункта на 5 км². Плотность пунктов геодезических сетей сгущения зависит от дальнейшего использования результатов топографических съемок и топографо-геодезических данных.

Например, для обеспечения инженерных изысканий и строительства в городах и их промышленных объектах плотность пунктов геодезических сетей может быть доведена до 8 пунктов на 1 км². Для решения других

задач, как съемка в масштабе 1:5000 вне населенного пункта, плотность пунктов геодезических сетей сгущения должна быть не менее чем 1 пункт на 7—10 км², а для съемок в масштабе 1:2000 — до 1 пункта на 2 км².

Результаты топографических съемок могут быть представлены в графической (топографические карты и планы) и цифровой (цифровые модели местности) формах. Цифровая модель местности (ЦММ) представляет собой множество, элементами которого являются топографо-геодезическая информация о местности и правила обращения с ней.

Топографические съемки в зависимости от назначения могут быть основными и специализированными.

На топографические карты и планы, полученные в результате основных съемок, наносятся все предметы и участки местности, выражающиеся в принятом масштабе, и предусмотренные действующими таблицами условных знаков с высотой сечения рельефа, показанной в табл. 17.

При специализированных съемках для решения конкретных задач отдельной отрасли или группы отраслей народного хозяйства разрешается наносить на топографические карты и планы не все предметы и участки местности, а лишь необходимые для решения конкретных задач проектирования, земельного или городского кадастра, учета земель и др. Технические требования при создании специализированных топографических планов согласовываются с ГУГК СССР и излагаются в ведомственных нормативных документах.

При большой контурной нагрузке, например, густой сети подземных коммуникаций и поверхностных трубопроводов различного назначения, топографические планы могут составлять раздельно (расчлененно по элементам), раздельно по видам прокладок на двух или трех совмещаемых между собой листах (рекомендуется соединять их штифтами).

Чертежная основа топографической съемки должна иметь малую деформацию, изготовленная из матированного пластика или чертежной бумаги высокого качества, наклеенной на алюминий или авиационную фанеру. Топографические планы в зависимости от их назначения размножают путем непосредственного изготовления копий с полевых (составительских) оригиналов или подготавливают к изданию методом гравирования или черчения для размножения средствами офсетной печати.

2.1.3. Назначение топографических карт и планов

Топографические карты масштабов 1:25 000 и 1:10 000 применяют в сельском и лесном хозяйстве; при разведке полезных ископаемых; разработке газовых и нефтяных месторождений; в мелиоративном, гидротехническом, сельском и городском строительстве; при составлении проектов внутрихозяйственного и межхозяйственного землеустройства, земельного кадастре и количественном учете земель землепользователей и др.

Топографические карты и планы масштаба 1:5000 предназначаются для решения разнообразных проектно-планировочных задач в городском,

транспортном, гидротехническом, мелиоративном, сельском строительстве; при составлении технических проектов промышленных и горнодобывающих предприятий; при детальной разведке металлических и неметаллических полезных ископаемых; при государственном земельном кадастре и землеустройстве колхозов и совхозов в условиях мелкой контурности и интенсивного ведения сельского хозяйства; при составлении технических проектов орошения и осушения участков площадью менее 15 км²; для проектирования гидроузлов; для определения на местности проектного контура водохранилища на застроенной и землеустроенной территориях; для проектирования железных, автомобильных дорог и др.

Топографические планы масштаба 1:2000 предназначаются для разработки генеральных планов малых городов, поселков городского типа и сельских населенных мест; технических проектов гидротехнического строительства, орошения и осушения, строительства плотин, трасс каналов и напорных трубопроводов, проходящих в сложных топографических условиях местности; разработки рабочих чертежей наносных и компрессорных станций, переходов через крупные реки и др. Топографические планы масштабов 1:5000 и 1:2000 могут составляться для отображения морей, океанов и внутренних водоемов.

Топографические планы масштаба 1:1000 используются в основном для составления технических проектов и рабочих чертежей застройки на свободных территориях или на территориях с малоэтажной застройкой; проектов вертикальной планировки и проектов озеленения; детальных разведок и подсчета запасов полезных ископаемых; составления проектов канализации и теплогазоснабжения в населенных пунктах с плотной застройкой; разработки рабочих чертежей при проектировании и строительстве горнодобывающих и обогатительных предприятий и др.

Топографические планы масштаба 1:500 предназначаются для составления исполнительного генерального плана и рабочих чертежей участка строительства с многоэтажной капитальной застройкой с густой сетью инженерных подземных коммуникаций, для решения вертикальной планировки, привязки зданий и сооружений, составления планов подземных коммуникаций и др.

Необходимость топографической съемки в масштабе 1:500 должна обосновываться соответствующими инженерными расчетами.

2.1.4. Содержание и точность топографических карт и планов

Съемке и отображению на топографических картах и планах подлежат все объекты и участки местности, предусмотренные для конкретных масштабов действующими условными знаками.

Например, на планах масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 изображаются:

опорные пункты: пункты триангуляции, полигонометрии, трилатерации, реперы нивелирования, пункты съемочного обоснования, закрепленные на местности. Эти объекты наносятся на планы по координатам:

на незастроенных территориях — все опорные пункты с их высотами, а на застроенных — в зависимости от нагрузки плана и его масштаба;

столбы телефонных, телеграфных, электрических проводов; покрытие проезжих частей улиц с указанием материала покрытия; канавы, лотки, решетки дождеприемников, водостока, выходы подземных коммуникаций, люки смотровых колодцев водопровода, канализации, теплосети, газа, водостока, телеграфной сети и другие выходы подземных инженерных сетей. Указанные элементы снимаются и показываются в масштабах 1:500—1:2000, а в масштабе 1:5000 — на участках, используемых для сельскохозяйственного строительства и магистральных подземных коммуникаций;

промышленные объекты: комплексы строений и сооружений заводов, фабрик, электростанций, шахт, карьеров, торфоразработок и т. д.; нефтяные вышки, цистерны, склады добытых ископаемых;

гидрография: береговые линии морей, озер, рек, ручьев с указанием на плане отметок урезов воды рек, ручьев и с датой их определения, площади разливов, приливно-отливные полосы, берега различных типов и т. д.;

объекты гидротехнические и водного транспорта: каналы, канавы, водоводы и водораспределительные устройства, плотины, набережные, пристани, молы, маяки, навигационные знаки и др.;

объекты водоснабжения: колодцы, колонки, резервуары, отстойники, естественные источники и др.;

линии электропередачи и связи: телефон, телеграф и электросети. Снимаются и показываются в масштабах 1:500—1:2000 все опоры и поворотные столбы, а в масштабе 1:5000 — только опоры и поворотные столбы этих линий;

линии подземных коммуникаций: водопровод, канализация, газификация, теплосети, электрокабели и др.;

растительность древесная, кустарниковая, травяная; участки, занятые выгоном, лугом, питомниками, садами, виноградниками, ягодниками, плантациями технических культур, рисовыми полями и др. При съемке леса определяют и показывают на плане породу леса, среднюю высоту деревьев, толщину их на высоте груди; выделяют контуры вырубок, гарей, поляны сельскохозяйственных угодий, находящихся среди леса. Наименьшая площадь контуров, изображаемая на планах для хозяйственно-ценных участков, равна 20 мм², а для участков, не имеющих хозяйственного значения — 50 мм²;

границы: политико-административные, городские черты, полосы отвода железных, шоссейных и грунтовых дорог, территории энергетических установок общего пользования, высоковольтных передач, территории радиостанций, защитных зон и зон санитарной охраны и др.

Рельеф местности изображают на топографических планах горизонталями, высотами и условными знаками.

Средние погрешности (ошибки) в положении на плане предметов и контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших точек съемочного обоснования не должны превышать 0,5 мм, а в горных

районах — 0,7 мм. На территориях с капитальной и многоэтажной застройкой погрешности во взаимном положении на плане близлежащих важных контуров (капитальных сооружений, зданий и т. п.) не должны превышать 0,4 мм.

Средние погрешности съемки рельефа относительно ближайших точек геодезического обоснования не должны превышать по высоте:

1/4 принятой высоты сечения рельефа при углах наклона до 2° ;

1/3 — при углах наклона $2-6^\circ$ для планов в масштабах 1:5000 и 1:2000 и при углах наклона до 10° для планов в масштабах 1:1000 и 1:500;

1/3 — при сечении рельефа через 0,5 м на планах масштаба 1:5000 и 1:2000.

На лесных участках местности допуски увеличиваются в 1,5 раза. В районах с углами наклона свыше 6° для планов в масштабах 1:5000 и 1:2000 и с углами наклона свыше 10° для планов в масштабах 1:1000 и 1:500 число горизонталей должно соответствовать разности высот, определенных на перегибах скатов, а средние погрешности высот, определенных на характерных точках рельефа, не должны превышать 1/3 принятой высоты сечения рельефа.

Точность топографических планов оценивается по расхождениям положения предметов и контуров местности, а также в высотах точек, рассчитанных по горизонталям, с данными контрольных полевых измерений.

Предельные расхождения не должны превышать удвоенных значений средних погрешностей, приведенных выше, а количество этих предельных расхождений не должно быть более 10 % общего числа контрольных измерений.

2.1.5. Технический проект топографо-геодезических работ

Технический проект (программа) определяет основное содержание, объем, сметную стоимость, сроки и другие показатели топографо-геодезических работ на объекте съемки.

Его составлению должен предшествовать сбор и анализ имеющихся топографо-геодезических материалов, на основе которого выявляют топографо-геодезическую изученность объекта съемки, работы, подлежащие использованию, и те, которые не могут быть использованы в процессе съемки и др. Необходимые материалы и данные получают в установленном порядке в территориальных инспекциях государственного геодезического надзора ГУГК СССР, в управлении по делам строительства и архитектуры Советов Министров АССР, исполкомах Советов народных депутатов (краевых, областных, районных).

Технический проект состоит из текстовой, графической и сметных частей. В текстовой части проекта освещаются:

целевое назначение топографо-геодезических работ;

краткая физико-географическая характеристика объекта съемки и сведения о его топографо-геодезической изученности;

обоснование выбора масштабов и высот сечения рельефа топографических съемок;

способы построения плановых и высотных геодезических сетей с учетом физико-географических условий местности и имеющихся исходных данных геодезических пунктов;

организация и сроки выполнения работ, мероприятия по технике безопасности и охране труда и др.

Графическая часть проекта содержит схемы и картографические материалы, на которых отображается участок съемки; проекты планово-высотной геодезической сети, разграфку листов планов и др.

Необходимые затраты на выполнение топографо-геодезических работ освещают в сметной части проекта.

2.1.6. Обоснование выбора масштабов и высот сечения рельефа топографических съемок

Под обоснованием выбора масштабов и высот сечения рельефа (параметров) съемок можно понимать операцию, т. е. любое мероприятие (или систему действий), направленную на предварительное количественное обоснование оптимального решения названной задачи. Окончательный выбор параметров топографической съемки делает ответственное лицо (или группа лиц), которым предоставлено право такого выбора. При окончательном выборе специалистами могут учитываться наряду с рекомендациями, вытекающими из математического расчета, еще ряд соображений (количественного и качественного характера), которые не были ими учтены.

Поэтому основная задача по обоснованию выбора масштаба и высоты сечения рельефа топографической съемки заключается в подготовке количественных данных, рекомендаций, облегчающих специалисту принятие решения.

Количественные данные (характеристики) можно получить с использованием того или иного математического аппарата в зависимости от принятой модели местности. Применение математического аппарата предполагает построение соответствующих критериев для обоснования выбора параметров топографической съемки. Без соответствующих расчетов обоснование выбора параметров съемки может быть сделано на основе принятых рекомендаций (основных положений), учитывающих назначение топографических карт и планов, характера топографических условий местности (ситуации и рельефа), технико-экономических перспектив развития картографируемой территории и т. п.

Критерии обоснования выбора масштаба топографической съемки

Критерий избыточности информации (минимальных затрат на съемку). Этот критерий предполагает представление информационной модели местности в виде стохастической информационной модели контуров [22].

Критерий избыточности информации имеет следующий вид

$$\min_{G < 0} G = \min \left(1 - \frac{R_0}{R_M} \right), \quad (2.1)$$

где O — избыточность информации; p_a — характеристика информативности топографической карты или плана (дв. ед./га), под которой понимают достаточное для потребителя количество информации для расчета конкретной проектно-планировочной задачи; Y_M — характеристика масштабообразующей информационной емкости топографической карты или плана (дв. ед./га), под которой понимают количество информации, соответствующее максимальной нагрузке карты без потери ее читаемости.

Отношение

$$Q = \frac{R_0}{R_M} \quad (2.2)$$

называется информативной плотностью топографического плана (карты).

При $Q > 1$ считают, что информативная плотность генератива, как информационная емкость плана из-за своей недостаточности не позволяет решать задачи проектирования, т. е. многие необходимые объекты местности не выражаются в принятом масштабе плана.

Значения масштабообразующей информационной емкости R_M для топографических планов и карт в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000 и 1:10 000 соответственно составляют 500, 330, 110, 30 и 10 дв. ед./га.

Характеристику информативности R_0 можно вычислить по формуле

$$R_0 = KN + 1,2n \left(\frac{\text{дв. ед.}}{\text{га}} \right), \quad (2.3)$$

где N и n — соответственно среднее число участков и предметов местности, которое требуется отобразить масштабными и внес масштабными условными знаками для решения проектно-планировочной задачи на определенной стадии проектирования; K — число двоичных единиц, зависящее от минимальной площади участка P (м²), который требуется отобразить в плане или карте, исходя из информационных потребностей специалистов, равное 3,0, 2,7, 2,5, 2,3 и 1,8 дв. ед. соответственно для площадей 1, 5, 10, 20 и 100 м².

Как видно при расчетах критерия избыточности информации необходимо иметь количественные данные о среднем числе отображаемых объектов N и n и площадь минимального из них. Эти данные, зависящие от назначения топографических планов и карт, характера топографических условий местности и других, в том числе экономических факторов, могут быть отражены в техническом проекте топографо-геодезических работ на основе материалов, полученных в управлениях по делам строительства и архитектуры и других соответствующих организаций. Для этих же целей могут быть использованы данные полевого обследования двух-трех типовых участков, объективно характеризующие топографические условия объекта съемки.

Названия участков и предметов местности, которые нужно отобразить на плане для решения проектно-планировочных задач реконструкции населенного пункта

Среднее число участков и предметов местности на 1 га

А. Участки, отображаемые в масштабе плана

Жилые здания	10
Хозяйственные капитальные постройки	5
Административные и другие здания	2
Отдельные участки (площади, скверы и т. п.)	1
Другие участки	2

$$N = 20$$

Б. Объекты, отображаемые в немасштабными условными знаками

Выходы сетей инженерного оборудования территории	6
Столбы линий связи, электропередач	5
Газорегулирующие пункты	2
Высоты точек	5
Другие объекты	5

$$я = 23$$

В качестве примера приведено обоснование выбора масштаба топографической съемки для реконструкции застроенной территории (табл. 18).

Приняв $P_{\text{вл}} = 20 \text{ м}^2$ (площадь капитальной хозяйственной постройки), рассчитаем характеристику информативности

$$I_{\text{а}} = 2,3 \times 20 + 1,2 \times 23 = 73,6 \text{ кв. м на } 1 \text{ га}$$

Результаты расчетов избыточности информации приведены в табл. 19.

По минимуму избыточности (13%) из этой таблицы определяем масштаб топографической съемки для реконструкции населенного пункта — 1:2000.

Таблица 19

Масштабы топографических съемок	Информационная емкость о дв. ед K_M га	Информативность о дв. ед НОСТЬ K_0 га	Информативная плотность K_M	Избыточность 0, %
1:500	500	73,6	0,15	85
1:1000	330	73,6	0,22	78
1:2000	110	73,6	0,67	13
1:5000	30	73,6	Генеративна	—
1:10 000	10	73,6	»	—

Говоря о применении на практике критерия избыточности информации, отметим, что он может быть использован для иных информационных моделей местности. В этом случае для каждой конкретной модели должны быть обоснованы приемы расчетов информационной емкости и информативности [7], при составлении технических проектов топографо-геодезических работ.

Критерий допустимой ошибки определения расстояний по плану. Если известна допустимая средняя квадратическая ошибка измерения расстояний по плану m_0 , выраженная в метрах, то обоснование выбора масштаба топографической съемки можно сделать, исходя из минимальных затрат на ее производство, на основании условия

$$M_0 < 14_p,$$

$$(2.4)$$

где M_p и M_0 — соответственно знаменатели расчетного и ближайшего к расчетному знаменателей масштабов топографических съемок.

Расчетный знаменатель M_p можно вычислить по формуле $M_p = 9000 \text{ тол} / m_0$, при $m_0 < 0,6$ м и $УИ_p = 3300$ то, при $m_0 > 0,6$ м.

Величина погрешности m_0 определяется назначением топографического плана, стадией проектно-планировочных работ, характеристикой топографических условий местности (застроенная или незастроенная территория, наличие сетей инженерных подземных коммуникаций и пр.). Например, в условиях застроенной территории с капитальной застройкой, густой сетью выходов инженерных подземных коммуникаций можно принять $m_0 = 0,15$ м.

Расчетный знаменатель масштаба топографической съемки в этом случае будет равен $M_p = 9000 \times 0,15 / 0,15 = 520$, а стандартный масштаб — 1:500.

Критерий допустимой погрешности определения площади участка. Этот критерий имеет существенное значение для обоснования выбора масштаба топографической съемки при составлении земельного и городского кадастра и отражения в нем достоверных данных количественного учета земель. Если известна допустимая погрешность площади земельного участка m_p , выраженная в процентах, то расчетный знаменатель масштаба топографической съемки можно вычислить по формуле

$$/И_p = 25 \cdot 10^2 m_{п,л} / P,$$

где P — средняя площадь оцениваемого участка, выраженная в га.

Допустимая погрешность определения площади m_p зависит от многих факторов, в частности от балльной оценки сельскохозяйственных земель, стоимости городских земель и пр.

При съемке городских, пригородных и сельских районов она может изменяться от 0,2 до 1%. При обосновании выбора масштаба топографической съемки по критерию допустимой погрешности площади участка используют его среднюю площадь, рассчитанную с учетом статистических закономерностей распределения площадей участков соответствующего

Масштаб топографического плана или карты	Масштабы съемок в зависимости от типов картографируемой территории	
	I тип	II тип
1:500	1:500	
1:1000	–	1:1000
1:2000	1:2000	–
1:5000	Картосоставление	1:5000
1 : 10 000	1:10 000 или картосоставление	

региона (области, края и т. п.). В сельских районах при расчетах можно принять среднюю площадь пашни как наиболее ценного сельскохозяйственного угодия. Как показали исследования, выполненные на кафедре геодезии МИИЗ, в этом случае можно положить $m_p = 1\%$. Поэтому для расчетов масштабов топографических съемок сельскохозяйственных земель можно применить формулу

$$M_p = 2500 \text{ д/Я} \sim.$$

При использовании данного критерия гистограмму распределения площадей участков на объекте съемки, а также требования, предъявляемые при выборе допустимой ошибки определения средней площади участка, желательно отразить в техническом проекте топографо-геодезических работ.

Обоснование выбора масштабов топографических съемок населенных пунктов с учетом типа картографируемой территории

Как отмечалось, обоснование выбора масштаба топографической съемки можно выполнить не прибегая к расчетам, а на основе рекомендаций Основных положений [23].

В этом случае критериями служат два типа картографируемых территорий:

I тип — территория с многоэтажной застройкой, территория крупнейшего города;

II тип — территория преимущественно с малоэтажной застройкой и незастроенная территория.

Масштабы топографических карт и планов, а также масштабы топографических съемок в зависимости от принятых типов картографируемой территории приведены в табл. 20.

Основные положения разрешают при необходимости для разработки рабочих чертежей на территории II типа планы масштаба 1:1000 увеличивать до масштаба 1:500 и для составления проекта детальной планировки на территории II типа планы масштаба 1:5000 увеличивать до масштаба 1:2000.

Наименование проектов или отдельных проектных решений	Формула для расчета h_p , м
Генеральные планы планировки и застройки жилых и промышленных районов	$10''X1'XM_{\theta}$,
Проект самотечных инженерных сооружений	$0,42 X /$
Схема вертикальной планировки и сетей инженерно-оборудования	$0,70 X /$

Примечание: i — средний уклон топографической поверхности (проценты); M_{θ} — знаменатель численного масштаба съемки.

Обоснование выбора высоты сечения рельефа

Обоснование выбора высоты сечения рельефа h_p осуществляют, исходя из минимальных затрат, на основании неравенства

$$L_0 \wedge L_p \text{ (при } L_p \wedge 0,5 \text{ м)}, \quad (2.5)$$

где h_p — расчетная высота сечения рельефа; h_0 — ближайшая к расчетной стандартная высота сечения рельефа.

При $h_p < 0,5$ м принимают $L_0 = 0,25$ м, если участок съемки представляет спланированную поверхность. Выбор высоты сечения рельефа зависит от вида и стадии проектно-планировочных работ, топографических условий местности и других факторов. В табл. 21 помещены отдельные формулы, которые можно использовать при обосновании выбора высоты сечения рельефа.

2.2. СЪЕМОЧНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ

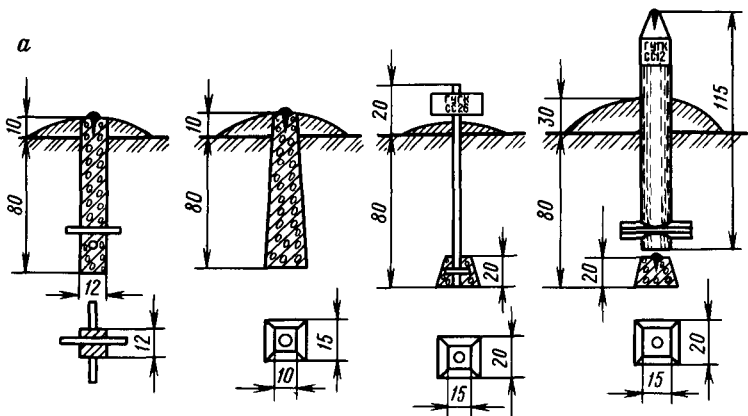
2.2.1. Общая часть

Съемочная геодезическая сеть (съемочная сеть) является геодезической сетью сгущения, создаваемой для производства топографической съемки.

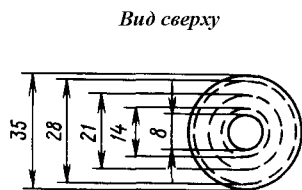
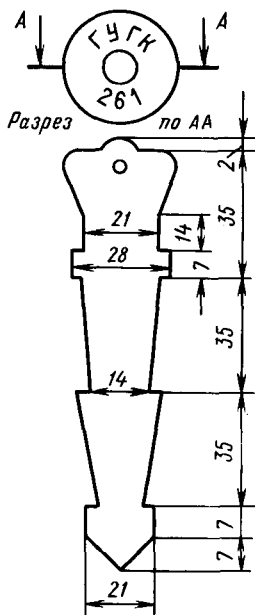
Плотность пунктов съемочной сети устанавливают техническим проектом с таким расчетом, чтобы выполнить требования инструкции [10].

Съемочная сеть (плановая и высотная) развивается от пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей сгущения 1 и 2 разрядов и технического нивелирования.

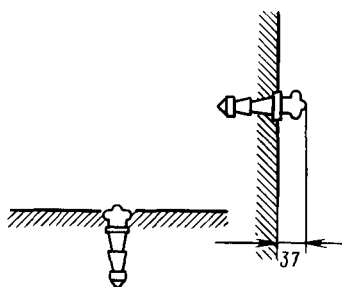
Плановую съемочную сеть строят в виде теодолитных ходов, триангуляции (взамен теодолитных ходов), мензульных ходов, прямых, обратных и комбинированных засечек. Высоты пунктов геодезической сети при топографической съемке с высотой сечения 0,5 и 1 м (кроме всхолмленных районов) определяют техническим нивелированием, а при высоте сечения 2 и 5 м — тригонометрическим нивелированием.



Размеры даны в см



Общий вид



Размеры даны в мм

Рис. 24. Типы знаков долговременного и постоянного закрепления съемных сетей

а — типы знаков долговременного закрепления съемных сетей; б — стенной знак постоянного закрепления съемных сетей

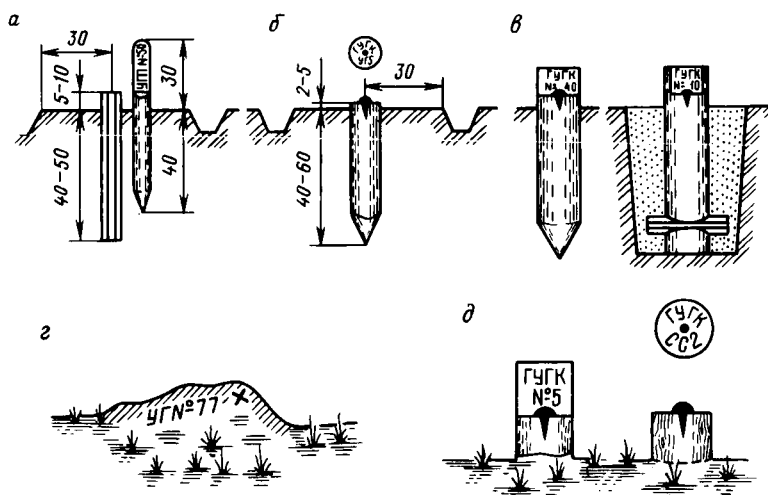


Рис. 25. Типы знаков временного закрепления плановых и высотных съемочных сетей:

а — металлическая труба, кованный гвоздь со сторожком; б — свайка; в — деревянный столб; г — крест на валуне; д — штырь, кованный гвоздь в пне

При построении съемочной сети, как правило, одновременно определяют положение пунктов как в плане, так и по высоте. Предельная погрешность положения пунктов плановой съемочной сети относительно пунктов государственной геодезической сети и геодезических сетей смещения не должна превышать на открытой местности и на застроенной территории 0,2 мм на плане и 0,3 мм на местности, закрытой древесной и кустарниковой растительностью.

Пункты съемочной сети закрепляют знаками долговременной сохранности (рис. 24, а) с таким расчетом, чтобы на участке местности соответствующему съемочному планшету масштаба 1:5000, как правило, было закреплено не менее 3-х пунктов, а масштаба 1:2000 — 2-х пунктов, включая пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения. На территории населенных пунктов и промышленных площадок пункты съемочной сети закрепляют знаками долговременной сохранности.

Когда съемочная сеть является самостоятельным съемочным обоснованием *, то не менее одной пятой части пунктов закрепляют постоянными знаками по типу центров пунктов триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов (см. рис. 24, а).

* Понятие съемочного обоснования включает съемочную сеть и геодезические сети более высокого порядка.

На застроенных территориях населенных пунктов в качестве постоянного принимают стеновой знак (рис. 24,б), который соответствует типу съемочного чугунного репера. Пункты съемочной сети нумеруют. Номер пишут на самих знаках или на специально установленных сторожках (рис. 25). На застроенных территориях номер ставят на столбах линии электропередач, ближайших зданиях и других предметах местности.

2.2.2. Развитие плановых съемочных сетей теодолитными ходами

Общие положения

Инструкция [10] предусматривает проложение теодолитных ходов с допустимыми относительными невязками (погрешностями)

где — абсолютная невязка в теодолитном ходе, а [«] — длина хода между исходными пунктами, равными 1/3000, 1/2000, 1/1000.

Допустимая длина теодолитного хода между исходными пунктами зависит как от масштаба топографической съемки и принятой относительной невязки хода, так и топографических условий местности (табл. 22).

Длина хода между узловыми точками или между исходной и узловой точкой должна быть на 30% меньше приведенных в табл. 22.

При съемке в масштабе 1:10 000 можно принять допустимую длину хода в 2 раза большей (для соответствующих условий местности и относительных ошибок хода) по сравнению с данными табл. 22 для съемки в масштабе 1:5000.

Теодолитные ходы могут быть одиночными (рис. 26, а), с одной (рис. 26, б) и более (рис. 26, в) узловыми точками. Длины сторон в теодолитных ходах не должны быть более 350 м (на застроенных и незастроенных территориях) и менее 20 и 40 м соответственно для этих же территорий.

При построении съемочной сети можно допустить проложение висячих теодолитных ходов (ход, отражающийся на один исходный пункт).

Таблица 22

Масштаб топографической съемки	Открытая местность, застроенная территория			Закрытая местность	
	1/Γ = 1/3000	1/Γ=1/2000	1/Γ= 1/1000	1/Γ= 1/2000	1/Γ= 1/1000
	Допустимая длина теодолитного хода, км				
1 :5000	6,0	4,0	2,0	6,0	3,0
1:2000	3,0	2,0	1,0	3,6	1,5
1:1000	1,8	1,2	0,6	1,5	1,5
1:500	0,9	0,6	0,3	—	—

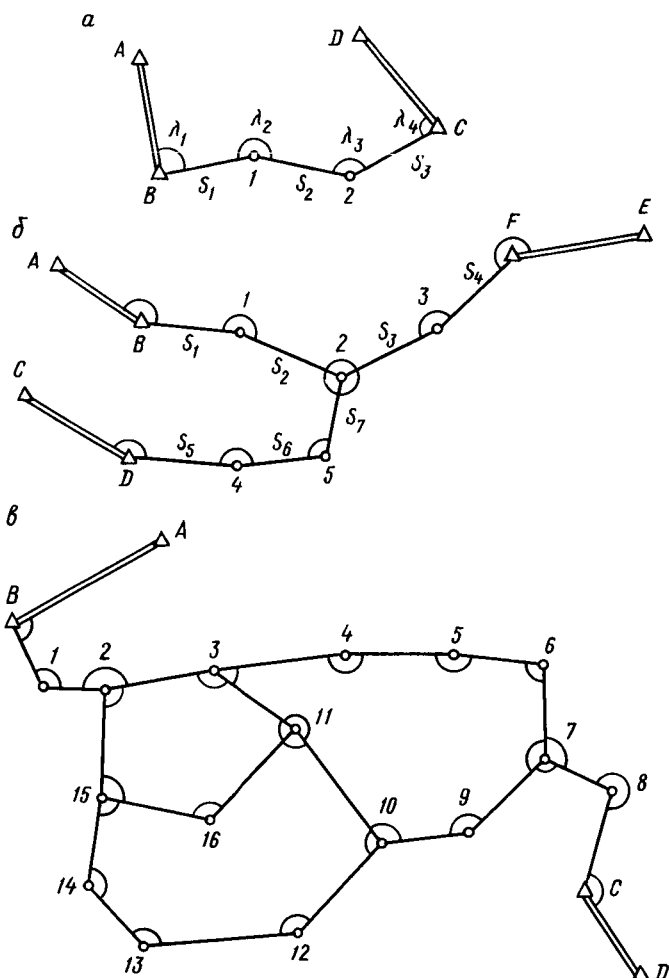


Рис. 26. Схемы теодолитных ходов:

a — одиночный теодолитный ход; *б* — система теодолитных ходов с одной узловой точкой; *в* — система теодолитных ходов со многими узловыми точками

Допустимая длина висячего теодолитного хода при топографических съемках в различных масштабах показана в табл. 23.

Число сторон хода на застроенной и незастроенной территории должно быть соответственно не более трех или четырех.

Проект съемочной сети составляют на топографических картах или планах более мелкого масштаба. В проекте предусматривают привязку теодолитных ходов к исходным пунктам геодезической сети, показывают

Масштаб топографической съемки	Застроенная территория	Незастроенная территория
	Допустимая длина хода, м	
1:5000	350	500
1:2000	200	300
1:1 000	150	200
1:500	100	150

направление ходов, намечают узловые пункты. Длины соответствующих ходов не должны быть больше их допустимых значений (см. табл. 22). При составлении проекта нужно учитывать, что пункты съемочной сети необходимы не только для производства съемочных, но и для выполнения разбивочных работ в промышленном и сельском строительстве, переноса проектов землеустройства в натуру и др.

При составлении проекта съемочной сети и его рекогносцировке на местности, когда уточняют положение каждой точки хода, необходимо руководствоваться следующим.

1. Между пунктами съемочной сети должны быть обеспечены взаимная видимость и благоприятные условия для измерения линий.

2. На застроенной территории теодолитные ходы должны прокладываться так, чтобы обеспечить благоприятные условия для съемки зданий и сооружений.

3. Местоположение пунктов геодезической сети должно обеспечить удобную установку геодезических приборов при измерениях.

4. Пункты съемочной сети следует наметить на непахатных землях в таких местах, которые обеспечивают их наибольшую сохранность.

5. В проект съемочной сети следует включить ориентирные местные предметы: дымовые трубы, силосные башни и др., а также центры крышек колодцев инженерных подземных коммуникаций, цоколи существующих капитальных зданий и сооружений и др.

6. При рекогносцировке местности и долговременном закреплении съемочной сети рекомендуется сделать необходимые измерения для привязки знаков к местным предметам и соответствующие зарисовки (абрис).

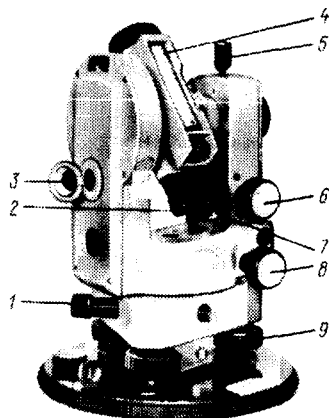
Приборы для угловых измерений

При измерении горизонтальных и вертикальных углов при развитии съемочных сетей применяют отечественные теодолиты ТЗО, 2ТЗО, 2Т5, 2Т5К или равноточные им типы приборов зарубежных фирм ($T_{11eo} = 020$, $T_{1eo} = 120$ и др.).

Оптические теодолиты ТЗО и 2ТЗО. Технический оптический теодолит ТЗО (рис. 27) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах. Им можно измерять расстояния с помощью нитяного дальномера. Система вертикальной оси повторительная.

Рис. 27. Теодолит ТЗО:

1 — наводящим винт горизонтального круга; 2 — окуляр микроскопа; 3 — зеркало; 4 — цилиндрический уровень на зрительной трубе; 5 — закрепительный винт зрительной трубы; 6 — наводящий винт зрительной трубы; 7 — окуляр зрительной трубы; 8 — наводящий винт алидады; 9 — подъемный винт



Теодолитом ТЗО можно также выполнять техническое нивелирование с помощью цилиндрического уровня с ценой деления $20''$, который укреплен на зрительной трубе.

Диаметры горизонтального и вертикального стеклянных кругов равны 70 мм. Отсчитывание производят по одной стороне лимбов с помощью штрихового микроскопа с погрешностью до $1''$.

В поле зрения микроскопа, окуляр которого находится рядом с окуляром зрительной трубы, видны одновременно штрихи обоих кругов и неподвижный индекс (рис. 28). Зрительная труба теодолита имеет увеличение $20\times$, через зенит ее переводят обоими концами.

Особенность теодолита ТЗО заключается в отсутствии цилиндрического уровня при вертикальном круге. Его функции выполняет цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга с ценой деления $45''$,

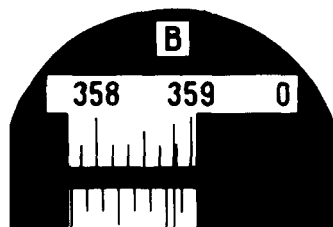


Рис. 28. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита ТЗО:

отсчет по горизонтальному кругу $70^{\circ}05'$;
отсчет по вертикальному кругу $358^{\circ}48'$

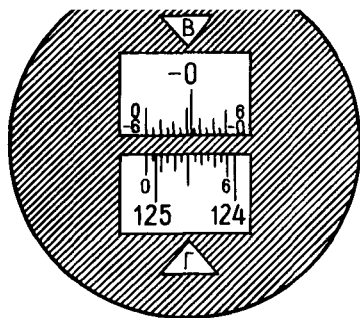


Рис. 29. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2 ТЗО:

отсчет по горизонтальному кругу $125^{\circ}06,5'$;
отсчет по вертикальному кругу

который укреплен в нижней части колонки параллельно плоскости вертикального круга. При измерении угла наклона перед визированием на точку местности пузырек цилиндрического уровня подъемными винтами приводят на середину ампулы.

Формулы вычисления угла наклона для теодолита ТЗО имеют следующий вид:

$$y = 0,5(L - П - 180^{\circ})L$$

$$y = L - MO; \quad V \quad (2.6)$$

$$v = MO - П - 180^{\circ}, \quad)$$

где П и Л — отсчеты по лимбу вертикального круга при его положении справа и слева; МО — место нуля вертикального круга, равное

$$MO = 0,5(П + Л + 180^{\circ}).$$

При вычислении угла наклона к величинам отсчетов Л, П и МО, меньших 90° , следует прибавлять 360° .

Теодолит 2ТЗО не отличается по внешнему виду от теодолита ТЗО. Особенностью является оцифровка вертикального круга — секторная от 0 до 75° и от 0 до минус 75° . В верхней части поля зрения отсчетного микроскопа, обозначенной буквой В (рис. 29), видно изображение штрихов лимба вертикального круга; в нижней части, обозначенной буквой Г — изображение штрихов лимба горизонтального круга. Отсчет производят по шкалам, цена деления которых соответствует $5'$, с округлением до $0,1$ деления, т. е. до $0,5'$. Индексом для отсчитывания служит штрих лимба. Шкала вертикального круга имеет два ряда цифр. По нижнему ряду цифр со знаком « — » берут отсчет в том случае, когда в пределах шкалы находится штрих лимба с тем же знаком, и записывают показание со знаком « — ».

Формулы вычисления углов наклона для теодолита 2ТЗО имеют следующий вид:

$$v = 0,5 (Л - П);$$

$$y = Л - МО;$$

$$v' = МО - П;$$

$$МО = 0,5(Л + П).$$

(2-7)

Испытания теодолита заключаются в определении рена шкалового микроскопа (2Т30) и постоянной нитяного дальномера.

Поверки и юстировки теодолитов рассмотрены в части 1.1.

Приборы для линейных измерений

Длины сторон в теодолитных ходах измеряют мерными стальными лентами и рулетками, длиномерами и дальномерами двойного изображения, светодальномерами и другими приборами.

Мерные штриховые стальные ленты изготавливают длиной 20 (ЛЗ-20), 24 (ЛЗ-24) и 50 м (ЛЗ-50). Такую же длину имеют шкало вые мерные стальные ленты ЛЗШ-20, ЛЗШ-24 и ЛЗШ-50. Мерные стальные рулетки РВ-30 и РК-50 имеют соответственно длину 30 и 50 м.

Длиной штриховой ленты ЛЗ считают расстояние между штрихами, нанесенными на начальном и конечном дециметровых делениях. Штрихи при измерениях фиксируют на земле железными шпильками, сделанными из проволоки (в комплекте 10 шпилек).

Перед выполнением измерений необходимы внешний осмотр прибора и его компарирование. При компарировании стальной ленты (рулетки) может использоваться «нормальная лента» или полевой компаратор. Поправку за компарирование A_k вычисляют по формуле $L_k = l - l_n$, где l — длина рабочей ленты при температуре в момент измерения t °C; l_n — длина нормальной ленты.

При компарировании на полевом компараторе поправка за компарирование при средней температуре ленты t °C за время измерения находится как

$$A_{/n} =$$

где l_0 — действительная длина полевого компаратора; l — длина компаратора, измеренная многократно (4—6 раз) рабочей лентой, n — число уложения мерных лент в длине компаратора l_0 .

Шкаловые мерные ленты (ЛЗШ) на концах имеют шкалы с миллиметровыми делениями. Фиксируют ленты ЛЗШ при измерениях с помощью игл или ножей, вставленных в торцы колец, а также другими способами. Силу натяжения ленты ЛЗШ фиксируют с помощью динамометра, при натяжении используют специальные багры. Для приведения длины ленты к горизонту производят нивелирование основных перегибов местности. С помощью термометра определяют температуру ленты.

Длина линии, измеренная штриховыми лентами или рулетками, равна

$$O = n l u - \Delta z,$$

(2.8)

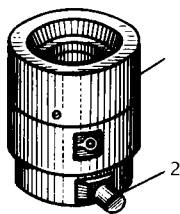
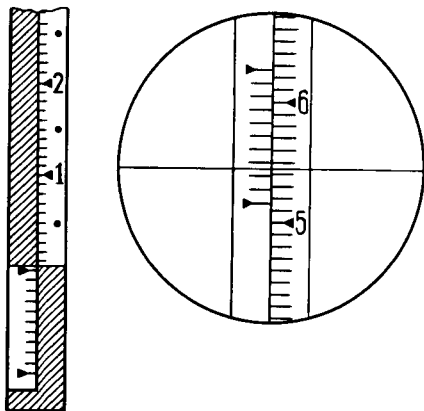


Рис. 30. Общий вид дальномера двойного изображения ДНР-06:

/ — корпус; 2 — крепежный винт

Рис. 31. Дальномерная рейка ДНР-06:

a — общий вид; *б* — отсчет по дальномерной рейке $i = 62,774$



где l_0 — номинальная длина ленты (рулетки); z — остаток; n — число полных уложенных лент.

Длины интервалов, измеренных шкаловыми лентами, вычисляют по формулам, в зависимости от подписей на шкалах.

Дальномер двойного изображения ДНР-5 — дальномерная редуцирующая насадка на трубу теодолита (рис. 30) с посадочным диаметром объекта 46 мм (2Т5), предназначена для измерения горизонтальных проложений от 20 до 120 м со средней квадратической погрешностью 5 см на 100 м. Используется при проложении теодолитных ходов и горизонтальной съемке застроенных территорий. В комплект дальномера входит противовес и вертикальная дальномерная рейка (рис. 31, а). Отличительной способностью дальномера является оптический компенсатор, расположенный в корпусе насадки, с помощью которого автоматически обеспечивается редукция наклонных расстояний. Редуцирующим устройством служит свободно висащий клин, который во время наклона зрительной трубы, оставаясь в отвесном положении, автоматически изменяет отсчет по дальномерной рейке на величину поправки за наклон измеряемой линии.

Дальномерную рейку изготавливают с инварной полоской (см. рис. 31, а), ее основанием служит брусок из дерева. На обеих сторонах рейки имеются шкалы с верньерами. Деления на шкалах одинаковые, равные 2 см, но верньер на контрольной стороне (край рейки окрашен в желтый цвет) смещен на постоянную величину, равную $s = 11,111$ м. Для установки рейки в вертикальное положение имеется круглый уровень. Отсчет n по рейке производят следующим образом.

1. Наводят зрительную трубу на рейку так, чтобы основной горизонтальный штрих сетки нитей расположился вблизи нулевого штриха верньера.

2. Действуя наводящим устройством зрительной трубы, добиваются совмещения изображения штриха верньера со штрихом рейки, при этом

основной горизонтальный штрих сетки нитей не должен выходить за пределы верньера.

3. Делают отсчет по рейке (рис. 31,6), записывая его в метрах:

а) целого числа метров, используя в качестве индекса нулевой штрих верньера (62);

б) числа десятых долей метра, равного номеру совмещенного штриха верньера, считая от нулевого штриха (7);

в) числа сотых и тысячных долей метра, равного числу целых и десятых долей шкалы верньера, заключенных между нулевыми штрихами верньера и основным горизонтальным штрихом сетки нитей (74).

Отсчет $n = 62,774$ м.

Формула для определения горизонтального проложения по двухсантиметровой основной шкале рейки имеет вид

$$« = Я| + Я2,$$

где $n|$ и $П2$ — первый и второй отсчет по рейке, записанные в метрах.

При втором отсчете по рейке основной горизонтальный штрих рейки перемещается в противоположном направлении по отношению к тому, которое имело место при первом отсчете.

Для определения горизонтального проложения по контрольной стороне рейки к сумме отсчетов необходимо прибавить постоянную величину $c = 11,111$ м.

Основные испытания дальномера ДНР-5 заключаются в определении постоянных c и K , теоретические (номинальные) значения которых принимаются равными $c = 11,111$ м и $K = 100$. Особое внимание следует обращать на постоянство коэффициента дальномера K . Рекомендуется определять его значение ежедневно на базисе длиной 30—50 м и выявлять стабильность. Юстировка коэффициента дальномера, т. е. приведение его к заданному значению, осуществляется юстировочными винтами, находящимися в корпусе насадки. С их помощью наклоняют оптический клин так, чтобы коэффициент дальномера был равен его номинальному значению.

Дальномер ДН-8 (рис. 32) представляет насадку, надеваемую на зрительную трубу теодолита типа Т5 (2Т5). Предназначен для измерения расстояний от 50 до 700 м с относительной средней квадратической погрешностью $1/1200$. Он относится к дальномеру с переменным параллактическим углом и постоянным базисом, которым служит горизонтальная дальномерная рейка (рис. 33), крайние марки / которой образуют большой базис, а средние 2 — малый. При измерении горизонтальных углов в теодолитном ходе используют съемную марку 3, представляющую собой пластину с фигурой треугольника. Дальномерной насадкой ДН-8 измеряют параллактический угол. Основными ее частями являются линзовый компенсатор, состоящий из двух положительных и двух отрицательных полулинз, и шкаловый микроскоп. С помощью компенсатора получают в поле зрения трубы теодолита два изображения дальномерной рейки, наложенных одно на другое. По шкаловому микроскопу фиксируют перемещение измерительной части компенсатора. В зависимости

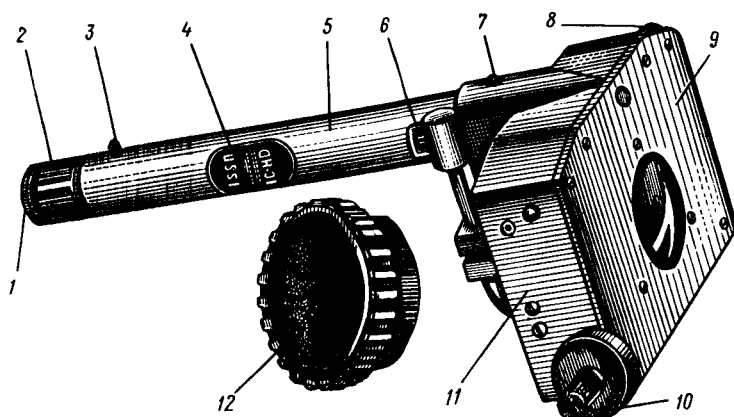


Рис. 32. Дальномер двойного изображения ДН-08:

1 — кольцо окуляра; 2 — втулка; 3 — целик; 4 — крышка; 5 — труба микроскопа; 6 — крышка; 7 — мушка; 8 — маховичок; 9 — крышка; 10 — маховичок измерительной части компенсатора; 11 — корпус; 12 — крышка

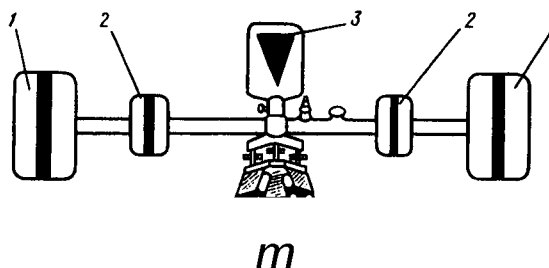


Рис. 33. Дальномерная рейка дальномера ДН-08:

от способа измерения можно получить одинарный или двойной параллактический угол, обозначаемый через β (одинарный угол будет $0,5\beta$). Двойной параллактический угол измеряют при расстояниях от 100 до 180 м по малому базису, при расстояниях свыше 180 м — по большому.

Порядок измерения параллактического угла ρ может быть следующим (рис. 34).

1. Зрительную трубу теодолита с насадкой ДН-8 наводят на рейку.

2. Перемещением измерительной части компенсатора устанавливают отсчет по шкале, близкий к 60.

3. Перемещая вспомогательную часть компенсатора, совмещают изображения верхних и нижних частей одноименных марок (рис. 34, а) и наводящим устройством алидады теодолита вводят в центр поля зрения трубы.

4. Действуя измерительной частью компенсатора, совмещают изображения верхних и нижних частей разноименных марок (рис. 34, б) и делают отсчет по шкаловому микроскопу n .

5. Перемещая измерительную часть компенсатора, добиваются положения, показанного на рис. 34, в, после чего делают отсчет по шкаловому микроскопу «2».

Разность $\Pi_2 - \Pi_1 = P$ дает двойной параллактический угол. Указанные действия составляют один прием измерений.

Перед вторым приемом несколько смещают шкалу наводящим винтом вспомогательной части, после чего повторяют измерения, сделав вначале отсчет Π_2 , а затем после соответствующего перемещения измерительной части компенсатора — Π_1 .

Одинарный параллактический угол (0,50) измеряют при расстояниях от 50 до 100 м, используя для этого малый базис. При измерении одинарного параллактического угла после наведения зрительной трубы теодолита с насадкой на рейку перемещением зрительной части компенсатора устанавливают отсчет на шкале, близкий к нулю. После точного совмещения изображения верхних и нижних частей одноименных марок наводящим винтом вспомогательной части компенсатора (см. рис. 34, а) делают отсчет по шкаловому микроскопу n . Перемещением измерительной части компенсатора добиваются совмещения изображений верхних и нижних частей соответствующих марок, как показано на рис. 34, в, после чего делают отсчет n' . Одинарный параллактический угол находится как разность отсчетов, т. е.

$$0,5p = \Pi_2 - \Pi_1.$$

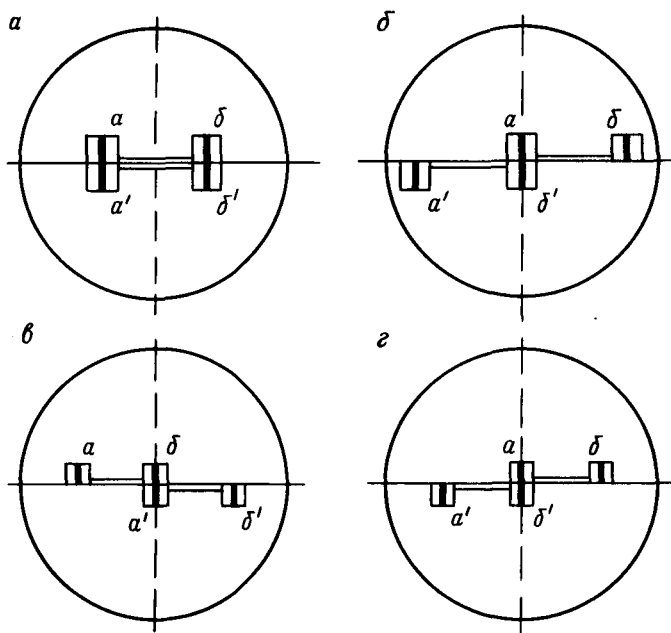


Рис. 34. Схема определения параллактических углов

Указанные действия составляют один прием измерения одинарного параллактического угла.

Горизонтальное проложение линии, измеренное оптическим дальномером ДН-8, находят из выражения

$$(2.9)$$

где K и c — постоянные дальномера; ρ — двойной параллактический угол; и β , γ — соответственно поправки за наклон линии и температуру.

Коэффициент дальномера для больших марок примерно составляет 21 000, а для малых — 11 000. Поправки вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} \delta s_v &\approx -2 \frac{K}{\beta} \sin^2 \frac{v}{2}, \\ \delta s_l &\approx \frac{K}{\beta} \lambda (t - t_0), \end{aligned} \quad (2.10)$$

где $\lambda = 16 \cdot 10^{-6}$ — температурный коэффициент линейного расширения металла дальномерной рейки; t_0 — средняя температура при определении коэффициента дальномера; t — средняя температура воздуха во время измерения расстояния; v — угол наклона измеряемой линии. Температура измеряется термометром, который помещен внутри штанги рейки.

Перед измерением в полевых условиях необходимо определить коэффициент дальномера K . Для этого используют базис на равнинной местности длиной 70—360 м *, который разбивают на интервалы общим числом не менее восьми. Интервалы базиса измеряют с предельной относительной погрешностью не ниже чем 1:5000. Коэффициент дальномера для каждого i -го интервала при температуре t_i находят по формуле

$$K_i = (v_i - c) \rho_i. \quad (2.11)$$

За окончательное значение коэффициента дальномера принимают его среднее значение

$$K = \frac{\sum_{i=1}^m K_i}{m}, \quad (2.12)$$

где m — число интервалов базиса.

Коэффициенты K определяют для каждой пары марок рейки.

Дальномер двойного изображения Д-2 является прибором для измерения расстояний от 40 до 400 м по горизонтальной или вертикальной рейкам со средней квадратической погрешностью 2 см на 100 м. Принцип действия дальномера такой же, как ДН-8. Отличительная особенность заключается в применении сложного комбинирован-

* При угле наклона более 1° в измеренные отрезки базиса вводят поправку за угол наклона.

ного компенсатора, обеспечивающего измерения больших параллактических углов (до $5200''$) с высокой точностью. Параллактический угол ρ представляют в виде постоянной и переменной части

$$\rho = \rho_0 + \rho'$$

постоянный параллактический угол ρ_0 вводится перекидным оптическим клином дальномера, а переменный измеряется обычным способом, компенсатором, как ДН-8. Рейка дальномера Д-2 (рис. 35) представляет собой каркас из дюралевых труб 1, по обе стороны которого укреплено по шесть пронумерованных марок 2, расстояния между штрихами которых образуют базы 0,4; 0,8; 1,2; 1,6 и 2,0 м. Расстояния между базами на каждой стороне рейки равны между собой, в то же самое время расстояние между марками первой и второй сторон реек различаются на 1 %. Поэтому параллактический угол ρ , измеренный по второй стороне рейки, находится как

$$\rho = 1,01(5',$$

где ρ' — параллактический угол, измеренный по второй стороне рейки.

Горизонтальное проложение определяется по формуле

$$S = \frac{BK}{\rho} - \dots + b\omega, \quad (2.13)$$

где N — число малых баз, использованных при измерениях расстояния; K — коэффициент дальномера для одной малой базы (первой стороны рейки).

Методика измерения параллактического угла ρ заключается в следующем. Визируют на рейку так, чтобы в поле зрения появились две половины изображения рейки, разделенные ребром бипризмы (рис. 36). Поворачивают флажок перекидного клина вверх и маховичком измерительной части компенсатора производят совмещение изображений дальномерной рейки. Определяют разность между совмещенными штри-

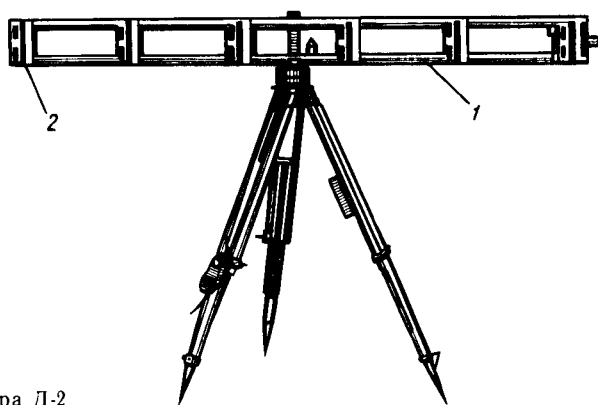


Рис. 35. Рейка дальномера Д-2

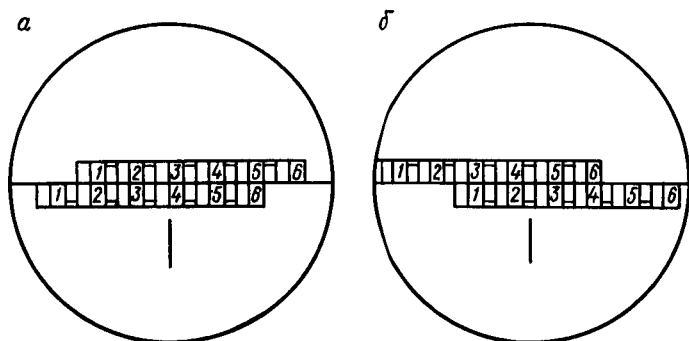


Рис. 36. Схема измерения параллактического угла дальномером Д-2:

$$n_1 = 1, N_2 = 2, \text{Ш} = (N_1 + N_2)/2 = 1,5$$

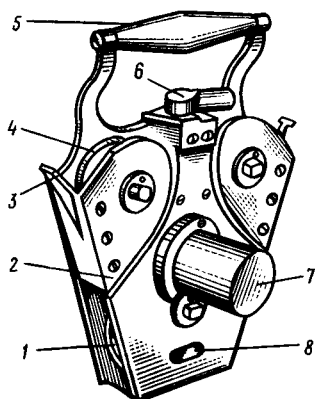


Рис. 37. Дальномер АД:

1 — мерный диск; 2 — вырез; 3 — фиксатор; 4 — направляющий ролик; 5 — ручка; 6 — закрепительный винт; 7 — счетный механизм; 8 — круговая шкала

хами марок (на рис. 36, а) и делают отсчет по шкале компенсатора n_1 . Поворачивают флажок перекидного устройства вниз и прежним способом проводят совмещение изображений дальномерной рейки (рис. 36, б). Определяют разность N_2 и делают отсчет по шкале компенсатора n_2 . Определяют число малых баз $N = (N_1 - N_2)/2$ (для рис. 36, $N_1 = 1,5$) и переменную часть параллактического угла $\rho = \rho_0 - n_1$. Указанные действия составляют один прием. Измерения производят 4—6 приемами, при этом стремятся к равенству баз, т. е. $N_1 = N_2$.

Перед работой определяют коэффициент дальномера K и постоянный параллактический угол ρ_0 на базе длиной 360 м, разделенном на 12 интервалов, измеренных с относительной предельной погрешностью не ниже 1/10 000. Методику определения постоянных дальномера принимают такой же, как для ДН-8.

Дальномер АД (рис. 37) предназначен для измерения расстояний с относительной погрешностью не более 1/5000—1/10 000 в зависимости

от способа фиксации силы натяжения стальной проволоки (соответственно динамометром или гирей массой 15 кг). Комплект АД состоит из, измерительного блока, бобины с проволокой, двух штативов с целиками, двух блочных штативов, двух съемных шкал и гири массой 15 кг. Применение длиномера основано на определении длины стальной проволоки, натянутой между пунктами стороны теодолитного хода, с помощью мерного блока, состоящего из мерного диска, счетного механизма, тормозного устройства. Непосредственно длиномером измеряют расстояние между нулевыми делениями шкал, закрепленных на проволоке перед измерением линии, путем прокатывания диска по проволоке от нуля передней до нуля задней шкалы.

Измерения делают в несколько полуприемов, предварительно сместив шкалы.

Горизонтальное проложение линии, измеренной длиномером, вычисляют по формуле

$$S = \frac{m}{n} \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{J_i} - \left[-|n|, /4 * 2, / \right] c_{6K} - B_4 * 6^{\wedge} \quad (2*14)$$

где m — число полуприемов; N_i и D_{2i} — соответственно отсчеты по счетному механизму длиномера при совмещении его фиксатора с нулями передней и задней шкалы; $n_{b>}$ и $/гг./$ — соответственно отсчеты по шкалам, сделанным с помощью целиков штативов, установленных над передним и задним пунктами линии теодолитного хода; c — постоянная длиномера; $b_K, b_{>}, b_{>}$ и соответственно поправки за компарирование, температуру, угол наклона; $b_{>}$ — поправка за провес проволоки ($b_{>} = D/o / \cos^2 \alpha$, где D/o — выбирают из специальных таблиц, прилагаемых к прибору).

При измерении сторон теодолитных ходов могут использоваться светодальномеры, например СТ-5.

Техника геодезических измерений в теодолитных ходах

Горизонтальные углы в теодолитных ходах измеряют теодолитами ТЗО (2Т30) или 2Т5 одним полным приемом с перестановкой лимба между полуприемами на небольшую величину 1—2°. Колебания значений углов, полученных из двух полуприемов, не должны превышать 45".

Теодолит центрируют над пунктом с погрешностью, не превышающей 3 мм. Горизонтальные углы могут быть правыми ρ и левыми X по направлению теодолитного хода. Правый и левый углы соответственно вычисляют как разности

$$\rho = 3 - \Pi, \quad A = \Pi - 3,$$

где 3 и Π — отсчеты по лимбу горизонтального круга при визировании на цели, установленные на заднем и переднем пункте теодолитного хода.

Результаты измерений записывают в журнал. Одновременно с горизонтальным углом измеряют одним полным приемом угол наклона α . Если 1,5°, то вычисляют поправку за наклон

$$\text{б.а.,} = -2 \text{ } O \text{ } \text{зт}^2 \text{у} / 2. \quad (2.15)$$

Стороны теодолитных ходов могут быть измерены различными приборами: светодальномерными насадками (см. гл. 1), оптическими дальномерами ДН-2, ДНР-5, длиномером АД в прямом направлении или стальной 20-метровой лентой (ЛЗ-20 и др.) в прямом и обратном направлениях.

Допустимое расхождение линий, измеренных в прямом $D_{\text{пр}}$ и обратном $D_{\text{обр}}$ направлениях определяют по формуле

$$\frac{D_{\text{пр}} + D_{\text{обр}}}{2} \leq T$$

где T — знаменатель допустимой относительной невязки теодолитного хода (см. табл. 22).

Поправка за компарирование мерного прибора вводится в том случае, если она превышает 2 мм.

Уравнивание теодолитных ходов

Уравнивание теодолитных ходов производят упрощенными способами, т. е. вначале уравнивают горизонтальные углы, а затем приращения координат.

Уравнивание одиночного теодолитного хода (см. рис. 26, а) начинают с проверки вычислений в полевых журналах и составления схемы теодолитного хода, куда выписывают средние значения всех измеренных углов, а против каждой стороны — ее горизонтальное проложение. На схеме показывают угловую невязку хода $f_{\text{у}}$ и ее допустимое значение $f_{\text{у доп}} = \pm 1' \sqrt{n} + 1'$ — число углов в ходе (n — число сторон). Угловую невязку рассчитывают по формуле

$$f_{\text{у}} = \sum_{i=1}^{n+1} \beta_{i \text{ пр}} - \sum_{i=1}^{n+1} \beta_{i \text{ теор}}, \quad (2.16)$$

где $\beta_{i \text{ пр}}$ — сумма измеренных углов; $\beta_{i \text{ теор}}$ — теоретическое значение этой суммы. Теоретические суммы углов вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^{n+1} \beta_{i \text{ теор}} &= \alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{кон}} + 180^\circ (n+1); \\ \sum_{i=1}^{n+1} \lambda_{i \text{ теор}} &= \alpha_{\text{кон}} - \alpha_{\text{нач}} + 180^\circ (n+1), \end{aligned} \right\} \quad (2.17)$$

где $\alpha_{\text{нач}}$ и $\alpha_{\text{кон}}$ — соответственно дирекционные углы начальной и конечной исходных сторон теодолитного хода.

Примечание. В замкнутом полигоне число углов равно числу сторон n , поэтому $\sum \alpha_i = \pm 2\pi n$. Теоретическая сумма углов равна

$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 180^\circ (n - 2)$, остальной порядок уравнивания остается без изменения.

Вычисления теодолитного хода производят в ведомости координат или по программам на ЭВМ. В ведомости координат выписывают измеренные углы, невязку и ее допустимое значение, а также поправку в каждый

угол $\beta_i(x) = - \frac{f}{n}$ — исправленное значение угла (X' или β') вычисляют

по формуле $\beta' = \beta + \Delta\beta$. Сумма всех поправок в углы должна равняться невязке, взятой с обратным знаком, а сумма исправленных углов (X' или β') — ее теоретическому значению. Затем вычисляют дирекционные углы сторон s_i теодолитного хода ($i=1, 2, \dots, n$).

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^\circ$$

и

$$\alpha_i = \alpha_{i-1} \pm 180^\circ,$$

а после — приращения координат этих же сторон

$$\Delta x_i = s_i \cos \alpha_i;$$

$$\Delta y_i = s_i \sin \alpha_i.$$

Невязки в приращениях координат находят по формулам

$$f_x = \sum_{i=1}^n \Delta x_i - L_{\text{теор}}$$

$$f_y = \sum_{i=1}^n \Delta y_i - L_{\text{теор}}$$

где теоретическая сумма приращений координат равна

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = L_{\text{теор}}$$

$$\sum_{i=1}^n \Delta y_i = L_{\text{теор}}$$

Примечание. Для замкнутого полигона исходные данные начального и конечного пунктов равны, т. е. $x_n = x_1$ и $y_n = y_1$. Поэтому

$$\sum_{i=1}^n \Delta x_i = 0, \quad \sum_{i=1}^n \Delta y_i = 0.$$

Для оценки качества измерений в теодолитном ходе вычисляют абсолютную невязку в периметре хода

которая считается допустимой, если

$$n$$

$$I \leq \text{доп}_{T},$$

где T зависит от точности теодолитного хода (см. табл. 22).

Если невязка оказалась допустимой, то вычисляют поправки в каждое приращение координат

$$v_i = -\frac{f}{n}$$

—

$$\frac{1}{3} \cdot \frac{1}{1}$$

Суммы вычисленных поправок должны быть равны

$$n$$

$$= 1$$

$$n$$

$$\frac{1}{n} =$$

т. е. соответствующим невязкам по осям координат, взятых с обратными знаками.

Уравненные приращения координат находят по формулам

$$\Delta x' = \Delta x + v_x;$$

$$\Delta y' = \Delta y + v_y.$$

Их суммы по каждой из осей координат должны быть равны

$$\sum \Delta x' = \sum \Delta x + \sum v_x$$

$$= 0$$

и

$$\sum \Delta y' = \sum \Delta y + \sum v_y = 0.$$

После уравнивания приращений координат вычисляют плоские прямоугольные координаты всех пунктов теодолитного хода

$$x_{l+1} = x - \lambda Ax^* + u$$

$$y_{-1} = \langle // + D(// + 1 -$$

При их вычислении должны получиться координаты конечного исходного пункта, что служит контролем правильности вычислений.

На ЭВМ уравнивание теодолитного хода решают по описанному алгоритму. Необходимые для этого исходные данные (координаты исходных пунктов, измеренные горизонтальные углы, горизонтальные проложения и др.) вводят в установленном порядке в ЭВМ для дальнейшего счета по определенной программе.

Уравнивание системы теодолитных ходов с одной узловой точкой (см. рис. 26,6) основано на принципе весового среднего. В этом случае в качестве исходных, наряду с пунктами геодезических сетей сгущения, используют весовые средние дирекционного угла узловой стороны и координат узлового пункта (на рис. 26, 6 за узловую может быть принята сторона теодолитного хода 2—3, а за узловой пункт — 2). Дирекционный угол узловой линии теодолитного хода вычисляют по формуле

$$\sum_{j=1}^m \alpha_j p_{\alpha_j} \quad (2.18)$$

$$\sum_{j=1}^m p_{\alpha_j}$$

где α_j — дирекционный угол узловой линии, вычисленный по j -ому ходу

($j = 1, 2, \dots, m$) \ p/ $\frac{b}{\sum \alpha_j}$ — вес этого дирекционного угла; α_j — число горизонтальных углов по j -ому ходу, участвующих в передаче дирекционного угла на узловую сторону.

Перед вычислением $\alpha_{узл}$ необходимо убедиться в качестве угловых измерений, вычисляя невязки по ходам между исходными пунктами и проверяя их допустимость.

С использованием формулы весового среднего вычисляют координаты узлового пункта

$$\begin{aligned} & m \\ & \sum_{j=1}^m p_{x_j} \\ & \cdot \wedge_{узл} \end{aligned} \quad (2.19)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^m y_j p_{y_j} \\ & y_{узл} \sum_{j=1}^m p_{y_j} \end{aligned} \quad (2.20)$$

где x^i и y^j — координаты узлового пункта, вычисленные по i -ому ходу;
 $P^* \}$ и $P^u \}$ — веса координат узлового пункта.

Для определения весов координат используют формулы

и

$$P^u \} = \frac{1}{K} \Gamma''$$

где ζu — длина i -го теодолитного хода от соответствующего исходного до узлового пункта.

Перед вычислением координат узлового пункта необходимо убедиться в допустимости абсолютной невязки в периметре каждого теодолитного хода между исходными пунктами.

С учетом исходных данных и вычисленных дирекционных углов $a_{узн}$ и координат $X_{узн}$ и $y_{узн}$ производят раздельное уравнивание каждого i -го хода, как одиночного теодолитного хода.

Уравнивание способом последовательных приближений выполняют для системы теодолитных ходов с несколькими узловыми точками (см. рис. 26, *в*). При уравнивании используют рассмотренный выше принцип весового среднего.

При уравнивании углов находят значения дирекционных углов узловых сторон, а при уравнивании приращений координат — координаты узловых пунктов.

Нулевое приближение при уравнивании горизонтальных углов получают для каждой узловой стороны путем передачи с исходного направления с наименьшим числом углов. Если ни один из ходов, сходящихся к определенному направлению, не начинается от исходного направления, то передача производится от уже вычисленного нулевого приближения дирекционного угла ближайшей стороны. Последующие приближения получают с учетом как найденных по правилу весового среднего дирекционных углов узловых сторон, так и исходных дирекционных углов.

Вычисление приближений заканчивают, когда два следующих друг за другом приближения дирекционных углов станут одинаковыми для всех узловых сторон. Таким же путем последовательных приближений вычисляют окончательные значения координат узловых пунктов. С учетом найденных значений дирекционных углов и координат узловых пунктов производят раздельное уравнивание каждого теодолитного хода, как одиночного.

2.2.3. Развитие плановых съёмочных сетей методом триангуляции

Общая часть

В открытой, пересеченной местности съёмочную геодезическую сеть строят методом триангуляции в виде отдельных типовых фигур геодезического четырехугольника, центральной системы, цепочки треугольни-

ков и др. В качестве исходных служат пункты геодезических сетей сущест-
 вения 1 и 2 разрядов, а также специально измеренные (в случае отсутствия
 исходных пунктов) с предельной относительной погрешностью не ниже
 1/5000 базисной стороны.

Длина цепи треугольников не должна превышать данных, приведен-
 ных в табл. 22, для соответствующего масштаба съемки.

Число треугольников между базисами не должно превышать при
 съемках в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 соответственно
 20, 17, 15 и 10. Углы в треугольниках должны быть не менее 20° , а стороны
 не короче 150 м.

В сетях триангуляции измеряют горизонтальные направления двумя
 круговыми приемами теодолитами не менее 30-секундной точности.
 Центрируют теодолит особенно тщательно над центром пункта, в изме-
 ренные на пункте направления должны вводиться поправки за центри-
 ровку и редукцию, если значения линейных элементов превышают
 1/10 000 длин сторон триангуляции.

При измерении горизонтальных направлений в первом полуприеме
 алидаду вращают по ходу, а втором — только против хода часовой
 стрелки. Между первым и вторым полуприемами зрительную трубу
 переводят через зенит. При переходе от одного приема к другому лимб
 переставляют на величину $\alpha = 180^\circ: p$, где p — число приемов, т. е.
 на 90° . Расхождение приведенных к нулю одноименных направлений дол-
 жно быть не более $45''$. Невязки в треугольниках не должны превы-
 шать $1,5'$.

Уравнивание триангуляции

Производят упрощенными способами. Приведем алгоритмы уравни-
 вания некоторых типовых фигур.

На рис. 38, а показан геодезический четырехугольник,
 обозначены номера измеренных углов и исходная сторона. Пункты
A и *B* являются исходными, а *p* и *q* определяемыми. Уравнивание можно
 выполнить следующим способом.

1. Вычисляют невязки в треугольниках по формулам

$$\text{ш}_1 = 1 + 2 + 3 + 4 - 180^\circ,$$

$$\text{ш}_2 = 5 + 6 + 7 + 8 - 180^\circ,$$

$$\text{ш}_3 = 1 + 2 + 7 + 8 - 180^\circ.$$

Они не должны превышать допустимого значения ($1,5'$).

2. Находят первичную поправку («») в каждый из измеренных углов,
 принимая

$$(\text{ш})' = (0' + (\text{ш})),$$

где $(\text{ш})'$ и $(\text{ш})^{11}$ — соответственно первая и вторая часть первичной поправ-
 ки в измеренный угол.

Части первичной поправки вычисляют по формулам:

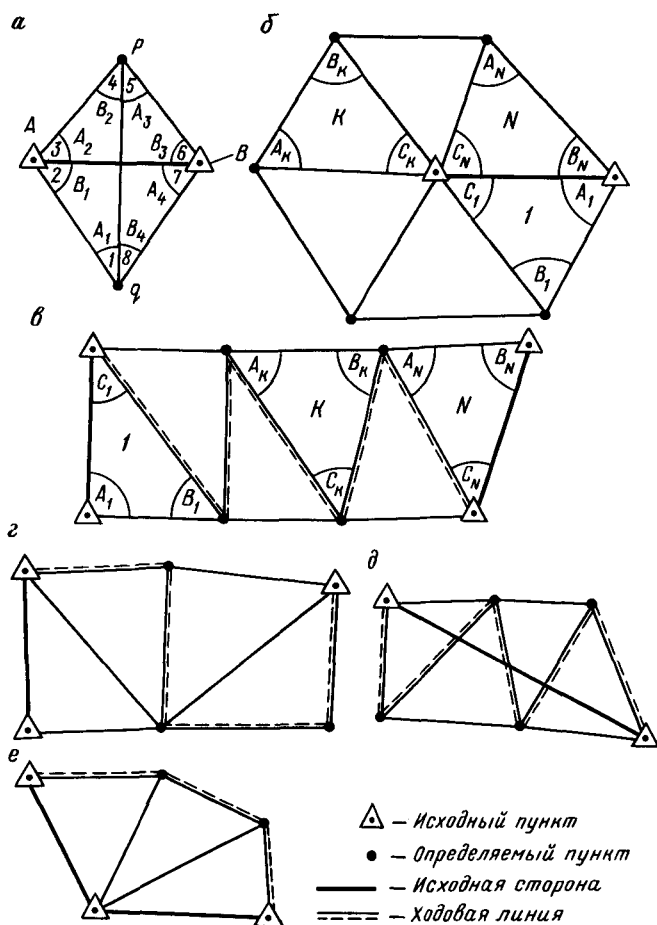


Рис. 38. Типовые фигуры триангуляции:

а — геодезический четырехугольник; *б* — центральная система; *в* — цепочка треугольников между двумя исходными сторонами; *г* — цепочка треугольников между исходными сторонами и пунктом; *д* — цепочка треугольников между двумя исходными пунктами; *е* — вставка в угол

$$(1)1 = (2)1 = (3)1 = (4)1 = \text{-----} \wedge 1 -;$$

$$(5)1 = (6)1 = (7)1 = (8)1 = \text{---}$$

$$\wedge = \text{ш} > 3 + (1)' + (2)' + (7)' + (8)1;$$

$$(1)^{11} = (2)^{11} = (7)^{11} = (8)^{11} = \text{---}$$

$$(3) \Pi = (4)'' = (5)^{11} = (6)'' = -\wedge-$$

3. С учетом первичной поправки $(/)'$ в каждый угол находят первично исправленные углы: $\angle = \gamma + (/)'$.

4. Вычисляют вторичные поправки в углы $(/)'$. Определяют синусы (шесть значащих цифр) и котангенсы (две-три значащих цифры) первично исправленных углов. Если обозначить через A_K — нечетные (1, 3, 5, 7), а через B_K — четные (2, 4, 6, 8) углы, то формулы для получения вторичных поправок $(\gamma)''$ можно представить в следующем виде:

$$(A_K)'' = (B_K)'' = (\gamma A_K + \gamma B_K) \text{ кп} >$$

$$\gamma A_K = \wedge A'_K, \quad \angle \gamma B_K = c1 \S B_K;$$

$$w_n = (-\wedge - 1) 206' 265''; \quad = \pm 50''_{\text{л}} / 1 (\gamma^2 A_K + c / I_K)';$$

$$\text{кп} = - \prod \left(\frac{\text{шп}}{I(\gamma_{\text{л}_K} + \gamma_{\text{в}_K})} \right) \text{ з т Г э т з ' з т б ' в } \wedge';$$

$$\Pi 2 = 5 \tau 2' 5 \tau 4' 5 \tau 6' 5 \tau 8'.$$

5. Вычисляют окончательные поправки в каждый измеренный угол $(/) = (\gamma)' + (/)'$, а затем уравненные углы $'' = / + (/)$.

По уравненным углам с учетом значения исходной стороны по теореме синусов вычисляют стороны треугольников, а затем решением прямой геодезической задачи — координаты определяемых пунктов *р ид*.

Упрощенное уравнивание центральной системы (рис. 38, б) сводится к следующему.

1. Вычисляют первые части первичных поправок за условие фигур по формуле:

$$(\Pi^*) = (\angle ?_K)' = (C_K)' = -$$

где γ_K — невязка треугольника с номером K ; $\gamma O_K = \Pi_K - \angle B_K - C_K \sim 180^\circ$.

2. Находят предварительно исправленные углы при центральном пункте

$$\wedge K = C / C + (C / c)^1$$

и невязку за условие горизонта

$$\begin{matrix} N \\ \text{ш}_\Gamma = \S C'_\Gamma - 360^\circ. \\ 1 \end{matrix}$$

3. Вычисляют вторую часть первичной поправки в каждый из промежуточных пунктов углов

$$-\frac{\omega_\Gamma}{N}$$

4. Определяют вторую часть первичной поправки в каждый из связующих углов A_K и B_K в размере половины поправки за условие горизонта при центральном пункте с противоположным знаком, т. е.

$$M^*)'' = (B^*)'' =$$

5. Вычисляют первичные поправки в связующие и промежуточные углы

$$(A_K)' = (A_K)'' + (A_K)'''$$

$$(B_K)' = (B_K)'' + (B_K)''';$$

$$(C^*)' = (C^*)'' + (C^*)''.$$

6. Вторичные поправки находят только в связующие углы

$$(A_K)'' = -(B_K)'' = k_{\Pi} (q_{A_K} + q_{B_K});$$

$\&_{\Pi} -$

$$1 (A_{A_K} - A_{B_K})^2$$

$$A_{A_K} = c^{\wedge} A_K', \quad A_K' = A_K + (A^{\wedge})';$$

$$A_{B_K} = c^{\wedge} B_K', \quad B_K' = B_K - (B_K)';$$

$$\omega_{\Pi} = \left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2} - 1 \right) 206\,265''; \quad \omega_{\Pi}^{\text{доп}} = \pm 50'' \sqrt{\sum (q_{A_K}^2 + q_{B_K}^2)}.$$

Контроль:

$$X(A_{A_K} + A_{B_K}) - (A_K)'' = m_{\Pi}.$$

7. Вычисляют уравненные связующие углы

$$A_K'' = A_K' + (A_K)'';$$

$$B_K'' = B_K' + (B_K)''.$$

За уравненный промежуточный угол принимается его значение, полученное с учетом первичной поправки, т. е. $C'^{\wedge} = C_K - (C_K)'$.

8. По уравненным с учетом численного значения исходной стороны вычисляют стороны треугольников, а затем, решая прямую геодезическую задачу — координаты определяемых пунктов.

Упрощенное уравнивание цепочки треугольников между двумя исходными сторонами (рис. 38, в) выполняется в следующем порядке.

1. Вычисляют первичные поправки в измеренные углы:

$$(A_K)'' = (B_K)'' = (C_K)'' =$$

$$\pm \frac{A_K - B_K - C_K}{3} - 180^\circ;$$

$$\text{Ша} = c \& n = \text{£} 2 \text{г} \text{Ь} \bullet \bullet \blacksquare = \text{^} 180^\circ N = \text{ос}_K$$

(условие дирекционных углов); $C'_K = C_K - (C^*)^1$, $(C_K)^{11} = \pm \wedge$;

$Y2)n$

$(Л_K) = (B^*) - 1 - (C^*)п.$

Примечание. В правые по ходу лежащие углы C_K поправку вводят со знаком невязки, а в левые — с противоположным знаком.

$$(A_K)' = (A_K)Y + (A_K)'',$$

$$(B_K)' = (B_K)Y + (B_K)'',$$

$$(C_K)' = (C_K)Y + (C_K)YK$$

2. Находят первично исправленные углы

$$A'_K \sim \wedge_K \sim (A_K)'' B'_K — (B_K)' \setminus C'_K = C_K - (C_K)'.$$

3. Вычисляют вторичные поправки в связующие углы

$$(Л_K)'' = — (B_K)'' = (YA_K - YB_K) \text{ ке, \}$$

$$M'б = (' \wedge — = \pm 50'' \text{л/тт?л}_K + <?/ <) \bullet$$

Контроль:

$$X (YA_K - YB_K) (A_K)'' — \sim \text{'б-}$$

4. Определяют уравненные связующие углы

$$A''_K = A'_K + (A_K)'',$$

$$\text{Щ} = B'_K + (B_K)'',$$

Примечание. За уравненный промежуточный угол принимают его значение, полученное с учетом первичной поправки, т. е. $C''_K = Ca_K + (C_K)'$ ■

5. По уравненным углам с учетом численного значения исходной стороны вычисляют сторону всех треугольников.

6. Вычисляют координаты определяемых пунктов по правилу одностороннего теодолитного хода (на рис. 38, в) ходовая линия показана пунктиром. Получившиеся при этом невязки $ши_x$ и W_y распределяют пропорционально горизонтальным проложениям соответствующих сторон триангуляции.

Рассмотренные способы могут быть применены к упрощенному уравниванию других типовых фигур триангуляции (см. рис. 38). При уравнивании типовых фигур триангуляции, показанных на рис. 38, $г и д$, вторичные поправки в связующие углы будут равны нулю, так как не возникает условного уравнения базисов (сторон), вторые части первичных поправок также равны нулю, т. е. отсутствует условное уравнение дирекционных углов. Уравнительные вычисления типовой фигуры «вставка

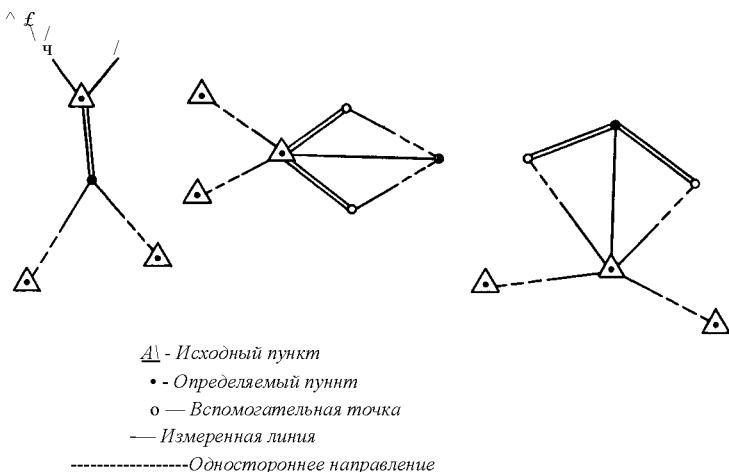


Рис. 39. Схемы определения координат пункта полярным способом

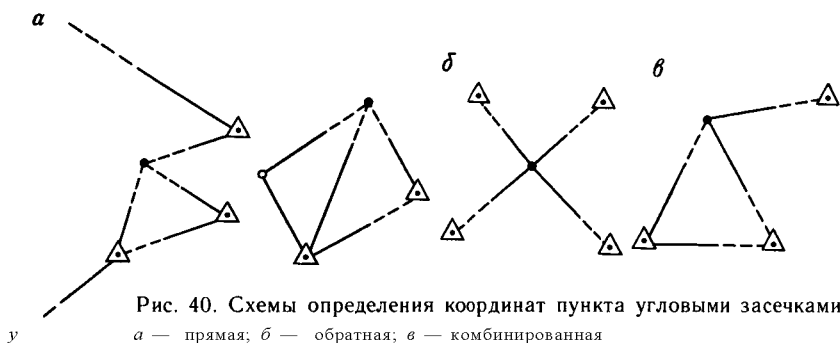


Рис. 40. Схемы определения координат пункта угловыми засечками:

в угол» (рис. 38, е) сходны с рассмотренными для центральной системы, только вместо условия горизонта будет условие исходного угла, а вместо полюсного — условное уравнение сторон (как для цепочки треугольников между двумя исходными сторонами). Координаты пунктов съёмочной сети помещают в отдельном списке, а при числе до 50 — в общем каталоге уравненных координат и высот геодезических сетей сгущения (после списка основных пунктов).

Пункты съёмочных сетей определяют также полярным способом и угловыми засечками (прямой, обратной, комбинированной). Типовые схемы определения координат пунктов приведены на рис. 39 и 40. Формулы для решения угловых засечек даны в разделе 1. 1.

2.2.4. Высотная съемочная сеть

Техническое нивелирование

Техническое нивелирование создается как съемочная сеть для производства топографической съемки обычно с высотой сечения рельефа через 0,25; 0,5 и 1,0 м. Однако инструкция [10] допускает применение технического нивелирования для создания съемочной сети с высотой сечения рельефа более 1 м. Ходы технического нивелирования прокладывают между исходными реперами в виде одиночных ходов и в виде системы ходов с одной или несколькими узловыми точками. В сеть ходов технического нивелирования включают пункты теодолитных ходов и триангуляции (взамен теодолитных ходов), а также отдельные местные предметы в виде выходов сетей подземных коммуникаций (крышки колодцев и коверов и др.), головки рельсов на переездах, валуны и прочие местные предметы.

Длины ходов технического нивелирования устанавливают в зависимости от принятой высоты сечения рельефа в соответствии с данными, помещенными в табл. 24.

Для производства технического нивелирования применяют нивелиры с ценой деления не более 45" на 2 мм и увеличением зрительной трубы не менее 20 $\times$ типа Н-10 КЛ (рис. 41), а также рейки нивелирные двусторонние шашечные, типа РН-10 с ценой наименьшего деления шкалы 10 мм (см. 1.3.3).

Техническое нивелирование производят по способу из середины в одном направлении, расстояние от прибора до реек измеряют по крайним дальномерным нитям зрительной трубы. Нормальная длина луча составляет 120 м, при хороших условиях видимости и четких изображениях она может быть увеличена до 200 м.

Таблица 24

Характеристика линий	Длина ходов (км) при высоте сечения (м)		
	0,25	0,5	1 и более
Между исходными пунктами	2,0	8	16
Между исходными пунктом и узловой точкой	1,5	6	12
Между двумя узловыми точками	1,0	4	8

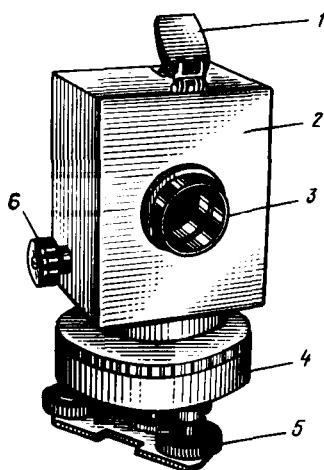


Рис. 41. Нивелир Н-10 КЛ:

/ — крышка зеркала; 2 — кожух; 3 — объектив; 4 — подставка; 5 — подъемный винт; 6 — головка механизма перифокусировки

После установки прибора в рабочее положение нивелирование на станции производят в следующем порядке:

отсчеты по черной и красной сторонам задней рейки;

отсчеты по черной и красной сторонам передней рейки.

Отсчеты по дальномерным нитям производят по черной стороне задней и передней реек. Расхождение превышений на станции, вычисленных по черной и красной сторонам реек, не должно превышать 5 мм. Отсчеты по рейкам, неравенства высот реек, вычисленные и средние превышения записывают в журнал установленной формы. Высоты характерных точек местности получают по черным сторонам реек, находящихся на этих точках. Отсчеты на характерных точках местности записывают также в журнале технического нивелирования.

При камеральной обработке результатов измерений проводят постраничный контроль в журнале; составляют схему высотной съемочной сети, где показывают: средние превышения со своим знаком и направление (стрелкой), к которому они относятся; длину сторон между точками съемочного обоснования (км) и число станций при нивелировании каждой линии; невязки в каждом полигоне или ходе и их допустимую величину, вычисляемую по формулам

$$/T'' = \pm 50 d / T. \text{ мм}$$

или

$$/Я^{\text{оп}} = \pm \sqrt{0,4/n}, \text{ мм,}$$

где I — число километров в ходе или полигоне; n — число станций.

Уравнительные вычисления производят с учетом схемы высотной сети, применяя соответствующие средства вычислений и алгоритмы уравнивания.

Тригонометрическое нивелирование

Для определения высот точек съемочной сети при топографической съемке с высотой сечения рельефа 2 и 5 м, а также 1 м в всхолмленных районах применяют при определении высот станций съемочной сети одностороннее тригонометрическое нивелирование.

Превышение $И_{AB} = k$ между пунктами съемочной сети A и B находят по формуле

$$И = k' + I - u + l, \quad (2.21)$$

где

$$/r' = \text{stg } v \text{ или } =$$

x — горизонтальное проложение между пунктами A и B ; r — измеренное зенитное расстояние на пункт B ; V — измеренный угол наклона на пункт B ; k — высота прибора над центром пункта A ; l — высота визирной цели над пунктом B ; i — поправка за кривизну Земли и рефракцию.

При условии, что визирование с пункта A будет на визирную марку, установленную в пункте B на высоте u — u превышение будет равно

$$Л = \text{stg } v + /. \quad (2.22)$$

Поправку за кривизну Земли и рефракцию вычисляют по формуле

$$j = \frac{1-k}{2R} s^2, \quad (2.23)$$

где κ — коэффициент рефракции; R — средний радиус Земли ($R = 6371$ км).

С учетом этого выражения основная формула для вычисления превышения между пунктами A и B имеет следующий вид (при $y = 0$)

$$h = \text{stg } v + \frac{1-k}{2R} s^2. \quad (2.24)$$

Наиболее сложным вопросом в тригонометрическом нивелировании является учет коэффициента рефракции. Теоретически наиболее простым является способ его определения, когда высоты концов базиса H_A и H_B известны из геометрического нивелирования с достаточно высокой степенью точности, в связи с чем превышение $A = H_B - H_A$ можно принять за действительную величину. Измерив теодолитом $T2$ двумя-тремя приемами угол наклона (или зенитное расстояние), можно определить, считая в известной величиной, коэффициент рефракции по формуле

$$\kappa = 1 - V. \quad (2.25)$$

В общем виде коэффициент рефракции зависит от места, времени и условий измерений и является переменной величиной. Среднее значение коэффициента рефракции приблизительно принимают $\kappa = 0,14$. Однако наблюдались отклонения от среднего на величину в среднем до $1/4 \kappa$ и более. Заметим, что значение коэффициента рефракции может быть отрицательным, что имело место на нагретых песчаных пространствах, участках, отведенных для мелиоративного строительства и др.

Постоянство коэффициента рефракции можно ожидать преимущественно в равнинных районах с однородной подстилающей поверхностью. Чтобы в значительной степени исключить влияние атмосферной рефракции, можно применить двустороннее тригонометрическое нивелирование при одновременном измерении зенитных расстояний с пунктов L и B .

Прямое превышение по направлению AB будет равно

$$h = H_B - H_A = s \text{ctg } z_1 + s^2 \frac{1-k_1}{2R} + i_A - v_B,$$

обратное

$$h' = H_A - H_B = s \text{ctg } z_2 + s^2 \frac{1-k_2}{2R} + i_B - v_A.$$

Допуская, что при одновременном нивелировании в прямом и обратном направлениях будет иметь место равенство $\kappa_1 = \kappa_2 = \kappa$ можно получить,

что среднее превышение будет свободно от влияния атмосферной рефракции и иметь следующий вид

$$B \text{ с } p - (H_B H \partial) \text{ с } p - x_p^{2-2}, \quad 22 \quad (2.26)$$

где $p = 206\,265''$; $22 - 21$ — разность зенитных расстояний, выраженная в секундах.

При равенстве $l_A - u_e$ и $l_B = u_A$ имеем

$$22 - 2| \quad p \quad (2.27)$$

При одностороннем нивелировании для уменьшения влияния рефракции можно применить способ «рефракционного базиса». На участке съемки необходимо иметь несколько базисов, чтобы иметь надежные значения коэффициентов рефракции, рассчитанных по формуле (2.25). С учетом вычисленных значений k для данных условий местности можно находить поправки в превышении по формуле

$$Л/Г = -\delta 5^2 / 2\Delta.$$

В настоящее время разрабатываются другие способы определения коэффициента рефракции, например, по измерениям флуктуации параметров лазерного луча в пространстве с помощью специальных приборов и углов прихода световой волны высокоточным теодолитом и др.

Точность одностороннего тригонометрического нивелирования можно оценить следующим образом. Запишем формулу (2.24) в несколько ином виде

$$k z^2 \quad (2.28)$$

Положив, что расстояние 5 определено с пренебрегаемо малой погрешностью, можно получить

$$m_h^2 = s^2 \frac{1}{\cos^4 v} \left(\frac{m_v}{p} \right)^2 + \frac{s^4}{4R^2} m_k^2.$$

Эта формула характеризует точность одностороннего тригонометрического нивелирования.

Для углов наклона $\gamma < 3^\circ$ и коротких расстояний Δ СБОО m средняя квадратическая погрешность $\Delta/ГД$ в основном зависит от точности измерения угла наклона и имеет следующий вид

$$m_k = \gamma, \quad \frac{ГПу}{p}$$

где Δ/p_γ — средняя квадратическая погрешность измерения угла наклона.

При создании высотных съемочных сетей методом тригонометрического нивелирования исходными служат пункты триангуляции и полигонометрии, высоты которых определены геометрическим нивелированием. Исходные пункты должны располагаться на расстоянии до 2 км, пре-

вышения между пунктами съёмочной сети определяют в прямом и обратном направлениях. Расхождения между прямыми и обратными превышениями или между превышениями, определяемыми на разные визирные цели, для одной и той же линии не должны превышать $0,04 \text{ м}$ 5, где 5 — длина линии, выраженная в сотнях метров.

Тригонометрическое нивелирование производят теодолитами 2Т5 или 2Т30 одним полным приемом одновременно с измерением горизонтальных углов. Высоты прибора и визирной цели измеряют с округлением до $0,01 \text{ м}$.

Для измерения вертикальных углов лучше использовать периоды достаточно четких и спокойных изображений визирных целей.

Допустимые невязки по высоте в замкнутом полигоне или ходах не должны превышать $\frac{1}{n} \pm 0,045_{\text{ср-ул}}$,

где $5_{\text{ср}}$ — $\frac{1}{n}$ средняя длина линии в ходе, выраженная в сотнях

метров; n — число линий в ходе или полигоне.

При тригонометрическом нивелировании в горных условиях необходимо повысить требование к точности измерения углов наклона и обратить внимание на достоверность определения горизонтальных проложений при построении плановых съёмочных сетей. В этом случае методику работ определяют на основании специальных расчетов.

2.3. МЕТОДЫ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК

2.3.1. Стереотопографический метод съёмки

Этот метод позволяет получить по аэроснимкам (снимкам) топографические карты и планы в камеральных условиях. В полевых условиях выполняют привязку и дешифрирование снимков. Камеральная обработка данных может выполняться по различным технологическим схемам. Общая для любых технологических вариантов часть действий складывается из: подготовительных работ, составления проекта с технико-экономическим обоснованием (ТЭО), аэрофотосъёмки, сгущения планово-высотной геодезической основы и привязки снимков, дешифрирования снимков и планово-высотного фотограмметрического сгущения сети опорных точек.

Подготовительные работы заключаются в сборе: картографических материалов на район съёмки, сведений о расположении и состоянии пунктов государственной геодезической сети, географических и метеорологических справочников и описаний и других материалов.

Проект выполнения работ составляют по результатам анализа собранных материалов. Исходя из технико-экономических и организационных особенностей картографирования конкретного района, выбирают технологию выполнения полевых и камеральных работ, принимают решение о восстановлении геодезических знаков, составляют проект сгущения планово-высотной геодезической сети, устанавливают необходимость маркировки точек на местности, определяют тип и размер мар-

кировочных знаков и места их установки, выбирают время аэрофото- съемки, ее параметры и характеристики съемочной системы и др.

Аэрофотосъемка. Выбор съемочной системы, времени и параметров аэрофотографирования имеет большое влияние на качество и себестоимость выпускаемых карт. Аэрофотосъемку выполняют с самолетов, реже с вертолетов. Основные типы используемых отечественных самолетов: АН-2, имеет среднюю скорость 180 км/ч, предельную высоту полета 5 км; ИЛ-14 — ФКМ — соответственно 300 км/ч и 5,6 км; АН-30 — 440 км/ч и 8 км; ТУ-134 СХ — 750 км/ч и 11 км, а также вертолет Ка-26 — 140 км/ч и 3 км.

Выбор типа самолета зависит от размера снимаемого участка масштаба фотографирования и фокусного расстояния АФА (f), выдержки и допустимого линейного смаза изображения.

Для съемки равнинных и всхолмленных открытых районов используют АФА с $f = 70$ мм, залесенных районов — с $f = 100$ мм, горных и высокогорных районов — с $f = 100, 140, 200$ мм. Формат кадра 18X18 см. Используются также зарубежные АФА с форматом 23X23 см и $f = 83, 152, 210$ мм.

Экономичность стереотопографических работ в значительной мере зависит от разрешающей способности изображения на негативах, которая определяется, главным образом, разрешающей способностью системы объектив — аэропленка, смазом изображения вследствие перемещения летательного аппарата относительно местности (линейный смаз) и угловых колебаний оптической оси АФА (угловой смаз) в момент экспонирования.

Разрешающая способность объективов отечественных АФА порядка 25—65 лин/мм в центре и 10—35 лин/мм на краях кадра, черно-белых аэропленок — 60—250 лин/мм и цветных — 60—90 лин/мм. Разрешающая способность системы объектив — аэропленка средней чувствительности до 60 лин/мм в центре и до 20 лин/мм на краю кадра.

На результирующую разрешающую способность влияет, в основном, линейный смаз b_L . Зависит он от путевой скорости летательного аппарата — V , времени экспонирования — t и масштаба фотографирования — M и выражается формулой

Пользуясь этой формулой и исходя из необходимого значения m , выбирают тип самолета, если значение t лимитировано, или подбирают аэропленку с нужной чувствительностью и размер диафрагмы, если тип самолета определен. Линейный смаз изображения не должен превышать 0,05 мм.

Фотограмметрическая дисторсия объективов АФА порядка 0,01 — 0,04 мм. В лучших образцах объективов дисторсия доведена до единицы микрометра. Сокращение дисторсии, а также повышение качества выравнивания аэропленки при экспонировании позволяет уменьшить масштаб фотографирования и, следовательно, сократить себестоимость продукции.

Фокусное расстояние камеры АФА определяет качество фотограмметрической засечки — с уменьшением / угол засечки увеличивается, но одновременно в большинстве случаев снижается качество изображения к краям кадра. Поэтому точность стереофотограмметрических измерений изменяется не пропорционально изменению / при том же масштабе фотографирования.

Правильный выбор типа аэропленки и светофильтра, т. е. спектрального интервала фотографирования, может в значительной степени повысить дешифрируемость черно-белых снимков, особенно при камеральной дифференциации лугов, болот, определении типов древесной растительности и др. Цветная аэропленка рекомендуется для съемки крупных населенных пунктов и открытых горных районов; спектрзональная — при съемках районов с разнообразной растительностью в весенний и летний периоды, а также районов с закрытой растительностью мелкой гидрографической сетью.

Аэрофотосъемку выполняют при открытой земной поверхности, т. е. ранней весной или поздней осенью, если высота сечения рельефа на составляемой карте через 2 м и менее. Время аэрофотосъемки выбирают также в зависимости от состояния водоемов — уровень воды в реках должен соответствовать меженному, а в водохранилищах соответствовать нормальному подпорному горизонту.

Масштаб фотографирования 1 : m зависит от масштаба изготавливаемого плана (карты), ландшафтных особенностей района, высоты сечения рельефа, качества съемочной и обрабатывающей аппаратуры. При создании карт плоско-равнинных районов в масштабе 1:10 000 масштаб снимков примерно в 1,4 раза мельче масштаба карты. С укрупнением масштаба картографирования равнинных районов различие масштабов снимков и карты увеличивается (до 2—3 $\times$), с уменьшением — масштабы сближаются.

Подробные сведения о значении масштабов фотографирования для планов различных масштабов приведены в инструкциях [10 и 12].

Максимальная высота фотографирования определяется по формуле

$$= \frac{p}{\sigma_{\Delta p}} \sigma_H$$

где p — средняя величина продольного параллакса (базиса фотографирования в масштабе снимка); σ_H — допустимая средняя квадратическая погрешность определения высот точек; $\sigma_{\Delta p}$ — средняя квадратическая погрешность измерения разностей продольных параллаксов.

По формуле

$$G = mH$$

можно приближенно определить значение фокусного расстояния АФА.

Продольное перекрытие снимков в маршруте P_x задают равным примерно 60 % при минимально допустимом — 56 %. Поперечные перекрытия P_y определяют из выражений:

$(30 + 70 \text{ г/л})$	%	при	$t = 25\ 000$ и более;
$(35 + 65 \text{ кг/ч})$	%	при	$m = 25\ 000$ ч-10 000;
$(40 + 60 \text{ кг/ч})$	%	при	$t = 10\ 000$ и менее,

где k — максимальное превышение точек местности над средней секущей плоскостью на снимаемом участке.

Минимальное поперечное перекрытие составляет 20%.

Базис фотографирования B_x и расстояние между смежными аэро-съемочными маршрутами B_y

$$B_x = l_x \left(1 - \frac{P_x}{100} \right) m \text{ и } B_y = l_y \left(1 - \frac{P_y}{100} \right) m,$$

где l_x и l_y — размеры сторон снимка (обычно $l_x = l_y$).

Полученные величины учитывают при составлении проекта аэрофото-съемки. Маршруты проектируют вдоль параллелей, реже вдоль мери-дианов. Оси крайних маршрутов прокладывают по границам съемочных участков. Маршруты продолжают за границы участка на один базис при $P_x = 60\%$ и на два базиса при $P_y = 80\%$.

При съемке для составления карты в масштабе 1:25 000 с сечением рельефа через 5 и 10 м в труднодоступных и мало контурных районах поперек основных маршрутов через 20—25 км прокладывают каркас-ные маршруты с $P_x = 80\%$.

В районах с недостаточным количеством точек, которые могли бы использоваться в качестве опознаков, до аэрофото-съемки выполняют полевую маркировку точек — установку специальных знаков. Форма знаков в основном крестообразная; размер зависит от масштаба фотографи-рования и разрешающей способности съемочной системы; цвет — от яркости фона. Одновременно маркируют пункты геодезической основы. Один из вариантов маркировки — обновление окопки, снятие дерна на участках с зеленой растительностью.

Основные требования к выполненной аэрофото-съемке следующие:

уклонение высоты полета от заданной не должно превышать 3% в рав-нинных и 5% в горных районах;

непрямолинейность (стрелка прогиба) маршрута — не более 2%;

взаимопродолжные и взаимоперпендикулярные углы наклона снимков при стабилизации АФА — не более $1,5^\circ$, при $f=140$ мм и 2° при $f=200$ мм;

непараллельность базиса фотографирования стороне снимка — не более 5° при $f=100$ мм, 7° при $f=140$ мм, 10° при $f=200$ мм;

снимки должны иметь установленные действующими нормативными документами: плотность вуали, интегральную, минимальную и макси-мальную плотность изображения; определенный для изображенного ландшафта коэффициент контрастности;

снимки не должны иметь фотографических и физических дефектов, мешающих их фотограмметрической обработке и дешифрированию.

При аэрофото-съемке синхронно с экспонированием регистрируются показания радиовысотомера и одно-двух статоскопов.

Сгущение плановой и высотной геодезической основы и привязка снимков. При недостаточной плотности государственной геодезической сети для непосредственной привязки снимков выполняют предварительное сгущение методами триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов и технического нивелирования.

К проекту сгущения, если в нем есть необходимость, составляют рабочий проект съёмочной сети — привязки снимков. Привязка может быть плановой, когда определяют координаты X и Y точек местности, соответствующие необходимым точкам снимков; высотной, когда определяют высоты точек H , и планово-высотной, когда определяют все три координаты. Если количество опознаков непосредственно обеспечивает фотограмметрическую обработку снимков — привязка сплошная, в противном случае — разреженная. Сплошная плановая привязка применяется как исключение, при крупномасштабном (1:5000 и крупнее) картографировании застроенных территорий. Для определения координат опознаков в этом случае максимально используют плотную городскую геодезическую сеть и закоординированные местные предметы. Необходимость использования сплошной высотной привязки зависит от масштаба снимков, качества съёмочной и обрабатывающей аппаратуры и высоты сечения рельефа.

Для составления проекта привязки снимков используют топографические карты, снимки, репродукции накидного монтажа. На основу проекта (чаще репродукция накидного монтажа) наносят границы участка, пункты государственной геодезической сети и сетей сгущения, оси аэрофотосъёмочных маршрутов, зоны размещения опознаков. Последние располагают рядами поперек маршрутов в середине их перекрытия и, по возможности, в зонах тройного продольного перекрытия снимков. Ряды делят маршруты на секции.

Осредненные расстояния между рядами в км обычно даются в нормативных документах.

Для исключения прогиба фототриангуляционного ряда по середине секции проектируют дополнительные опознаки, по крайней мере, один на пару смежных секций. Дополнительными опознаками обеспечивают также свободные границы участков, расположенные вдоль маршрутов. При блочном фототриангулировании опознаки располагают по периметру блока из 4—10 маршрутов. Интервал между рядами опознаков при этом увеличивается примерно вдвое. Проектом предусматривается также определение урезов воды в водоемах. При привязке каркасных маршрутов опознаки располагают только на них парами с интервалом 10—12 км, в горных районах — 13—15 км. При сплошной плановой привязке опознаки располагают по углам рабочей площади снимков; при сплошной высотной привязке — по углам рабочей площади стереопар.

В качестве опознаков используют опознающиеся пункты геодезического обоснования, маркированные точки и точки местности, надежно опознающиеся на снимках (погрешность не более 0,1 мм на карте). Все перечисленные типы точек обводят на лицевой стороне снимка окружностью диаметром 10 мм, рядом указывают номер точки (название пункта).

Опознанные точки местности накалывают иглой на одном из снимков. На обратной стороне снимка накол обводят меньшей окружностью, подписывают номер точки, рисуют абрис, дают краткое описание.

Если точка не закреплена на местности, ее закрепляют временным знаком — деревянным колом, столбом, трубой, забитыми в грунт на 0,4—0,6 м и окопанными круглой канавой диаметром 0,8 м.

Плановые опознаки определяют с помощью триангуляционных построений, угловых засечек, теодолитных ходов и различных сочетаний перечисленных способов. Высотную привязку выполняют с использованием технического нивелирования или тригонометрического, в остальных случаях в зависимости от высоты сечения рельефа. Длины ходов, допустимые невязки и другие технические нормы регламентируются действующими инструкциями [12] и др.

Планово-высотное фотограмметрическое сгущение выполняют преимущественно методом фототриангуляции. При этом используются способы: аналоговый — на аналоговых стереоприборах (СПР, СЦ, Топокарт и др.), аналитический — на основе обработки на ЭВМ измеренных с помощью стереокомпараторов или монокомпараторов координат точек снимков, аналого-аналитический, в котором одиночные модели местности создаются на аналоговых стереоприборах, а объединение и геодезическое ориентирование их выполняется с помощью ЭВМ. Фототриангуляция может быть маршрутной, развиваемой по снимкам одного маршрута и блочной, когда в едином процессе сгущения используют два и более маршрутов. Последний вариант позволяет существенно сократить объем работ по привязке снимков. Наиболее эффективна аналитическая блочная фототриангуляция.

Дешифрирование снимков — процесс опознавания подлежащих нанесению на карту объектов, определение их положения, количественных и качественных характеристик и выражение полученных сведений условными знаками. В задачи дешифрирования входят также досъемка неизобразившихся объектов, определения названий населенных пунктов, рек, урочищ и др.

Топографическое дешифрирование выполняют только визуальным методом. Оно может быть полевым, если район имеет сложную ситуацию с большим числом неизобразившихся объектов, например, крупные населенные пункты. Более экономно камеральное дешифрирование, применяющееся в недоступных и труднодоступных районах, а также в районах с несложной ситуацией и достаточным обеспечением вспомогательными материалами (картами, справочниками и др.). Основным является комбинированное дешифрирование, в котором сочетаются камеральные и полевые работы. Чаше камеральные работы предшествуют полевым. В поле при этом дешифрируют неопознанные и доснимают неизобразившиеся объекты, дорабатывают сомнительные участки, и попутно проводят контроль камеральных работ.

В мало изученных и недостаточно обеспеченных вспомогательными материалами районах сначала проводят полевое маршрутное дешифрирование. Полученные материалы используют в качестве эталонных для

камерального дешифрирования оставшихся территорий. Маршруты прокладываются по сухопутным и водным путям сообщения, вдоль свободных рамок трапеций, через участки со сложной ситуацией. В труднодоступных крупноконтурных районах может использоваться аэровизуальное дешифрирование при высоте полета порядка 200—300 м и скорости 60—75 км/ч, для досъемки неизобразившихся объектов используют бортовое фотографирование (допускается использование неметрических камер).

Для дешифрирования используются контактные снимки, если на них читаются все необходимые элементы ситуации и с достаточной точностью отображаются условными знаками. В противном случае для дешифрирования изготавливают увеличенные снимки. При аэровизуальном дешифрировании удобно пользоваться одномаршрутными фотосхемами. Если к моменту дешифрирования изготовлены фотопланы, то дешифрируют их фотокопии. В этом случае сокращается объем работ по сводке результатов дешифрирования, исключаются работы по перенесению результатов со снимков на фотопланы (при улучшенном вычерчивании), упрощаются досъемочные работы, но одновременно усложняется дешифрирование в связи с понижением информативности фотоизображения и ухудшением возможностей его стереоскопического рассматривания. Лучшим материалом для дешифрирования являются стереофотопланы.

В процессе дешифрирования выполняется генерализация информации. Нормы генерализации определяют действующими инструкциями.

Дешифрирование может выполняться параллельно с привязкой снимков или последовательно, после привязки и изготовления фотопланов. При составлении карты на аналоговых стереоприборах дешифрирование может совмещаться со съемкой контуров, а при использовании комбинированного способа—со съемкой рельефа. В первом случае обязательны полевой контроль и доработка результатов дешифрирования на сложных участках.

Для фототрансформирования снимков используют кадровые и дифференциальные фототрансформаторы. В кадровых фототрансформаторах негативное изображение в целом проецируется на экран, приводится к заданному масштабу путем перспективных и масштабных преобразований и фиксируется на фотобумаге. Для этого необходимо на основе иметь 4—5 трансформационных точек на каждый снимок. Эти точки определяют при привязке снимков или в результате фототриангуляционного сгущения опорных точек. Трансформирование может быть выполнено также по устанавливаемым на шкалах прибора величинам. Необходимые для вычисления установочных величин элементы внешнего ориентирования снимков определяют в процессе аналитического фототриангулирования. Фототрансформатор при этом должен иметь шкалы для установки необходимых величин. Такими приборами могут быть ФТА, ректимат («К. Цейсс», Йена), БЕй-6 («Оптон») и др.

Если снимаемая местность — равнина (смещение точек изображения за рельеф меньше $\pm 0,4$ мм), то для каждого кадра получают один

трансформированный снимок. Эти снимки по трансформационным точкам наклеивают на основу. Лишние части перекрытий снимков обрезают.

Если влияние рельефа больше указанной нормы, негативы трансформируют на несколько плоскостей (зон). Для каждой зоны получают свой трансформированный снимок. При монтаже фотоплана в этом случае из каждого снимка вырезают только часть, принадлежащую данной зоне — именно здесь изображение в заданном масштабе. Более экономично этот процесс выполняют путем оптического монтажа. В этом варианте части негатива, относящиеся к определенным зонам, последовательно проецируют на один лист фотобумаги. Другие части изображения при этом закрывают маской.

При значительном числе зон (более 5) монтаж фотопланов усложняется. Карту в этом случае составляют с помощью аналоговых или аналитических стереоприборов. Если необходимо сохранение фотоизображения, используют ортофототрансформирование, выполняемое с помощью ортофототрансформаторов. Трансформируемое изображение в данном случае создается в результате непрерывного экспонирования светочувствительного материала через сканирующую диафрагму. Масштаб изображения при этом также непрерывно приводится к нужному. Информация о рельефе, необходимая для масштабирования изображения, получается оператором путем удержания движущейся по линиям сканирования пространственной марки на поверхности наблюдаемой стереомодели. Поэтому ортофотопроектор входит составной частью в систему, базирующуюся на некотором стереоприборе. Наиболее распространены ортофототрансформатор Ф. В. Дробышева ОФПД и система Топокарт-ортофот («К. Цейс», Йена). Известны автоматизированные ортофото-системы, в которых марка по стереомодели ведется автоматически.

Одним из вариантов дифференциального трансформирования является трансформирование аналитическое. Фотоизображение в аналитической системе дискретизируют, измеренные оптические плотности кодируют. Координаты выделенных элементов изображения обрабатывают на ЭВМ. По преобразованным координатам с помощью выводного устройства фототелеграфного типа восстанавливают фотоизображение в нужной картографической проекции.

На фотоплане, независимо от использованного варианта трансформирования снимков, установлены точностные нормы: расхождения контуров на линиях соединения смежных снимков не должны превышать 1 мм, а на участках со сплошной капитальной застройкой — 0,6 мм; отклонения точек снимков от трансформационных точек основы — соответственно 0,5 и 0,4 мм.

Горизонтالي наносят на фотоплан с помощью аналоговых или аналитических стереоприборов. Каждую пару снимков на стереоприборе ориентируют по 3—4 опорным точкам, нанесенным на основу. Снимки считают ориентированными, если им и частям стереоприбора придано положение, при котором в пределах рабочей площади стереопары отсутствуют поперечные параллаксы, опорные точки построенной геометрической модели местности проецируются в соответственные точки основы, измерен-

ные высоты этих точек равны геодезическим. Возможные отступления регламентируют техническими условиями.

Горизонтали трассируют ведением пространственной марки по поверхности стереомодели. Высоту марки устанавливают равной высоте горизонтали. При съемке слабо выраженного рельефа, а также при съемке рельефа на застроенных и покрытых древесной растительностью участках горизонтали могут проводиться по стереоскопически определенным пикетам. Такие пикеты берутся в местах с открытой земной поверхностью. При проведении горизонталей на участках со сплошной равновысокой растительностью в их отметки при трассировании вводят поправки равные высоте растительности. Последнюю определяют в процессе привязки снимков или стереоскопически в точках с обнаженной поверхностью (на опушках, дорогах, полянах).

Одновременно с повышенной точностью определяют отметки точек, подписываемых на карте — характерных элементов рельефа, урезов воды в водоемах, полотна железных и автомобильных дорог и др.

Проведение горизонталей на фотопланах имеет специфику — здесь легче и достовернее выполняется укладка горизонталей, повышается детальность проработки элементов микрорельефа.

Результаты съемки рельефа регистрируют непосредственно на фотоплане или на прозрачном пластике, уложенном на фотоплан.

Если карту составляют на чистой основе, дополнительным процессом будет съемка ситуации. Сначала на основу наносят основные топографические элементы — общие контуры населенных пунктов, дороги, береговые линии гидрографических объектов, основные контуры сельскохозяйственных и лесных угодий, а затем отрабатывают внутреннее содержание образовавшихся участков. Пространственная марка при съемке ситуации должна постоянно находиться на поверхности стереоскопической модели — оператор перемещает марку в плане и по высоте одновременно. Требования к точности нанесения на карту ситуации и горизонталей те же, что и при геодезических способах съемки.

Одним из наиболее перспективных направлений в стереотопографическом способе картографирования является цифровое моделирование. Получение цифровых моделей местности (ЦММ) при этом реализуется в двух, несколько различающихся вариантах. В одном цифровая информация — координаты дискретных точек ситуации и рельефа с соответствующим кодом этих точек — получают с помощью аналоговых или аналитических стереоприборов. К аналоговому стереоприбору придают специальные устройства для кодирования и цифровой регистрации наблюдаемых точек стереомодели местности. В систему современных аналитических стереоприборов эти устройства входят непосредственно. Такие системы могут работать в обычном режиме — графическую регистрацию результатов выполняют синхронно с наблюдением на графопостроителе. Графопостроитель в системе может работать автономно во времени — на основе вычерчивают границы объектов, расставляют по команде оператора условные знаки, площади; оператор в это время наблюдает другие объекты и дает новые команды на отработку этих объектов. Вся полу-

ценная информация одновременно может записываться на магнитные носители. Полученные таким путем ЦММ с помощью графопостроителя могут быть преобразованы в графические карты любого масштаба в пределах заложенной в ЦММ точности.

В другом варианте координаты точек снимков, продольные и поперечные параллаксы измеряют с помощью стереокомпараторов с автоматической регистрацией получаемых данных и кодов точек. Эти данные с помощью ЭВМ преобразуются в ЦММ. Графическая реализация ЦММ не отличается от аналогичной процедуры в предыдущем варианте.

Редактирование, подготовку к изданию и размножение карт проводят обычным путем.

2.3.2. Комбинированный аэрофототопографический метод съемки

Используют преимущественно при съемке плоско-равнинных районов в масштабах 1:10 000 и крупнее с малой высотой сечения (1 м и менее). Особенностью аэрофотосъемки в данном случае является желательное увеличение высоты фотографирования с соответствующим увеличением АФА. Это позволяет получить изображение с лучшими геометрическими свойствами, с более высокой и однородной разрешающей способностью, а также с более постоянными фотометрическими характеристиками по полю кадра.

Основой для съемки рельефа служат, обычно, фотокопии фотопланов на матовой или полуматовой фотобумаге, наклеенной на жесткую основу. Технология изготовления фотопланов не отличается от изложенной в предыдущем разделе. К фотопланам (для стереоскопического наблюдения их) прилагают комплект трансформированных фотоснимков; к ортофотоплану — дополнительное специально получаемое при ортофототрансформировании изображение (в совокупности — стереортофотоплан).

Рельеф снимают с помощью мензулы и кипрегеля, а при достаточном количестве идентифицирующихся на фотоплане точек местности — с помощью нивелира.

Высотную съемочную сеть создают техническим или тригонометрическим нивелированием в зависимости от принятой высоты сечения.

В качестве станций используют преимущественно точки местности, надежно опознающиеся на фотоплане. Высоты на них передаются не менее чем с двух ближайших точек съемочной сети. Расстояния при этом определяют дальномером или по фотоплану.

Если станцию не опознают на фотоплане, ее плановое положение определяют обратными засечками или промерами от ближайших опознающихся точек.

Пикеты определяют обычным способом (см. 2.3.4). По возможности они совмещаются с опознающимися точками. Расстояния до них в этом случае измеряют на фотоплане. Если со станции видна поверхность земли, рейка на такие точки не посылается — соответствующая нить кипрегеля наводится непосредственно на землю в опознанной точке. При

достаточном количестве опознающихся точек, например в населенном пункте, для набора пикетов может использоваться только нивелир. Если опознающихся точек недостаточно, положение пикетов определяют с помощью кипрегеля обычным путем. Мензулу при этом точно ориентируют по удаленным надежно опознающимся на фотоплане объектам.

Количество необходимых пикетов при комбинированной съемке меньше, чем при обычной мензульной съемке, так как фотографическое изображение, особенно при его стереоскопическом рассматривании, несет значительную информацию о микрорельефе местности.

Горизонтали проводят непосредственно на станции, при необходимости определяют дополнительные пикеты. Калька высот ведется ежедневно обычным образом.

Одновременно со съемкой рельефа выполняют дешифрирование фотопланов. Неизобразившиеся объекты наносят с помощью кипрегеля или линейных засечек, если пикеты определяют с помощью нивелира. Результаты съемки рельефа и дешифрирования иногда наносят на матированный прозрачный пластик, закрепленный на фотоплане. Чертежные работы в этом случае выполняют особенно тщательно с соблюдением требований действующих условных знаков. В таком варианте обеспечивают быстрое получение копий полевых оригиналов.

Дальнейшие работы — свodka горизонталей и контуров по рамкам трапедий, контроль качества съемки рельефа и дешифрирования, редактирование и прочее — выполняют обычным образом.

2.3.3. Наземный фототопографический метод съемки

Используют при картографировании небольших участков местности в горных и высокогорных районах, а также в тех же районах как средство определения пространственных координат отдельных точек местности при планово-высотной привязке аэрофотоснимков.

Фотосъемку и геодезические работы выполняют с помощью специальных приборов — фототеодолитов, включающих в себя прецизионные фотокамеры, угломерные устройства и дополнительные обслуживающие приспособления. Последние позволяют приводить угол наклона оси камеры и угол поворота плоскости снимка вокруг этой оси к нулю и устанавливать фиксированные значения углов отклонения оптической оси камеры от нормали к базису. Именно при таких положениях оптической оси камеры — нормальном и равноотклоненном влево и вправо — выполняется фотографирование. Достаточно точное знание элементов ориентирования снимков позволяет сравнительно просто выполнять их фотограмметрическую обработку.

В отечественной практике используют фототеодолиты: «Геодезия» (СССР), TAN, Photo 19/1318, UMK 10/1318 («К. Цейсс», б. ГДР) и др.

Работу начинают с составления технического проекта. В его текстовой части указывают масштаб съемки, высоту сечения рельефа, приводят данные по топографо-геодезической обеспеченности района работ и его физико-географических условиях, определяют необходимость и методы

сгущения опорной геодезической сети, технологию выполнения полевых и камеральных работ, дают экономическое обоснование реализации проекта.

Для составления графической части проекта используют топографические карты в масштабе более мелком, чем масштаб составляемой карты (в 4—5 раз). Проектирование начинают с размещения базисов, концы которых будут станциями фотографирования. Последние должны располагаться на возвышенностях с хорошим обзором снимаемой местности. Базис должен располагаться вдоль генерализованной наклонной плоскости снимаемого с него участка. Его угол наклона не должен превышать $\pm 10^\circ$, а протяженность должна быть меньше величины, определенной (для случая съемки при равноотклоненных оптических осях камеры) по формуле

$$\rho_{\min} \sim \frac{Y_{\max}^2 a_{\text{up}}}{\Gamma_{\text{ст}} T \gg -\text{ст}/\cos \sigma_p}$$

где $Y_{\max}$ — расстояние до дальней границы фотографируемого с данного базиса участка; f — фокусное расстояние фотокамеры; σ_p — средняя квадратическая погрешность измерения продольных параллаксов; a_{up} — средняя квадратическая погрешность определения положения точки на карте; Φ — угол отклонения оптической оси камеры от нормали к базису.

Для нормального случая съемки формула примет вид

$$\rho_{\min} \sim \frac{f \tan \sigma_p a}{\text{ст} \cdot \text{ст} \cdot \text{ст}}$$

Приняв $\tan \sigma_p = 1/1000$, $\sigma_p = 0,01$ мм, $f = 200$ м и $\cos \sigma_p = 0,8$, получим для тех же случаев съемки соответственно:

$$\rho_{\min}^{\text{ст}} \sim \frac{Y_{\text{ст}}}{\text{ст} \cdot \text{ст} \cdot \text{ст}}$$

Ближнюю границу съемки находят по формуле $K_{\text{бл}} = 4V_{\text{ст}} \cdot \text{ст} \cdot \text{ст}$.

С помощью специальной палетки наносят на карту боковые границы снимаемого участка. Затем для каждой стереопары намечают 3—4 контрольные точки, две-три из которых размещают у дальней границы и одну-две у ближней.

После нанесения на карту всех базисов и секторов съемки для каждого базиса выделяют предполагаемые «мертвые» зоны, и принимают решение о способе досъемки этих зон.

Полевые работы на станции: геодезическое определение координат и высоты одного из концов базиса, его длины, наклона и дирекционного угла, координат контрольных точек и фотографирование местности. Фотографирование должно быть выполнено в возможно короткий срок — изменение условий освещения может усложнить стереоскопические наблюдения снимков.

Фотограмметрическая обработка полученных снимков может выполняться аналитическим или аналоговым способами. В первом случае координаты и продольные параллаксы точек снимков измеряют с помощью

стереокомпараторов. Полученные результаты обрабатывают на ЭВМ. На выходе получают координаты точек местности, по которым создают карту. Более производительнее этот процесс выполняют с помощью аналитических стереофотограмметрических приборов, например, с помощью СПА (СССР), трастера («Матра», Франция), планикомпа («Оптон», ФРГ), авиолита («Вильд», Швейцария) и др.

Во втором случае для обработки снимков используют аналоговые стереоприборы специализированные или те, что используют и для обработки аэрофотоснимков. К первым относятся стереоавтограф и технокарт («К. Цейсс», б. ГДР); ко вторым—топокарт и стереометрограф («К-Цейсс», б. ГДР), автографы («Вильд», Швейцария) и др.

Карту на аналитических и аналоговых стереоприборах получают непосредственно на координатографе или в виде цифровой модели. К аналоговым стереоприборам в этом случае придают устройства для кодирования точек и регистрации их координат.

Требования к точности карты, созданной по фототеодолитным снимкам, не отличаются от требований, используемых при создании карт другими способами.

2.3.4. Мензульная съемка

Топографическую съемку, выполняемую с помощью мензулы и кипрегеля, называют мензульной. Мензульную съемку выполняют в масштабах 1:500—1:5000 и на сравнительно небольших участках, а также в случаях, когда отсутствуют материалы аэрофотосъемки или экономически нецелесообразно производить стереотопографическую съемку. Мензульную съемку делают на чертежных основах, изготовленных из прозрачных малодеформирующихся пластиков или из высококачественной чертежной бумаги, которые наклеивают для предохранения плана от деформации на лист высокосортной фанеры или алюминия. На полученный таким путем съемочный планшет (или просто планшет) наносят с помощью топографической линейки Дробышева или координатографа координатную сетку со стороной 10 см, причем для съемки масштабов 1:500—1:2000 квадраты строят в рамках размером 50X50 см, а масштаба 1:5000— в рамках 40X40 см.

На подготовленный планшет наносят по координатам пункты съемочного обоснования, подписывают координаты углов рамки и номенклатуру планшета на северной стороне рамки. Контроль построения на планшете координатной сетки и нанесения по координатам пунктов съемочной сети контролируют с помощью контрольной линейки. Отклонения сторон квадратов от их теоретического значения (10,00 см) не должно быть более 0,02 мм, а для суммарной стороны из трех и более квадратов — 0,03 мм. Отклонение диагонали планшета от ее теоретической величины не должно превышать 0,5 мм. Контроль нанесения на планшет пунктов съемочного обоснования осуществляют по соответствующим горизонтальным проложениям. Расхождения допускают не более 0,02 см.

Основными приборами мензульной съемки являются кипрегель, мензула и дальномерная рейка.

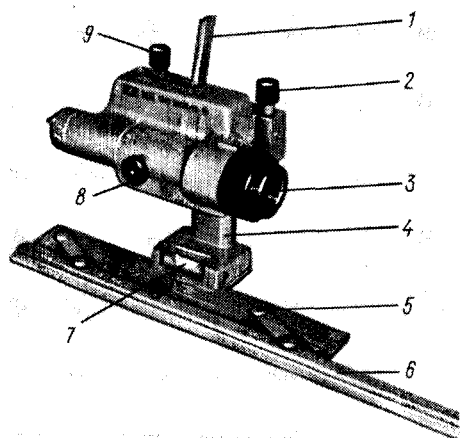


Рис. 42. Кипрегель КН:

1—зеркало уровня; 2—установочный винт уровня; 3—объектив; 4—колонка; 5—линейка основная; 6—линейка дополнительная; 7—цилиндрический уровень; 8—головка механизма перефокусировки; 9—наводящий винт вертикального круга

Кипрегель КН (рис. 42) является номограммным прибором с уровнем *при* вертикальном круге (кипрегель может изготавливаться с компенсатором и обозначаться КН-К). Кривые превышений и горизонтальных проложений распространены на все поле зрения зрительной трубы и имеют соответственно коэффициенты $k_h = \pm 10, 20, 100$ и $k_v = 100, 200$, изображения которых наблюдают при круге лево.

Начальная кривая расположена в нижней части поля зрения трубы. В комплект кипрегеля входит топографическая рейка с выдвижной пяткой, позволяющей установить нулевой штрих рейки на высоту прибора. Горизонтальное проложение h и превышение l между точками местности определяют по формулам

$$h = k_h (l_s, -l_n);$$

$$l = k_v (i_s, -i_n)$$

где k_h и k_v — соответственно коэффициенты кривых горизонтальных проложений и превышений; i_n — отсчет по начальной кривой; l_s и l_n — соответственно отсчеты по кривым горизонтальных проложений и превышений; h — высота прибора; i — высота визирной цели (точки наблюдения).

При установке нулевого штриха рейки на высоту прибора, т. е. при условии $h = 0$, превышение будет равно

$$k - k_v (i_s, -i_n).$$

Перед отсчетом по рейке пузырек цилиндрического уровня приводят на середину установочным винтом уровня 2 (см. рис. 42).

Кипрегель КН снабжен реверсионным (оборотным) цилиндрическим уровнем для определения превышений горизонтальным визирным лучом, т. е. как нивелиром.

Место нуля вертикального круга и углы наклона при измерениях кипрегелем КН вычисляют по формулам

л) П+Л.

$$V = П - МО = Л + МО.$$

Средняя квадратическая погрешность измерения превышений на расстоянии от прибора до 100 м при ± 10 составляет 0,03 м.

Поверки и юстировки кипрегеля КН:

1. Нижняя поверхность линейки кипрегеля должна быть плоскостью, а скошенное ребро линейки — прямой линией.

Линейка кипрегеля должна плотно прилегать к планшету, т. е. между ними не должно быть просвета. Поверку скошенного ребра линейки делают, как у обычной линейки.

2. Дополнительная линейка, находясь на различных расстояниях от основной, должна оставаться параллельной ей.

При неподвижном положении кипрегеля устанавливают дополнительную линейку в различные положения и прочерчивают тонко отточенным карандашом линии. С помощью измерителя в разных местах определяют расстояния между линиями, которые должны быть равными или отличаться не более чем на 0,2 мм.

3. Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

Поверку и исправление производят, как у теодолита (см. поверку уровня).

4. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси.

Поверку и юстировку проводят так же, как у теодолита. Необходимые при проверке направления на точки местности прочерчивают на планшете. Исправление этого условия (перемещение сетки-призмы) делают в мастерской.

5. Горизонтальная ось должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

Поверку проводят так же, как соответствующую поверку теодолита. Выполнение этого условия у кипрегеля КН обеспечивается заводом-изготовителем.

6. Место нуля вертикального круга должно быть приведено к нулю.

Визируют на 2—3 удаленные точки при положении КЛ и КП, и определяют значение места нуля. Колебание места нуля при наведении на различные точки не должно превышать $2'$. Если среднее значение места нуля превышает Γ , то необходимо его привести к нулю. Для этого наводят зрительную трубу при круге право (КП) на одну из точек, берут отсчет П, а затем наводящим винтом вертикального круга устанавливают исправленный отсчет:

$$П_{\text{исп}} = П - МО_{\text{ср}},$$

где $МО_{\text{ср}}$ — среднее значение места нуля.

Затем коти́ровочным винтом уровня вертикального круга приводят пузырек на середину, следя за тем, чтобы изображение предмета не сходило с начальной (основной) кривой номограммы.

После юстировки поверку повторяют.

Наряду с перечисленными поверками, определяют фактические коэффициенты дальномера $\kappa_{я0}$ и превышений $\Delta/\text{гл}_0$. Для определения κ_m на местности выбирают несколько базисов длиной 50—100 м, расположенных на местности с различными углами наклона. Базисы тщательно измеряют в прямом и обратном направлениях с относительной погрешностью не более 1/3000, и определяют углы наклона теодолитом. Находят горизонтальное проложение каждого базиса, а затем — коэффициенты κ_m по формуле

$$\kappa_{*0} = \frac{6}{5} >$$

где κ_s — номинальный коэффициент дальномера; 5 — горизонтальное проложение, измеренное кипрегелем.

За окончательное значение коэффициента кривой горизонтальных проложений принимают среднее арифметическое из всех его определений т. е. κ_{*0} , ср ■

Для определения коэффициентов κ_m на местности выбирают несколько линий длиной не более 100 м с превышениями:

а) 2—10 м для определения коэффициентов, номинальное значение которых $\kappa_m = \pm 0$;

б) 3—15 м для определения коэффициентов $\Delta/\text{гл}_0 = + 20$.

Линии закрепляют на местности кольями, после чего определяют превышение Δ точек местности с помощью геометрического нивелирования.

После этого вычисляют коэффициенты $\Delta/\text{гл}_0$ по формуле

$$\Delta/\text{гл}_0 = \frac{A}{\text{гл}_0},$$

где A — превышение, измеренное кипрегелем.

В состав мензульного комплекса входит также мензула, представляющая собой столик, состоящий из штатива, подставки и деревянной доски. Для мензульной съемки применяют мензулы универсальные (МУ) и облегченные (МО) с металлическими подставками. Планшет прикрепляют к мензульной доске с помощью небольших гвоздиков.

Поверки мензулы заключаются в основном в определении ее устойчивости и перпендикулярности плоскости доски к вертикальной оси мензулы. При этом верхняя поверхность доски должна быть плоскостью.

Порядок работы на пункте съемочной сети может быть принят следующий:

1. Мензулу устанавливают на съемочной точке, предварительно ориентируя ее на глаз. Над закрепленным пунктом местности центрируют точку его отображения на планшете с погрешностью, не превышающей половины точности масштаба съемки (для масштаба 1:500—0,05 м).

Центрирование выполняют с помощью центрировочной вилки. После этого горизонтируют планшет и окончательно ориентируют по наиболее удаленному пункту. Ориентирование по линии короче 5 см на плане не разрешается. Контроль ориентирования осуществляют по другим исходным пунктам. Если при этом ребро линейки кипрегеля отходит от наблюдаемой точки на планшете не более чем на 0,2 мм, то ориентирование можно считать верным. В противном случае необходимо проверить нанесение пунктов по координатам, а также вычисления и запись в ведомости координат.

2. Устанавливают нуль топографической рейки на высоту прибора i , которую измеряют рулеткой.

3. Ставят топографическую рейку на самой близкой к пункту исходной точке и определяют (для контроля) ее высоту. С этой целью при положении КЛ наводят основную кривую номограммы кипрегеля на нуль топографической рейки и приводят пузырек уровня при вертикальном круге на середину. По кривой расстояний определяют горизонтальное проложение S , а по лимбу вертикального круга берут отчет L . Затем на ту же цель наводят основную кривую номограммы при положении КП, приводят пузырек уровня на середину и берут отчет по лимбу P . Далее вычисляют $MO = (P - L) / 2$ и угол наклона $v = L + MO = P - MO$.

Превышение на контрольный пункт вычисляют по формуле

$$h = 5V.$$

Если основную кривую наводят не на высоту прибора i , а на какую-либо другую точку рейки, имеющую высоту u , то

$$h = y - u - i - V.$$

Высоту исходного контрольного пункта вычисляют по формуле

$$H_{\text{контр}} = H_{\text{н}} - i - 1m.$$

Расхождение этого значения с исходной высотой не должно превышать 0,045 м, где $ж$ — длина линии в сотнях метров. В противном случае необходимо проверить запись высот, установку нуля рейки и другие действия, выполненные на съёмочной точке, а также вычисления высот пунктов съёмочного обоснования.

4. Приступая к съёмке, наблюдатель должен предварительно осмотреть местность и наметить границу снимаемого с данной съёмочной точки участка местности.

Плановое положение характерных точек контуров ситуации и рельефа определяют полярным способом. Съёмку отдельных предметов местности разрешается выполнять способом засечек с числом направлений не менее трех, крайние лучи засечек должны пересекаться под углом не менее трех, крайние лучи засечек должны пересекаться под углом не менее 60° .

При съёмке ситуации топографическую рейку ставят на всех характерных изгибах контура. Граница считается прямой, если она отклоняется от линии, соединяющей две соседние контурные точки, на величину, не

превышающую 0,5 м на плане. Соответствующие наколы сразу же соединяют вслед за набором пикетов, а полученный на планшете контур глазомерно сравнивают с контуром местности. На следующей съемочной точке съемку контуров начинают с тех точек, которые были сняты на предыдущей станции.

Съемку рельефа производят одновременно со съемкой ситуации, причем высоты пикетов определяют на характерных изгибах рельефа; на вершинах, водоразделах, перегибах скатов и седловинах, разветвленных лощинах, в котловинах, у берегов рек, ручьев, озер, на уровне зеркала воды, у подошв возвышенностей и пр. Число пикетов зависит от сложности рельефа местности и принятой высоты сечения.

Высоты пикетов вычисляют по формуле

$$H_{\text{пик}} = H_{\text{ст}} + \Delta K,$$

где $H_{\text{ст}}$ — высота съемочной точки; ΔK — превышение, измеренное по нивелиру кипрегеля.

В условиях равнинного рельефа высоты пикетов определяют горизонтальным лучом трубы кипрегеля или с помощью нивелира, установленного рядом с мензулой. Высоты пикетов записывают на планшете карандашом рядом с наколом с округлением до 0,1 м при съемке рельефа с высотой сечения 1 м и больше и с точностью до 0,01 м при высоте сечения через 0,5 м.

В зависимости от масштаба съемки и высоты сечения рельефа расстояния от прибора до рейки и между пикетами не должны превышать величин, приведенных в табл. 25.

Через 10—12 см отмечают урезы воды и ручьев, высоты которых определяют с точностью, принятой для определения высот точек в съемочных ходах, и записывают в журнал наблюдений с указанием даты.

Рельеф местности изображают на плане горизонталями в сочетании с высотами и условными знаками.

Горизонтали проводят в поле в процессе набора пикетов или по окончании набора на данной станции. Положение горизонталей на плане определяют путем линейного интерполирования на глаз между пикетами с однородным уклоном местности.

Для более правильного изображения рельефа сначала проводят легким пунктиром основные линии водоразделов, водотоков бровки и подошвы возвышенностей. Полученное изображение рельефа горизонталями сравнивают с местностью. Если в процессе проведения горизонталей выясняется, что пикетов недостаточно, то определяют их дополнительно. Когда съемка на станции закончена полностью, делают окончательную зарисовку горизонталей в соответствии с общим характером форм рельефа и их основных элементов. При этом линии водотоков и водоразделов на плане должны плавно менять свое направление.

Для изображения характерных особенностей рельефа, когда расстояние между основными горизонталями превышает 2,5 см, проводят полугоризонтали. Горизонтали снабжают указателями направления скатов — скатштрихами. Скатштрихи обычно ставят у вершин, седловин,

Масштаб съемки	Высоты сечения рельефа, м	Максималь- ное расстоя- ние между пикетами, м	Максимальное расстояние от прибора до рейки при съем- ке рельефа, м	Максимальное от прибора до при съемке		расстояние рейки (м) контуров
				четких	нечетких	
5000	0,5	75	250	150		200
	1,0	100	300	150		200
	2,0	120	350	150		200
	5,0	150	350	150		200
2000	0,5	50	200	100		150
	1,0	50	250	100		150
	2,0	60	250	100		150
1000	0,5	30	150	80		100
	1,0	40	200	80		100
500	0,5	20	100	60		80
	1,0	20	150	60		80

Таблица 26

Масштаб съемки	Максимальная длина стороны, м	Максимальная длина хода между исходными пунктами, м	Максимальное число съёмочных точек в ходе
1:5000	250	1000	
1:2000	200	500	
1:1000	100	250	
1:500	100	200	

котловин, а также по склонам, где это необходимо для удобства чтения рельефа. Горизонтالي по изображениям построек проводят пунктиром, по изображениям грунтовых дорог — сплошными линиями.

Изрытые участки, свалки, карьеры и места, на которых производят земляные работы, при съемке оконтуривают и характеризуют высотами по контуру и в отдельных местах внутри контура. Горизонтали по таким участкам не проводят.

Все населенные пункты, объекты гидрографии, урочища подписывают на плане их официальным названием.

Когда пунктов съёмочного обоснования бывает недостаточно для съемки всего участка, а дальнейшее сгущение путем проложения теодолитных ходов или построением триангуляции экономически нецелесообразно, определяют дополнительные съёмочные точки путем проложения мензульных ходов. Мензульные ходы должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 26.

Горизонтальные проложения в мензульном ходе измеряют по номограмме кипрегеля в прямом и обратном направлениях, при этом относительное расхождение линий не должно превышать $1/200$. Расстояния в мензульном ходе при съемке в масштабе 1:500 измеряют лентой или дальномерными насадками.

Высоты точек мензульного хода определяют кипрегелем К.Н. дважды на разные высоты визирования при круге лево. При значительных углах наклона применяют тригонометрическое нивелирование с измерением углов наклона в прямом и обратном направлениях. Расхождения между прямыми и обратными превышениями (или превышениями, определенными на разные высоты визирования) не должны быть более 10 см при длине линии до 250 м и 4 см на каждые 100 м при больших расстояниях. Допустимая высотная невязка в мензульном ходе не должна превышать 0,08, 0,15, 0,20, 0,50 и 1,0 м соответственно для высот сечения 0,25, 0,5, 1,0, 2,0, 5,0 м.

Высотную невязку мензульного хода распределяют с обратным знаком пропорционально длинам сторон.

Относительная невязка мензульного хода, проложенного между пунктами теодолитных ходов или микротриангуляций, не должна превышать $1/300$ его длины; а линейная невязка — 0,8 мм на плане. Допустимую линейную невязку распределяют на планшете по способу параллельных линий. Съёмочными пунктами могут служить также переходные точки, которые определяют на планшете прямой, обратной и комбинированной засечками, а также промерами лентой по линии створа между исходными пунктами съёмочной сети.

В тех случаях, когда оригиналы топографической съёмки не вычерчивают в полевых условиях, составляют кальки высот и контуров. При простых формах рельефа и несложной ситуации обе кальки можно совмещать в одну. Кальки составляют в процессе съёмки ежедневно, допускается разрыв со съёмки до составления кальки не более трех дней. На кальке высот показывают все пункты съёмочного обоснования, включая точки мензульных ходов и переходные точки с номерами и высотами верха знака и у земли, пикеты и их высоты. Кальку составляют черной тушью, вычерчивают согласно таблицам действующих условных знаков. На кальку контуров наносят условными знаками всю ситуацию и предметы местности с выпиской соответствующих высот зданий и сооружений, крышек колодцев, искусственных и других сооружений и объектов на застроенных территориях.

Урезы воды в водоемах и ручьях подписывают зеленой тушью, номера зданий — красной, все остальное вычерчивают черной тушью.

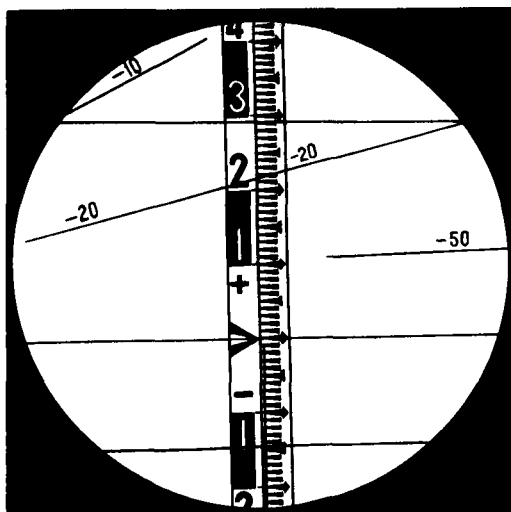
2.3.5. Тахеометрическая съёмка

Тахеометрическую съёмку для сравнительно небольших участков применяют как основной вид съёмки или в сочетании с другими видами работ, когда выполнение стереотопографической или мензульной съёмок экономически нецелесообразно или технически невозможно. Тахеометрическую съёмку применяют для составления планов узких полос земли вдоль высоковольтных линий, трасс трубопроводов и т. п.

Тахеометрическую съёмку выполняют как правило номограммными (ТН), электронными (ТЭ), внутрибазовыми (ТВ) тахеометрами. При тахеометрической съёмке наибольшее применение находит тахеометр но-

Рис. 43. Поле зрения тахеометра Дальта 010В:

отсчет по кривой $\angle = -20$ равен $\angle = 21,8$ см



номограммный, предназначенный для определения расстояний, редуцированных на горизонтальную плоскость, и для определения превышений при помощи номограмм, видимых в поле зрения зрительной трубы, и вертикальной рейки.

Удобным и производительным является номограммный тахеометр Дальта 010 В Народного предприятия «К. Цейсс» (б. ГДР). В комплект тахеометра входит столик карты с диаметром 250 мм, а также специальная топографическая рейка. Номограмма тахеометра Дальта 010 В представляет собой систему кривых, распространенных на все поле зрения зрительной трубы. Различают основную (начальную) кривую, а также кривые горизонтальных проложений и превышений (рис. 43).

Номинальное значение коэффициента $\angle$, для различных кривых составляет ± 10 , 20, 50 и 100, а коэффициента $\angle$, — 100, 200. Средняя квадратическая погрешность определения превышения при $\angle = \pm 10$ не превышает 0,03 м при расстоянии между точками 100 м, средняя квадратическая относительная погрешность расстояния при $\angle = 100$ составляет 1/1000 (10 см на 100 м). Тахеометр Дальта 010 В имеет быстродействующее центрирующее устройство, автоматическую стабилизацию отсчетного индекса вертикального круга с помощью компенсатора с погрешностью, не превышающей 1". Диапазон работы компенсатора +4'. Для переноски прибора используют съемную ручку.

Тахеометр Дальта 010 В должен быть поверен прежде всего как теодолит. Помимо этого, рекомендуется определить фактические коэффициенты дальнометра и превышений $D_{\text{гл}}$, как рекомендовано для кипрегеля КН.

Тахеометр электронный ТаЗ (Агат) (рис. 44) предназначен для тахеометрической съемки, создания геодезических сетей сгущения и решения

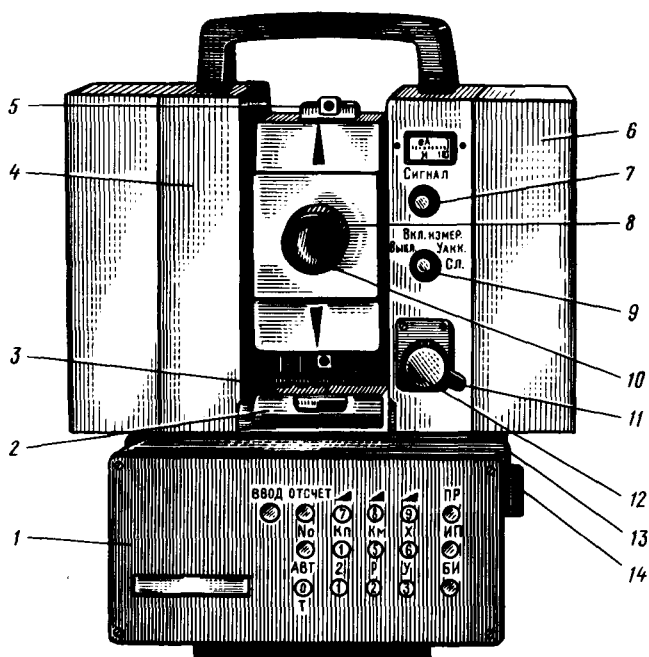


Рис. 44. Тахеометр ТаЗ:

1 — панель управления; 2 — уровень цилиндрический; 3 — уровень круглый; 4 — колонка; 5 — визир; 6 — крышка; 7 — регулятор уровня сигнала; 8 — маховичок; 9 — переключатель; 10 — диоптрийное кольцо; 11, 13 — курковые зажимы; 12, 14 — наводящие винты

различных задач прикладной геодезии. Тахеометр является многофункциональным геодезическим прибором, состоящим из электронного теодолита и светодальномера. С помощью встроенной микроЭВМ обеспечивается решение различных геодезических задач. С помощью тахеометра ТаЗ можно определять: зенитные расстояния, горизонтальные или дирекционные углы, наклонные расстояния и горизонтальные проложения; превышения или высоты точек визирования; приращения или координаты наблюдаемых точек. Результаты измерений могут быть выведены на накопитель информации или цифровое табло. Перечисленные задачи решаются по соответствующим программам. Обработка и выдача угловых значений может быть выдана в гонах или градусной мере (см. также раздел 3).

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом горизонтальных углов и зенитных расстояний составляет соответственно 5 и 10". Дальность действия светодальномера тахеометра ТаЗ составляет 1,5 км с однопризменным отражателем и до 5,0 км с 18-ти призменным.

Средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом составляет $m_s = 10 \text{ мм} \cdot |-5-10^{0.6B}$, где O — наклонное расстояние.

Масштаб съемки	Максимальная длина хода, м	Максимальная длина линий, м	Максимальное число линий в ходе
1:5000	1200	300	6
1:2000	600	200	5
1:1000	300	150	3
1:500	200	100	2

При тахеометрической съемке труднодоступных участков местности применяют тахеометр внутрибазовый (ТВ), с помощью которого определяют расстояния, редуцированные на горизонтальную плоскость, и превышения по измеренному углу наклона при наведении зрительной трубы на местный предмет (контур) или специальную марку.

Тахеометрическую съемку тахеометром номограммным ТН выполняют с пунктов съемочного обоснования, доведенных до плотности, обеспечивающих проложения тахеометрических ходов с соблюдением требований, приведенных в табл. 27.

Перед проведением съемочных работ необходимо выполнить поверки и исследования тахеометра ТН, применив описанный порядок для теодолита 2Т5К (см. стр. 13) и сказанное в этом разделе относительно фактических коэффициентов k_{50} и $k_{\text{ДП}}$.

Углы в тахеометрическом ходе измеряют тахеометрами одним полным приемом, а расстояния нитяным дальномером в прямом и обратном направлениях, кроме съемки в масштабе 1:500, когда линии измеряют лентой.

Допустимую угловую невязку в тахеометрическом ходе рассчитывают по формуле

$$\angle \Gamma = \pm 1' n \sqrt{\Gamma}$$

где n — число углов в ходе.

Допустимую абсолютную невязку определяют как

$$\Delta_{\text{доп}} = \pm \sqrt{\frac{1}{400} \Gamma}$$

где Γ — длина хода; N — число линий в ходе.

Допустимая высотная невязка равна

$$\Delta \Gamma = \pm 0,04 \sqrt{\Gamma}, \text{ см,}$$

где Γ — выражено в метрах.

Порядок выбора на местности пикетов остается такой же, что и при мензульной съемке. Однако максимальные расстояния между пикетами уменьшаются в 1,2 раза по сравнению с данными, представленными в табл. 23 (остальные показатели для тахеометрической съемки остаются без изменений).

Порядок работы на съемочной точке может быть принят следующий.

1. Устанавливают прибор на съемочной точке и приводят его в рабочее положение.

2. Определяют с контролем место нуля или место зенита.

3. Совмещают нули лимба и алидады и поворотом горизонтального круга визируют на веху, установленную на задней или передней съемочной точке.

4. Производят съемку ситуации и рельефа полярным способом. При съемке контролируют неподвижность прибора: отсчет по лимбу при визировании на исходную съемочную точку не должен отличаться от 0° более чем на утроенную погрешность отсчитывания по лимбу. Результаты съемки фиксируют в журнале и на абрисе, где показывают все пикеты, ситуацию пояснительными подписями или условными обозначениями, а также характерные элементы рельефа — тальвеги, водоразделы, перегибы скатов и пр. Рекомендуют на абрисе схематично показывать основные формы рельефа горизонталями. Направление однообразного ската между пикетами показывают стрелкой.

Для контроля измерений с каждой съемочной точки определяют несколько пикетов в полосе перекрытия съемки с других точек.

Камеральная обработка тахеометрической съемки заключается в следующем.

1. Проверяют полевые журналы и составляют схемы съемочного обоснования.

2. Вычисляют координаты и высоты точек теодолитных и тахеометрических ходов.

3. Вычисляют в полевых журналах высоты пикетов $H_{пик}$ на станции по формулам:

- а) если превышения определялись по номограмме тахеометра, то

$$H_{пик} = \Delta \text{ст} + 1$$

- б) если превышения измерялись тригонометрическим нивелированием тахеометром Дальта 010 А, то

$$H = 5 \nu + i - u.$$

При использовании при тахеометрической съемке теодолита 2Т30 или 2Т5 формула тригонометрического нивелирования имеет следующий вид

$$H = 0,5 (100 + A) \operatorname{ctg} 2\nu - i - u,$$

где $100 + A$ — расстояние, измеренное по нитяному дальномеру теодолита.

Значения $h' = \operatorname{sig} \nu$ или $i' = 0,5 (100 + A) \sin 2\nu$ можно выбрать из специальных тахеометрических таблиц, не прибегая к вычислениям.

4. Наносят на план пункты съемочного обоснования и пикеты. Используя абрис, на плане строят контуры и объекты местности. Методом линейного интерполирования проводят горизонтали с принятой высотой сечения рельефа.

Математическую обработку результатов тахеометрической съемки можно проводить по стандартным программам на ЭВМ, а для составления планов — использовать автоматизированные координатографы.

План вычерчивают в карандаше, корректируют, сличают с местностью и окончательно вычерчивают.

Тахеометрическую съемку выполняют тахеометром ТаЗ, съемка имеет существенные особенности. Применение ТаЗ и других электронных тахеометров наиболее целесообразно в автоматизированной системе крупномасштабного картографирования.

В то же время применение электронных тахеометров возможно при технологиях, базирующихся в почти одновременном выполнении полевых измерений, их обработки и составлении топографических планов непосредственно в полевых условиях. Такие технологии возможны при наличии на базе полевых партий миниЭВМ, портативных автоматических графопостроителей и малогабаритных радиостанций для передачи информации с мест установки тахеометра (метрически) и отражателя (семантически).

Наибольший эффект от применения электронных тахеометров можно достичь при съемке в открытой местности, когда можно увеличить расстояние от прибора до отражателя до 1500 м и тем самым сократить число пунктов съемочного обоснования. Однако с увеличением расстояний до пикетов необходим учет вертикальной рефракции при тригонометрическом нивелировании, влияющей на точность определения высот пикетов. Разработка эффективной методики учета вертикальной рефракции при тахеометрической съемке электронными тахеометрами является необходимой. Она заключается в вычислении коэффициента рефракции по эталонным направлениям, выбранным на участке съемки, по способу «рефракционного базиса» (см. 2.2.4).

На базе электронных тахеометров создают мобильные системы обработки информации, например, MAS-80 (ФРГ). Она состоит из переносного персонального компьютера (Philips P2012), печатного устройства и высокоточного графопостроителя. Система MAS-80 при помощи специального корпуса, приспособленного к транспортному средству, устанавливается на измерительной тележке. С помощью специальных устройств система может присоединяться к оснащенным соответствующим образом электронным тахеометрам или электронным кадастровым системам (ДАС 100/REC 200 и др.). После ввода в систему полярных координат с помощью графического дисплея в течение нескольких секунд изготавливается изображение в любом масштабе. При этом имеется возможность при помощи перемещения курсора по изображению получить любой нужный фрагмент плана в заданном масштабе, и внести необходимые коррективы, т. е. сделать редактирование изображения. Окончательно обработанное изображение можно получить на графопостроителе в рамках плана с высоким качеством в виде многоцветного плана. Система MAS-80 характеризуется быстротой, благодаря отсутствию ручной обработки, и простотой обслуживания (см. 3.3.1).

2.3.6. Теодолитная съемка

Теодолитную съемку в основном применяют на застроенных территориях при создании планов в масштабах 1:2000—1:500. Съемочные работы выполняют с пунктов съемочных сетей способами:

прямоугольных координат (перпендикуляров), расположенных вдоль съемочной (исходной) линии. Длина перпендикуляра не должна превышать 8,6 и 4 м соответственно для съемок в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500. При применении эккера эти расстояния могут быть увеличены соответственно до 60, 40 и 20 м.

Съемку способом перпендикуляров можно выполнять со створных линий между пунктами съемочного обоснования, закоординированными углами зданий и т. п. Расстояния между створными точками не должны быть более 80, 60 и 40 м соответственно при съемках в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500, если линии измеряют рулеткой или лентой. При применении оптического дальномера названные расстояния могут быть увеличены в 1,5 раза;

линейных засечек, когда объект съемки удален от исходной точки не больше длины мерного прибора. При съемке этим способом нужно стремиться к тому, чтобы исходная сторона и линии засечек образовали равносторонний треугольник;

угловых засечек, если невозможно измерить расстояние до характерных точек объекта. Угол при засекаемой точке не должен быть менее 30 и более 150°, а расстояние до нее при четком очертании контура не более 400, 200 и 100 м при съемках соответственно в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500. При нечетких очертаниях контура эти расстояния могут быть увеличены в 3 раза полярных координат при съемке остальных объектов. При этом способе расстояние от прибора до контурной точки не должно быть больше значений, приведенных в табл. 28.

Результаты теодолитной съемки наносят на абрис, который ведется на плотной бумаге карандашом в действующих условных знаках. Перерисовка абриса инструкцией [10] запрещается.

При теодолитной съемке проводят обмеры капитальных строений и записывают результаты в абрис. Для контроля и повышения точности

Таблица 28

Метод определения расстояния и масштабы съемок	Расстояния до контуров, м	
	четных	нечетных
При измерении нитяным дальномером:		
1:2000	100	150
1:1000	60	100
1:500	40	80
При измерении лентой или оптическим дальномером:		
1:2000	250	300
1:1000	180	200
1:500	120	150

съемки рекомендуется измерить расстояние между углами соседних зданий и строений.

При съемке застроенных территорий может применяться так называемый графоаналитический способ [10], который выполняется в следующей последовательности:

- определение координат углов кварталов и отдельных капитальных зданий и сооружений одновременно с построением съемочной сети;

- обмер габаритов зданий и сооружений рулеткой;

- съемка остальных строений мензулой или тахеометром.

Камеральную обработку теодолитной съемки выполняют по различным технологиям, в том числе с использованием ЭВМ и автоматического координатографа. При применении ЭВМ регистрацию измерений проводят в журнале специальной формы.

2.3.7. Нивелирование территорий

Нивелирование территорий проводят с целью получения топографических планов масштабов 1:2000—1:500 с высотой сечения рельефа обычно 0,25—0,5 м в условиях равнинной местности. Технология нивелирования зависит от вида территории — незастроенной или застроенной.

Нивелирование незастроенных территорий выполняют по квадратам, параллельным линиям, характерным точкам и др.

Нивелирование по квадратам разделяют на построение на местности сетки квадратов и нивелирование их вершин. Для разбивки сетки квадратов используют теодолит и мерную ленту (рулетку). Вначале находят положение основных квадратов со стороной 200—400 м, вершины которых закрепляют металлическими трубками, деревянными столбами или другими знаками. По внешним сторонам получившейся сетки прокладывают теодолитные ходы и ходы технического нивелирования, которые привязывают к исходным пунктам геодезической сети. Возможно образование из таких ходов сети полигонов, которые уравнивают одним из известных способов. Внутри основных квадратов намечают вершины заполняющих квадратов со сторонами 100, 40 и 20 м. Сторону заполняющего квадрата при съемке в масштабе 1:2000 принимают равной 40 м, а при съемке 1:1000 и 1:500 — 20 м.

Вершины заполняющих квадратов могут намечаться с помощью специального троса одновременно с нивелированием и дополнительными знаками (кольями и т. п.) не закрепляться.

Нивелирование вершин заполняющих квадратов проводят нивелиром НТ, установленным в центре основного квадрата. По границе смежных основных квадратов намечают связующие точки, которые служат для контроля нивелирования: превышения двух связующих точек, полученные с двух разных станций, не должны отличаться более чем на 10 мм (суммы накрест лежащих отсчетов должны быть равны между собой). Отсчеты по рейке установленной на вершине заполняющего квадрата, берут по одной стороне рейки, а на связующие точки — по двум.

Результаты показывают на полевой схеме, куда наносят такие результаты съемки контуров местности, используя в качестве исходных вершин основных квадратов. При съемке ситуации используют в основном способ прямоугольных координат. Вершины сетки квадратов нумеруют в шахматном порядке. Высоты вершин квадратов определяют как разность горизонта прибора и отсчетов по рейкам, установленным в этих точках. При нивелировании по параллельным линиям и характерным точкам прокладывают теодолитные и нивелирные ходы по всем характерным линиям рельефа. От сторон теодолитного хода намечают поперечники, которые нивелируют. Длина поперечников составляет 300—500 м при съемках соответственно в масштабах 1:1000 или 1:500 и 1:2000. Точки на поперечниках выбирают для этих масштабов на расстояниях 20 и 30 м. По линиям теодолитных ходов могут быть намечены плюсовые точки в характерных местах рельефа. Одновременно с проложением теодолитного хода ведется съемка ситуации описанными способами (см. 2.1.8) и составляется абрис.

По результатам измерений строят топографический план и оформляют его согласно действующим условным знакам.

Нивелирование застроенной территории разделяют на нивелирование кварталов, участков, а также проездов.

Нивелирование кварталов делают в условиях равнинной местности на сравнительно небольших участках.

Если имеется план застроенной территории, то рекомендуется составить копию на восковке или бумаге, на которой сделать нумерацию и отметить пикеты для съемки местности.

Съемочным высотным обоснованием могут служить пункты съемочного обоснования или реперы, сохранившиеся на территории населенного пункта. Если их не окажется, то прокладывают опорный ход технического нивелирования, причем в него включают как опорные предметы местности (цоколи капитальных зданий и др.), так и металлические костыли и деревянные колышки, вбитые в землю. Ход уравнивают обычным способом, в результате чего вычисляют высоты опорных точек.

Работа на станции при нивелировании застроенной территории заключается в следующем.

1. Устанавливают нивелир в таком месте, чтобы определить высоты наибольшего числа пикетов, и при условии видимости не менее двух пунктов с известными высотами.

2. Определяют с контролем горизонт прибора, используя не менее двух исходных пунктов с высотами $H_{исх\ A}$ и $H_{исх\ B}$:

$$I_{П} = I_{исх\ A} + i_A; \quad ГП = I_{исх\ B} + i_B,$$

где I_A и i_A —отсчеты по рейкам, установленным на соответствующих исходных пунктах.

Если $|ГП - ГП_1| < 30$ мм, то вычисляют среднее значение

$$H_{ср} = \frac{H_1 + H_2}{2}, \text{ округлением до } 0,01 \text{ м.}$$

3. Делают выбор положения пикетов при съемке и определяют их высоты.

Пикеты при съемке выбирают на характерных местах рельефа участка, направление ската между ними показывают стрелкой. При отсутствии выкопировки плана при нивелировании запись ведут на абрисе.

Отсчеты на пикеты делают по одной стороне нивелирной рейки и записывают в журнал нивелирования. Длина визирного луча при этом не должна превышать 150 м.

При съемке рейку на местности ставят на небольшом расстоянии от построек и других местных предметов, поскольку рядом с ними часто имеются искусственные насыпи и выемки. Густота пикетов зависит от характера рельефа, принятой высоты сечения и масштаба плана. При съемках в масштабах 1:2000, 1:1000, 1:500 пикеты выбирают на местности с расстоянием между ними, не превышающим соответственно 50, 30 и 20 м. Если пикеты не удастся совместить с отображенной на плане застройкой, то их привязывают к существующим зданиям и другим предметам местности, что отмечается в абрисе.

При нивелировании застроенной территории определяют по двум сторонам рек высоты крышек колодцев и других выходов подземных сооружений, входов в капитальные здания, цоколей, зданий, урезов воды в водоемах и пр. Расхождения в превышениях, определенных по черной и красной сторонам рек, установленных на этих точках, не должны превышать 0,02 м.

Высоты пикетов $H_{пик}$ вычисляют по формуле

$$H_{пик} = ГП - i,$$

где i — отсчет по нивелирной рейке, установленной на пикете.

4. Проводят горизонтالي. На плане теодолитной съемки выписывают высоты пикетов с округлением до 0,01 м и 0,1 м соответственно при высоте сечения рельефа 0,5 м и 1 м. Методом линейной интерполяции по направлениям однородных скатов строят на плане горизонтали с заданной высотой сечения рельефа. План оформляют в соответствии с действующими условными знаками.

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК

3.1. ЦИФРОВЫЕ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ

В соответствии с ГОСТ 22268—76 под цифровой моделью местности понимается «множество, элементами которого являются топографо-геодезическая информация о местности и правила обращения с ней».

Модель местности (ММ) представляет собой объединение модели поверхности Земли (МПЗ) и модели инженерного назначения.

МПЗ — это множество, элементами которого являются топографо-геодезическая информация о местности в том или ином виде ($I_{..}$) и правила обращения с ней ($P_{..}$), позволяющие однозначно и с требуемой точностью получить необходимые характеристики местности

$$МПЗ=(I_{..}, P_{..}). \quad (3.1)$$

МПЗ включает в себя совокупность моделей рельефа, ситуации, а также — соответствующую проекцию.

Модель рельефа (МР) представляет собой множество, элементами которого являются информация о рельефе местности (I_p) и правила обращения с ней (P_p), позволяющие однозначно и с требуемой точностью получить необходимые характеристики рельефа местности

$$МР=(I_p, P_p). \quad (3.2)$$

Модель ситуации (МС) — множество, элементами которого являются информация об элементах ситуации (I_c) и правила ее обработки (P_c), позволяющие с необходимой точностью отобразить ситуацию местности

$$МС=(I_c, P_c). \quad (3.3)$$

Топографо-геодезические модели, представляющие собой множество, элементами которого являются информация о местности ($I_{..}$) и правила обращения с ней ($P_{..}$), необходимые для непосредственного решения инженерных задач народного хозяйства, можно назвать моделями инженерного назначения (МИН):

$$МИН=(I_{..}, P_{..}).$$

3.2. ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНОВ И КРУПНОМАСШТАБНЫХ КАРТ

3.2.1. Электронные тахеометры

Электронные тахеометры (ЭТ) представляют собой сочетание светодальномера, тахеометра и электронного устройства. В измеренные расстояния и углы по желанию можно вводить различные поправки и с помощью электронного устройства вычислять горизонтальные проложения, превышения и т. п. Все измеренные и вычисленные величины могут быть выведены на световое табло. В некоторых типах ЭТ предусмотрена также регистрация данных на магнитную ленту. Назначение ЭТ то же, что и обычных светодальномеров и тахеометров.

С целью удобства дальнейшего описания классифицируем ЭТ на три типа: 1) собственно электронные тахеометры, в которых светодальномер и кодовый тахеометр представляют собой единый комплекс; 2) комбинацию кодового или обычного тахеометра со светодальномером и 3) комплекс тахеометра с полевым регистратором информации. Основные

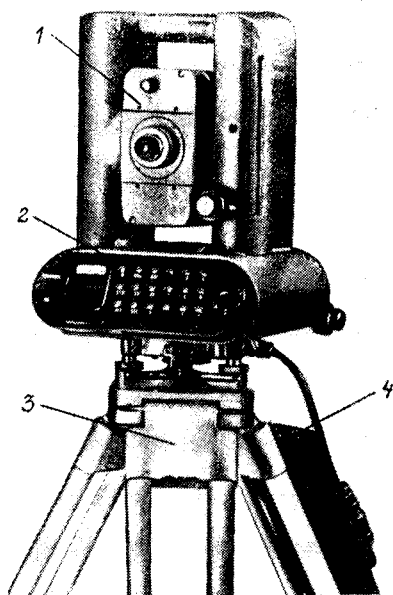


Рис. 45. Электронный тахеометр «Тахе-мат ТС-1» (Швейцария):
1 — зрительная труба со спетодалноме-
ром; 2 — клавиатура панели управления;
3 — штатив; 4 — вычислительное устрой-
ство

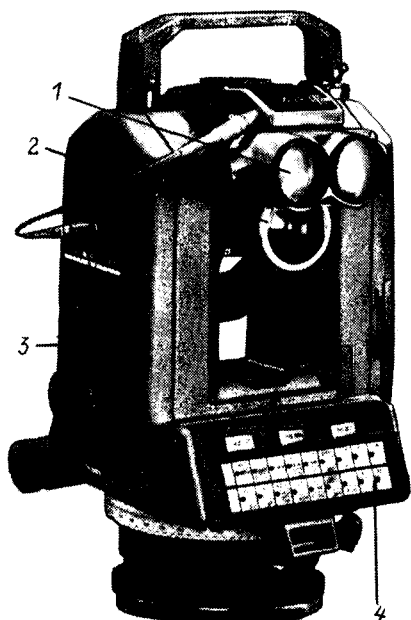


Рис. 46. Комбинация кодового теодолита «Теомат Т 2000» со светодально-мерной насадкой (Швейцария):
1 — светодальномерная насадка; 2 — зри-
тельная труба; 3 — кодовый теодолит; 4 —
клавиатура панели управления

технические характеристики электронных тахеометров или их составляющих приведены в табл. 29.

К электронным тахеометрам можно отнести Та-3 (СССР), (см. 2.3.5), «Геодиметр 710», шведской фирмы AGA, «Элта 46» (ФРГ), «Рекота» (б. ГДР), «Тахе-мат ТС-1» (Швейцария) (рис. 45).

Комплект ЭТ включает: тахеометр с трегером и штативом, электронное устройство, блок питания, набор отражателей. Приведение прибора в рабочее положение занимает несколько минут. При измерении расстояний в качестве отражателей используют различные средства: до 100 м — визирные марки, прикрепляемые к вехам, штативам или местным предметам, до 500 м — специальный рефлектор, свыше 500 м — однопризменные, трехпризменные и шестипризменные отражатели. Источниками света являются гелий-неоновый и другие лазеры. Кратковременное прерывание визирного луча на точность измерения расстояний не влияет. При фиксации измеренных данных автоматически вводятся поправки на метеосостояния, наклон линии и т. п. Зрительная труба тахеометра и

светодальномера соосны, что позволяет проводить и угловые, и линейные измерения при одном наведении. При помощи некоторых ЭТ можно автоматически следить за объектами, движущимися со скоростью до 22 км/ч.

Комбинацией тахеометра со светодаль номером является сопряжение кодового теодолита со светодальномерной насадкой (рис. 46). Вертикальные углы отсчитываются как обычно, а горизонтальные углы и расстояния фиксируются на табло. На табло выводятся: наклонное расстояние или горизонтальное проложение, исправленное поправками за метеоусловия и превышения. При измерении расстояний используют рефлекторы: до 250 м — однопризменные, свыше 250 м — двухпризменные и трехпризменные.

В комплекте с тахеометром может быть использован полевой регистратор. Исходная информация в этом случае фиксируется непосредственно на магнитную ленту. Полевые регистраторы разработаны в ряде стран: СССР, США и др., однако достаточно большого производственного значения они не получили, вследствие недостаточной пока экономической эффективности и ограниченности их количества. В СССР в научно-исследовательском институте прикладной геодезии (НИИПГ) [2] разработан регистратор информации микропроцессорный-топографический (РИМ-Т), предназначенный для регистрации полевой информации на машинный носитель. Регистрацию проводят вручную или от ЭТ Та-ЗМ (СССР) и др. в диалоговом режиме посредством текстовых сообщений.

Технические характеристики РИМ-Т

Емкость памяти, Кбайт.....	32
Длина информационного поля, символ.....	8
Время хранения информации, час.....	750
Время непрерывной работы без смены батарей, час.....	16
Диапазон рабочих температур, °C.....	—10-т- +45
Масса регистратора, кг, не более.....	3
Габаритные размеры регистратора, мм.....	260 X200X X 90

3.2.2. Автоматические координатографы

Автоматический координатограф (АК) представляет собой систему, состоящую из координатографа, вычислительной машины (ВМ), вспомогательного оборудования и исполнительных инструментов. В качестве вспомогательного оборудования могут быть: пульт управления, устройства ввода и вывода информации и т. п. Исполнительными инструментами являются чертежные перья, гравировальные резцы и различные головки. В последних моделях широко используют световые головки, позволяющие гравировать на пластиках или чертить на фотопленках. Перемещение чертежного штифта осуществляется автоматически и управляется ВМ. Информация для АК может передаваться непосредственно с большой ЭВМ (режим on — line), а также через промежуточные носители: магнитные диски или ленты и др. (режим off — line).

АК могут использоваться при изготовлении составительских оригиналов карт и планов на бумаге, пластике и других основах, а также для

вывода графической информации в виде различных проектов, схем и других документов.

Классификация координатографов

^

Автоматические координатографы можно классифицировать по нескольким показателям: по принципу управления; скорости перемещения каретки; точности изображения; формату основы; принципу воспроизведения рисунка; по форме основания, на котором помещается основа и т. п.

По принципу управления АК можно подразделить на аналоговые (непрерывного действия), шаговые (векторные) и квазианалоговые.

Аналоговые АК воспроизводят плавную линию в любом направлении. Скорость перемещения каретки с чертежным штифтом переменна и зависит от расстояния между точками и от угла направления. К этому типу АК относится «Кораграф» (Швейцария).

У шаговых координатографов, точнее графопостроителей, каретка плавно перемещается только по определенным направлениям (вдоль векторов). Скорость перемещения вдоль векторов при этом постоянна. Движение по всем остальным направлениям осуществляется «шагами» вдоль векторов, поэтому линия изображается ломаной. В зависимости от числа векторов автоматические графопостроители (АГ) подразделяют на четырех- восьми- и шестнадцативекторные (рис. 47). К шаговым относятся АГ типа «Бенсон 220» и «Бенсон 230», а также «Калкомп 728» и «Калкомп 745».

В квазианалоговых графопостроителях также используют шаговые моторы, но работают они с переменной скоростью, вследствие чего число направлений, вдоль которых проводится плавная линия, увеличивается. В настоящее время практически все графопостроители относятся к квазианалоговым.

По скорости перемещения каретки автоматические координатографы и графопостроители можно разделить на высокоскоростные — перемещение каретки при холостом ходе осуществляется со скоростью, превышающей 750 мм/с, среднескоростные — 300—750 мм/с и

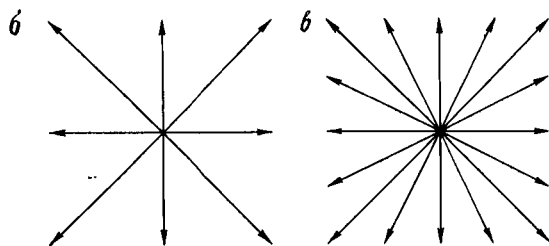


Рис. 47. Схемы направлений перемещения каретки координатографов:

а — четырехвекторных АГ; б — восьмивекторных АГ; в — шестнадцативекторных АГ

низкоскоростные — до 300 мм/с. К высокоскоростным относятся «Ксинетикс» (б. ФРГ) * и «Калкомп 7000» (Нидерланды). * Большинство АГ является среднескоростными, а аналоговые АК — низкоскоростными.

По точности изображения АК можно классифицировать на высоко-, средне- и низкоточные. К высокоточным (прецизионным) можно отнести аналоговые с ошибкой воспроизведения 0,03 мм и графопостроители с шагом 0,01 мм. Среднеточные АК характеризуются ошибкой воспроизведения рисунка 0,05 мм, а низкоточные — 0,1 мм и ниже.

По формату основы АК делятся на большие, средние и малые. Большие по формату АК имеют площадь основания свыше 2 м², средние от 1,0 до 2,0 м² и малые до 1,0 м².

По принципу воспроизведения рисунка координатографы можно подразделить на чертежные, печатающие, с выводом на экран электронной трубки (ЭЛТ) или микрофильм.

У чертящих АК воспроизведение рисунка осуществляется чертежным или гравировальным штифтом. К данному типу относится большинство АК. У печатающих графопостроителей изображение чертежа впечатывается распылением специальной окрашенной жидкости. У некоторых типов АК имеется вывод изображения на электронно-лучевую трубку (дисплей). Этот тип координатографов, вследствие большой скорости воспроизведения, но малой разрешающей способности, пока применяют преимущественно для контроля выходной информации. Однако для некоторых типов проектных работ при крупномасштабном картографировании они могут быть использованы и для картографирования. Применение световой головки с шаблонами символов позволяет воспроизводить картографируемое изображение на фотопленку.

По форме основания, на котором помещается основа, АК можно классифицировать на плоскостные и барабанного типа (цилиндрические).

У плоскостных АК каретка перемещается по двум взаимно перпендикулярным осям при неподвижной основе для черчения, а у барабанного типа чертежный штифт передвигается только по одной оси. Движение по второй оси осуществляется поступательным движением самой основы. АК барабанного типа, как правило, более быстродействующие, но зато низкоточные. Они могут быть использованы в основном для контроля входной информации, хотя и не исключено их применение непосредственно для картографирования.

Для целей крупномасштабного картографирования наиболее пригодны плоскостные аналоговые и квазианалоговые координатографы высокой и средней точности. Следует отметить, что перемещение каретки и точность воспроизведения рисунка у большинства координатографов, основанных на механических передачах, трудно совместимы. Так, например, даже у малоскоростных АК при скорости черчения 100—300 мм/с

* Ранее этот тип АК принадлежал США.

динамическая ошибка достигает $2/3$ величины скорости и равна примерно 60—180 мкм. Для устранения этого недостатка используются датчики обратной связи.

Основные характеристики автоматических координатографов

Всего существует около 100 видов автоматических координатографов. Однако не все из них отвечают требованиям крупномасштабного картографирования. Ниже описаны основные типы АК, которые могут быть использованы при составлении планов и карт в крупном масштабе и решении по ним различных задач, а в табл. 30 приведены некоторые характеристики основных АК.

Координатограф программный автоматический (КПА) (СССР) позволяет: чертить на бумаге (тушью, карандашом, чернилами); гравировать линии на пластике и чертить световым лучом на фотоматериалах.

Основными блоками КПА являются: фотоввод, пульт управления, координатный стол, операционное устройство, интерполятор и др. Инструментальная головка включает: набор резцов для гравирования линий шириной 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2 мм и двойных линий толщиной 0,1 мм с расстоянием между линиями: 1, 2, 3, 4, 5 мм, а также — иглу для накалывания точек по заданным координатам.

Возможны следующие масштабы воспроизведения: 1:100; 1:50; 1:20; 1:10; 1:5; 1:2; 1:1; 2:1; 4:1; 5:1; 10:1; 20:1; 50:1; 100:1. Ширина линий изображения при черчении лучом: 0,2; 0,3; 0,5; 1,25; 2,5 мм.

При работе КПА с фотооптической головкой используется свето-защитное устройство, которое позволяет его применять при естественном освещении.

Система «Дигиграф» (Чехословакия) состоит из автоматического графопостроителя «Дигиграф» или «Дигиплан», малой ВМ «Далос», пульта управления и комплекта чертежных инструментов. ВМ предназначена для управления АГ в режиме off — line, либо в сопряжении (через специальный блок) с ЭВМ: ЕС, «Минск-32» и др. Скорость перемещения головки регулируется программно ступенями от 0 до 8. В головке АГ одновременно может находиться четыре инструмента, выбор которых осуществляется ВМ. Программой регулируется тип воспроизводимой линии (сплошной, пунктир, штрих-пунктир). В библиотеке ВМ имеются 64 символа (русский шрифт) или 74 символа (чешский шрифт), которые могут быть развернуты на планшете в 16 положениях (через $22,5^\circ$) и воспроизведены в трех размерах (3,6 или 12 мм). При необходимости предусмотрено управление АГ вручную (изменение скорости, выбор инструмента и т. д.). Масштаб изображения меняется только в трех пределах 1:1, 1:2, 2:1.

Математическим обеспечением ВМ являются программы, сгруппированные в функциональные подсистемы открытого типа с ориентацией на язык Фортран. В первую часть математического обеспечения входят программы, предназначенные для непосредственного управления чертеж-

Система АК, страна-изготовитель	Рабочий формат, см	Точность, мкм		Максимальная скорость черчения, мм/с	Разрешающая способность, мкм
		абсолютная	динамическая		
EC-7051 *	105X 100	50		50	50
К ПА-1200 (СССР)	120X120	50		90	10
DZT 912/RS,					
«Картимат С 1218» (б. ГДР)	90X120	50	100	35	10
«Дигиграф 1008/р»,	100X80	50	200	250	10
«Дигиплан 1612»,	160 X 120		100	250	25
«Дигиплан 1208» (Чехословакия)	120X80		100	250	25
«Калкомп 7000»,	152X254	–	–	1065	5
«Калкомп 960» (Нидерланды)	84X152		–	750	12,5
«Конгсберг 1215», «Сисскен» (Норвегия)	120X150	40		84	2,5
«Гербер 2032» (GDS),	150X120		40	95	2,5
«Гербер 2075»,	100X240		180	300	25
«Компьютер-индустри DDS*» (США)	150X150	50		300	25
«Бенсон-232»,	150X84	50		106	50
«Бенсон-2532» (Франция)	168X 120	25		300	–
«Геаграф-АЕГ»,	150X 120	40	–	500	10
«Телефункен-8340»,					
«Аристомат-201 G»,	150X150	50	–	500	25
«Ксинетикс ITS 1100»,	109X 142				
«Ксинетикс ITS 2200»,	183X366		100	1000	25
«Цузе Графомат-Z 91»,	60X84		30	30	25
«Цузе Графомат-Z 92» (б. ФРГ)	120X40		50	80	25
«Корадомат» МК- III,	110X110		50	200	10
	70X70		2	400	10
«Кораграф-ДС2-700»	49X69		25	150	2,5
«Кораграф-ДС2-1600»,	112X166		60	80	5,0
«Керн GP1»,	140X120		40	370	4
«Вильд Авиотаб ТА2» (Швейцария)	120X115		40	300	
«Токио компьютер контрол ЛТД», ДР-56 МК11 (Япония)	50X60		50	142	

* Входит в состав автоматизированного рабочего места (АРМ) и более подробно описан в разделе 4.

ным устройством и черчения основных типов графического изображения. Ко второй части относят программы, позволяющие решать инженерные задачи комплексно: черчение карт и планов кадастра, конструирование и копроизведение горизонталей по узловым точкам и т. п.

В комплект чертежных инструментов входят: шариковые ручки РАХ, фубчатые перья Rotring (0,2 мм), Rotring -- Autoskript, резцы для

Рис. 48. Автоматический координатограф системы «Кораграф ДС-2» (Швейцария):

1—стойка с накопителями на магнитных лентах; 2 — устройство ввода-вывода на машинные носители; 3—монитор (дисплей); 4 — вычислительная машина; 5—алфавитно-цифровое печатающее устройство; 6— автоматические координатографы

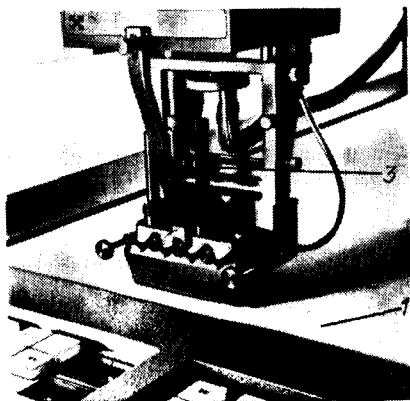


Рис. 49. Чертежная головка графопостроителя «Кси* нетикс» (б. ФРГ):

1 — чертежный стол; 2 — магнитная головка; 3—пишущий стержень

гравирования линий (толщиной 0,1—0,5 мм через 0,1 мм и 0,6—1,2 мм через 0,2 мм) и кружков (диаметр 1,2 мм и 2 мм), управляемые тангенциальным устройством. В последних моделях имеется устройство для воспроизведения изображения световым лучом на фоточувствительный материал.

Систему «Кораграф ДС-2» (рис. 48) (Швейцария) применяют при составлении крупномасштабных карт для различных целей (составление кадастра, инженерное проектирование и т. п.). «Кораграф ДС-2» состоит из вычислительной машины «Кора II», двух прецизионных координатографов, пульта управления с вводной (выводной) пишущей машинкой, считывающих устройств (для магнитных носителей), интерактивного дисплея и набора чертежных (гравировальных) инструментов. В комплект не входит (поставляется по заказу) преобразователь графической информации в цифровую (дигитайзер) «Кодимат». Вычислительная машина «Кора» работает в режиме управления АК и как обычная ЭВМ.

Технические характеристики прецизионных координатографов серий 700 и 1600 системы «Кораграф ДС-2» представлены в табл. 30. Перед воспроизведением на АК изображение для контроля может быть выведено на интерактивный дисплей (размер экрана 210X 152 мм или 190X 142 мм). На экране дисплея с помощью пульта управления можно осуществлять следующие операции: заменять символы и линии соединения; исключать, перемещать отдельные элементы или все изображение в целом; увеличивать масштаб отдельных частей или всего изображения в пределах 1:1-M:10 с шагом I. С выведенного и исправленного на дисплее изображения можно в течение нескольких секунд получить копию. Комплект головок и инструментов включает: чертежную головку с четырьмя штифтами (смена автоматическая) — всего имеется восемь стержней, различающихся либо по толщине, либо по цвету; гравировальную головку с тангенциальным устройством для гравирования кривых линий, кружков различных радиусов, двойных и тройных линий; устройства для воспроизведения пунктирных и точечных линий; световую головку с устройством для изображения линий толщиной от 0,05 мм до 10 мм и 72-х символов; шаблонную головку для воспроизведения различных символов. Скорость АК может быть увеличена до 300 мм/с при условии понижения точности воспроизведения рисунка в два раза относительно данных, указанных в табл. 30.

Принципиально новая конструкция автоматического координатографа использована в системе «Ксинетикс» (б. ФРГ). В комплект системы входят: автоматический координатограф; малая вычислительная машина; интерфейс (привод) к большой ЭВМ УВМ\ пассивный дисплей. АК «Ксинетикс» представляет собой чертежный стол, покрытый сверху ферритовой пластинкой. Пластина с нижней стороны расчерчена по перпендикулярным направлениям пазами, заполненными нейтральным веществом. В основу движения чертежной головки (рис. 49) положен принцип линейного двигателя. Корпус чертежной головки выполнен из немагнитного вещества, в котором находится постоянный магнит. Чертежная го-

ловка силой магнитного поля прижимается к нижней гладкой поверхности ферритовой пластины и перемещается в нескольких микронах от нее. На полюсах постоянного магнита находятся два электромагнита, принимающие сигналы управления от силового генератора. В результате этого возникает движущая сила, являющаяся результирующей постоянного магнита и электромагнитов. Чертежная головка практически безынерционна и развивает скорость до 1 м/с с ускорением, равным по любой оси. Средняя квадратическая ошибка воспроизведения на всей площади стола составляет 0,13 мм.

3.2.3. Преобразователи аналоговой информации в цифровую

К преобразователям аналоговой (непрерывной) информации в цифровую (дискретную) относят устройства, позволяющие превращать графическое изображение карт и планов в цифровую форму в виде координат точек, составляющих элементы карты. В ряде преобразователей к этой информации можно добавить цифровой код, необходимый для идентификации элементов карты. Такой преобразователь будем называть дигитайзером.

Это название происходит от английского слова digit (цифра). В литературе встречается и другое название данного устройства — цифрователь. Дигитайзер представляет собой чертежный стол, по которому передвигают обводное устройство. Это движение в виде плоских координат точек фиксируется на специальном табло механическим, электрическим или другими способами. Преобразователи достаточно широко используют при составлении топографических карт по картам более крупного масштаба, для составления специализированных карт и планов, а также при создании и использовании банков топографических данных. Для удобства описания преобразователей приведем их классификацию.

Классификация преобразователей

Преобразователи, как и автоматические координатографы, целесообразно классифицировать по нескольким показателям: принципу преобразования аналоговой информации; типу обрабатываемой информации; способу координирования; принципу управления; способу регистрации; форме обрабатываемого материала и т. п.

По принципу преобразования аналоговой информации преобразователи можно подразделить на приводные, индукционные, сетчато-проводниковые (электростатические), электронно-лучевые.

К приводным преобразователям можно отнести координатографы, позволяющие фиксировать координаты обводного штифта, жестко связанного с направляющими на поверхности стола. Перемещение штифта при этом передается в фиксирующее устройство либо механически, либо с использованием датчиков: угол-код, расстояние-код.

В индукционных преобразователях в отличие от приводных обводное устройство (штифт, лупа, перекрестие нитей) не связано с поверхностью стола, и одновременно с его перемещением по основе перемещается каретка по осям внутри чертежного стола.

Поверхность стола у сетчато-проводниковых преобразователей представляет собой закоординированную сеть, состоящую из электропроводников — координатных шин. Обводное устройство аналогично индукционному и совместно с сетью составляет замкнутую электрическую систему. При пересечении обводным устройством координатных шин сети фиксируются соответствующие координаты.

К электронно-лучевым преобразователям относятся интерактивные дисплеи. Дисплеем является электронное устройство, предназначенное для ввода и вывода на электронно-лучевую трубку (ЭЛТ) и преобразования графической информации. Если с изображением на экране можно оперировать (исправлять, стирать, передвигать и т. п.), используя специальное устройство, то дисплей является интерактивным, в противном случае — пассивным или статическим.

По типу обрабатываемой информации преобразователи следует классифицировать на графические, электронно-графические и др.

В графических преобразователях оригиналом является графическое изображение на бумаге, пленке и т. п. Координаты точек рисунка при этом получают только в двумерном пространстве.

Электронно-графическими преобразователями являются по существу интерактивные дисплеи.

По способу координирования исходных данных преобразователи целесообразно разделить на следующие (обводные), сканирующие и оптические читающие машины.

Большинство преобразователей в настоящее время относится к следящим. При этом линия отслеживается и ее точки координируются через определенный интервал. Сканирующие преобразователи (сканеры) последовательно развертывают площадь изображения плана в одну строку, тем самым преобразуя двумерное пространство в одномерное, координаты которого известны (рис. 50). Оптические читающие машины позволяют читать страницы с машинописным текстом (или символами) и различать графические пометки, сделанные специальным карандашом. К данному типу преобразователей относятся читающая машина «Рута 701» (СССР), OCR 2001 (Швейцария), «Фарингтон» Optical Page Scanner (США) и др.

По принципу управления преобразователи можно подразделить на автоматические, полуавтоматические и управляемые вручную.

К автоматическим преобразователям отнесем сканеры и оптические читающие машины. Полуавтоматическими преобразователями являются практически все индукционные, сетчато-проводниковые и частично приводные преобразователи, позволяющие автоматически регистрировать координаты точек либо через равные интервалы пути или времени, либо в зависимости от кривизны линии ведения по ней обводного уст-

1

Рис. 50. Сканирующее устройство:

/ электродвигатель; 2 — барабан; 3 — пульт управления

ройства. К полуавтоматическим преобразователям следует отнести также и следящие системы, автоматически отслеживающие линию (например, «Фотоглаз» — СССР, «Кодимат» — Швейцария), так как отслеживание возможно *только в* пределах замкнутой линии или отдельного отрезка. Для перехода на другую линию необходимо вмешательство человека. Обычные координатографы отнесем к преобразователям, управляемым вручную.

По способу регистрации преобразователи целесообразно классифицировать на координатные, регистрирующие только координаты, и кодовые, позволяющие добавлять к координатам код линии, номера контуров и т. п.

По форме обрабатываемого оригинала преобразователи можно разделить на плоскостные и барабанные (цилиндрические).

Практически все графические и электронно-графические дигитайзеры являются плоскостными, а сканеры — барабанными.

Основные характеристики преобразователей

Учитывая довольно значительное расхождение номенклатуры технических характеристик преобразователей, опишем их по способу координирования: дигитайзеры, сканирующие устройства, оптические читающие машины.

Дигитайзеры целесообразно характеризовать дополнительно по типу обрабатываемой информации: графические и электронно-графические.

Характеристики основных типов графических дигитайзеров представлены в табл. 31. Остановимся подробнее на описании некоторых из них.

Приводные дигитайзеры. «Дигитрон» разработан народным предприятием «Центроник» (б. ГДР) и состоит из измерительной головки с датчиком углов поворота, индикатора, устройства связи, стола. Марка

Название дигитайзера, страна-изготовитель	Максималь- ный рабочий формат, см	Принцип пре- образования аналоговой информации	Ошибка, мкм		Разрешаю- щая спо- собность, мкм
			абсо- лютная	отсчет координат	
«Дигитрон» (б. ГДР)	92 X 126	П	200	100	100
ПАСГИ (СССР)	100X 100	С	500	100	
«Дигипос» (Чехослова- кия)	98 X 138	П		100	
«Харомат» (Бельгия)	90 X 146	П		10	
«Конгсберг» (Норвегия)	120X 150	П	100		10
«Бенсон-610»,	48X73	И	150		
«Бенсон-620» (Франция)	150X200	И	100		
«Г радикон»,	120X 150	И			
«Аристорид» (б. ФРГ)	100X 180	И	120	10	25
«Дигигрид», ¹	105 X150	С	120	10	20
«Кодимат-»,	100X50	П	200	10	10
«Кодимат-Я-Р» (Швей- цария)	101XП0	П	50	10	10
«Геотрасер 326», АОА (Швеция)	84 X 120	П	100		

Условные обозначения: П — приводные; И — индукционные; С — сетчато-проводниковые (электростатические).

измерительной головки выполнена в виде перекрестия штрихов толщиной 0,06 мм, разделенных на пятимиллиметровые отрезки, и снабжена лупой с трехкратным увеличением. «Дигитрон» может работать совместно с пишущим (выводящим) устройством «Оптим 527», оргавтоматом «Оптим 528», координетром Р, малой ЭВМ К!^ 4100.

В «Дигипосе» (Чехословакия) координаты точек пунктов и линий могут быть отсчитаны в математической и геодезической системах координат. «Дигипос» относится к кодовым преобразователям. При необходимости можно набирать цифры от 0 до 9 и буквы *A, C, E, A H, /, z, P, u*. Комплект системы состоит из стола, ВМ «Дигипос», пишущей машинки и устройства вывода на машинные носители.

Графический преобразователь «Кодимат» (Швейцария) (рис. 51) выполнен в нескольких моделях; *ZL, H — H — A H — P*. Первые три модели снабжены свободным устройством в виде отсчетной лупы, модель *H — P* — телекамерой с монитором и модель *H — P* — проектором. На пульте управления имеются клавиши цифр, алфавита и специальных символов, что позволяет кодировать информацию.

Индукционные дигитайзеры. Типичным представителем данного типа является «Аристорид 8970» (ФРГ), который состоит из ВМ, обводного устройства (сенсора), не связанного с механическими направляющими поверхности стола, переносного пульта с клавишами для кодирования в цифровом и буквенно-цифровом виде или символами. В зависимости от назначения сенсор может быть выполнен; в виде пере-

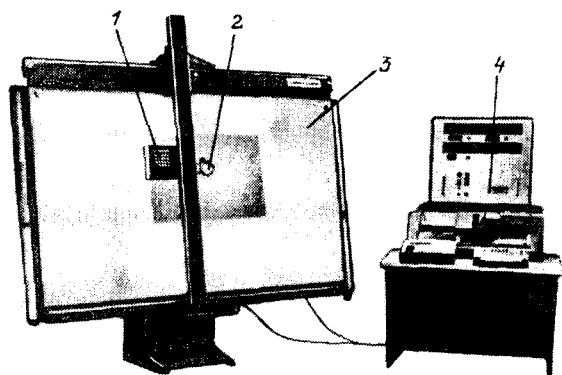


Рис. 51. Преобразователь графической информации в цифровую «Кодимат» (Швейцария):

1 — чертежный стол; 2 — обводная лупа; 3 — клавиатура управления; 4 — вычислительная машина

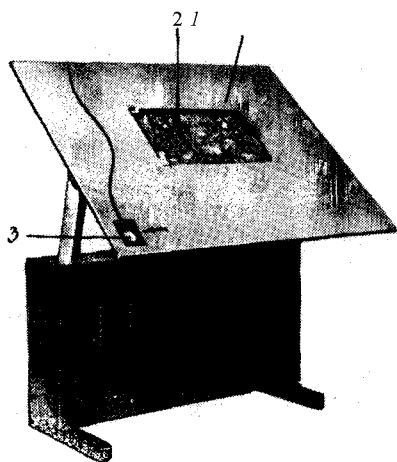


Рис. 52. Преобразователь графической информации «Дигитрид» (Швейцария):

1 — чертежный стол; 2 — обводимый план; 3 — обводная лупа

крестья нитей, с гравировальной головкой и др. Пульт управления клавишный и содержит 51 символ. Для контроля и корректировки используют алфавитно-цифровой дисплей. Масштаб графического воспроизведения может изменяться в пределах 1—0, 5—0, 25—0,1.

Фирма «Бенсон» (Франция) разработала три кодовых преобразователя графической информации в цифровую: ЛЦ 610—дигитайзер непрерывного считывания линий; ЛП 620 — для считывания координат

Марка дисплея, страна-изготовитель	Размер ра- бочего поля экрана, мм	Размер раstra точек, мм	Емкость памяти. Кбайт	Наличие цвета
«Роботрон» (б. ГДР)	300x300	512X512	64—256	256
ЕС-7064,	250X250	1024 X Ю24	24	—
ЭПГ-40 (СССР)	240X240	1024X1024	8	—
«Квест» (Великобрита- ния)	260X260	1280X1024	8	16
«Сисскэн» (/’e A?a-400) (Норвегия)	350 X 350	1024 X Ю24	128	
«Синтра» (миниграф) (Франция)	350X350	1024X1024	2,5	7
ТР-64 (8Ю-100) (б. ФРГ)	300X300	512X512	8	

отдельных точек; ЛФ 630 —устройство считывания информации с фото-
пленки с последующим проектированием изображения на экране. Раз-
решающая способность: 50 линий на 1 мм, точность установки фотоплен-
ки: 15 мкм.

Электростатические дигитайзеры. Полуавтоматическая
система подготовки и обработки графической информации (ПАСГИ)
представляет собой электростатический кодовый преобразователь полу-
автоматического типа, работающий в комплексе с малой ВМ и автоном-
ным пультом системы. При использовании ЭВМ большой мощности к ней
могут быть присоединены несколько ПАСГИ. Обводным устройством
является штифт с наконечником. Координирование отдельных точек
осуществляют совмещением наконечника с соответствующей точкой. При
обводке линий штифтом проводится непрерывное координирование точек
через определенный шаг.

У «Дигигрида» (Швейцария) (рис. 52) имеется контроль включения
устройства. В случае неправильности набора кода подается звуковой
сигнал и на табло пульта управления загорается кнопка, указывающая
на ошибку. Для ВМ «Коради» имеется пакет прикладных программ,
предназначенных для перевода координат из одной системы в другую,
учета деформации плана, вычисления площадей и расстояний и т. п.
Одновременно к дигитайзеру могут быть подключены три периферийных
устройства, а также — дисплей СРТ, настольные вычислительные ма-
шины и др.

Электронно - графическими преобразователями являются
интерактивные дисплеи. В табл. 32 приведены основные характеристики
дисплеев.

Устройство ввода и вывода алфавитно-цифровой и графической
информации — ЕС-7064 является периферийным по отношению к основ-
ному процессору ЕС и предназначено для воспроизведения сложных
графических изображений, а также — цифр и букв на экране ЭЛТ.

Основными частями системы являются: узел управления, магнитное
оперативное запоминающее устройство (МОЗУ); блок сопряжения с ка-

налом; блоки генератора знака и векторов; блок индикатора на ЭЛТ; алфавитно-цифровая и функциональная клавиатура; блоки питания; световой карандаш управления. Световой карандаш позволяет оперативно проводить ряд операций с изображением; стирать, перемещать, поворачивать, масштабировать, добавлять или удалять отдельные символы, целые фразы и т. п. Для управления используют 23 внутренних и 14 канальных команд.

В остальных дисплеях проводятся аналогичные операции. Некоторым отличием являются устройства управления, выполненные в виде полусферы, в виде перекрестий нитей, перемещаемых при помощи кнопочного управления и др. В некоторых типах дисплеев в течение нескольких секунд можно получить светокопию с изображения, имеющегося на экране.

Недостатком описанных типов дигитайзеров является необходимость участия человека при наведении марки на пункты или отслеживании линии. Более удобным является автоматическое отслеживание линии с соответствующей фиксацией координат точек.

К таким устройствам относится «Фотоглаз», который представляет собой электронное устройство, автоматически перемещаемое вдоль линии. Определенным недостатком «Фотоглаза» является необходимость вмешательства человека в случае пересечения отслеживаемой линии других элементов карты, а также при острых углах поворота линии и ее замыкании.

При работе всех описанных типов дигитайзеров в той или иной форме необходимо участие человека, что снижает производительность использования технических средств и нарушает процесс автоматизации в целом.

Указанных недостатков лишены сканирующие устройства, в которых используют наиболее перспективный метод считывания исходных данных — автоматический, основанный на сканировании — последовательном развертывании площади изображения в одну строку.

Сканирующее устройство — сканер состоит из барабана и сканирующей головки. Основа оригинала закрепляется на барабане, вдоль которого (при его вращении) перемещается сканирующая головка, развертывающая изображение оригинала. От головки через блок согласования изображение поступает в усилитель-формирователь, в котором оптическое изображение преобразуется в электрические сигналы и через блок сопряжения передается в ЭВМ. Сканирующие устройства могут быть использованы как для ввода информации в ЭВМ, так и вывода из нее.

Сканерам присущи следующие недостатки: ошибки вследствие нарушения работы устройства; невозможность выделения участка с максимальной кривизной линии или ее пересечений с другими элементами карты; сложность при сканировании прерывистых линейных элементов и др. Основная трудность, из-за которой этот метод не нашел широкого применения, заключается в сложности распознавания считанных элементов содержания карты и кодирования их в форме, пригодной для переработки в ЭВМ.

Однако, если при издании карты негативы изготавливать по числу элементов содержания (при использовании готовых карт подобные негативы можно получать фотографированием со светофильтрами), то указанную трудность можно обойти. В этом случае отпадает процесс декодирования изображения, так как на каждом негативе будет изображение элементов только одного типа и процесс цифрования сократится в несколько раз. Негативы с элементами содержания карты можно хранить в машинных носителях, восстанавливая ситуацию и рельеф в любых комбинациях.

Определенными достоинствами при вводе в ЭВМ исходной информации обладают оптические читающие устройства. В СССР серийно читающей машиной является «Рута 701», которая представляет собой электронную машину, состоящую из устройства ввода (механизм подачи документов и считывающий узел) и двух логических устройств. Информация может быть введена в ВМ «Рута 110», а также выведена на промежуточные носители. «Рута 701» читает ряд печатных шрифтов, рукописные знаки и графические пометки. Основной ансамбль распознаваемых знаков состоит из десяти цифр и специальных символов. Аналогичные оптические читающие машины достаточно широко используются в США и Швейцарии для разных целей.

3.3. ТЕХНОЛОГИИ, АВТОМАТИЗИРУЮЩИЕ ПРОЦЕСС ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК

С появлением технических средств, позволяющих автоматизировать процессы создания топографических и специализированных карт и планов, разработаны и применяют как в СССР, так и в других странах, усовершенствованные способы топографических съемок, в которых используют системы сбора и первичной обработки топографо-геодезической информации, а также — составления топографических планов и карт в различных режимах: автоматизированных, полуавтоматизированных и автоматических.

3.3.1. Системы сбора и первичной обработки топографо-геодезической информации

Динамические топографические системы

Под динамическими топографическими понимают системы с использованием непрерывно перемещающейся (например, транспортным средством) визирной целью, плановые координаты местоположения которой определяют разными способами (линейной, угловой или комбинированной засечками), а высоты измеряют либо тригонометрическим нивелированием, либо, используя лазерную плоскость.

Характерным примером такой системы является автоматизированная топографическая операционная система (АТОС) [27].

Автоматизированная топографическая операционная система предназначена для составления планов в масштабе 1:2000 с сечением рельефа через 0,5 м и состоит из комплекта приборов по сбору полевой информации и камеральной ее обработки.

Полевой комплект АТОС смонтирован на автомобиле ГАЗ-66 и включает:

- 1) высотомер на базе опорной лазерной плоскости;
- 2) четыре геодезических радиодальномера, предназначенных для определения планового положения съемочных пикетов;
- 3) полуавтоматический регистратор геодезической информации.

Функциональный высотомер состоит из 3-х частей: излучателя лазерной плоскости, находящегося на точках съемочного обоснования;

фотоприемной рейки, установленной на кузове вездехода; блока усилителя, расположенного в кузове вездехода.

Изменение высоты установки излучателя может регулироваться от 1 м до 4,5 м с помощью дополнительной пирамиды из уголковой стали.

Фотоприемная рейка состоит из 60 фотоэлементов, снабженных линзами кругового обзора и закрепленных на рабочей части рейки длиной 3 м через 5 см. Точность определения высот (без учета оседания грунта под транспортом — 25 см) около 7 см. Дальность — 600 м.

Четыре радиогеодезических дальномера — РДГВ (в последних вариантах РДЛ) образуют двухканальную систему, позволяющую определять плановые координаты пикетов способом обратной линейной засечки (расстояния — 20—3000 м). В процессе съемки ведомые станции находятся на двух точках съемочного обоснования, ведущие — на транспорте. Движение транспорта проводят по дуге, при этом створы радиодальномеров должны пересекаться под углом достаточно близким к 90° .

Пикеты определяют через 15 м по концентрическим дугам, находящимся на расстоянии 15—30 м друг от друга. Средняя квадратическая ошибка определения в движении планового положения пикета — 0,5 м.

Регистратор полевой информации (РИП 01) представляет собой магнитофон с записью данных на бытовую компакт-кассету со следующими характеристиками:

количество символов — 16; емкость кассеты — 15 тыс. символов; напряжение 9 В; потребляемая мощность — 2 Вт; масса с автономным источником — 6 кг; габариты: 260X110X270 мм.

На одну кассету записывается 600—650 пикетов.

Камеральный комплекс состоит из технических средств обработки информации на базе экспедиции и вычислительного центра.

К техническим средствам первичной обработки информации относятся: устройство согласования с МиниЭВМ, МиниЭВМ 15BCM-5, устройство согласования с цифropечатающей машиной УЦМ-23, устройство записи (УЗ-01).

Комплекс технических средств вычислительного центра состоит из устройства ввода, ЭВМ ЕС 1033 и автоматического координатографа КПА-1200.

Состав полевой бригады — 5 человек (водитель, оператор высотомера, оператор радиодальномера, 2 оператора ведомых станций).

Для эффективного функционирования камерального комплекса необходимо использовать ЭВМ с объемом оперативной памяти 572 Кбайт и дополнительным диском емкостью 5 Мбайт, а также — быстродействующий графопостроитель.

Лазерно-параллактические системы

В лазерно-параллактических системах также используют принцип создания лазерной плоскости, но в ином варианте [15]. Передающее устройство включает лазерный передатчик с вращающейся головкой и радиопередатчик. Приемное устройство выполнено в виде фотоприемника с объективом кругового обзора и помещено сверху телескопической штанги, на которой прикреплен также радиоприемник и вычислительное устройство. Лазерный передатчик формирует два пучка — горизонтальный и наклонный к горизонту под некоторым углом. Передающее устройство устанавливают на станции стояния, а приемное устройство — на пикетах.

Высоту пикетов определяют фиксацией фотоприемником краев горизонтальным лучом, а расстояние — параллактическим методом, используя вертикальный угол и превышение между горизонтальным и наклонным пучками над пунктом. Информация об угле поворота вращающейся головки относительно начального направления передается радиопередатчиком и принимается радиоприемником приемного устройства. Все три координаты вычисляются и фиксируются на табло вычислительного устройства.

Описанные способы съемки применимы только на открытой равнинной местности. Более универсальным является способ электронной тахеометрии.

Электронная тахеометрия

Электронные тахеометры, обладая высокой точностью измерения углов линий и превышений и имея большой радиус действия, позволяют совместить процессы создания геодезического и съемочного обоснования непосредственно с топографической съемкой, а иногда и вовсе обойтись без съемочного обоснования. Чаще всего, съемку с использованием ЭТ выполняют в локальной системе координат. За начало координат каждый раз принимают станцию стояния, с которой производят съемку. При этом видимость между станциями стояния не обязательна. Участок съемки с одной станции образует блок, в процессе съемки которого проводят измерения и на узловых точки, фиксируемые также, как и пикеты съемки в абрисе. Впоследствии по узловым точкам осуществляют

перевычисление локальных координат пикетов в блоках в единую систему координат. При съемке производится цифровое кодирование пикетов по принадлежности к контурам.

Учитывая большой радиус действия ЭТ и высокую его производительность при измерениях, предпринимают попытки механизировать процесс передвижения наблюдателя с прибором и реек во время съемки. Например, наблюдатель вместе с ЭТ размещается в кузове автомашины. Специальный штатив электронного тахеометра может опускаться до поверхности Земли через разъем в кузове для проведения измерений. ЭТ находится при этом выше бортов кузова. Плановое и высотное положение станции стояния определяют по пунктам геодезического обоснования различными видами засечек: прямой (другими наблюдателями с двух «твердых» пунктов), обратной — по четырем пунктам, линейной — по трем пунктам или, чаще всего, комбинированной. Контроль координат и высот станций стояния осуществляют миниЭВМ, находящейся в автомобиле по результатам избыточных измерений. Проверенные значения вместе с семантической информацией могут регистрироваться в накопителе с дальнейшим вводом в большую ЭВМ, или сразу — передаваться на камеральный пункт по радио [9] или кабелю связи [2] для воспроизведения пунктов ситуации и рельефа на графопостроителе.

В НИИПГ разработано полевое автоматизированное рабочее место топографа (ПАРМ — Т) [2], предназначенное для первичной обработки полевой информации при наземных съемках, преобразования данных в цифровую форму и графического воспроизведения в диалоговом режиме. Предусмотрена возможность редактирования и приведения выходной информации к выходным форматам других систем.

В состав ПАРМ—Т входят персональная ЭВМ и портативный планшетный графопостроитель, смонтированные в едином функционально-транспортном корпусе, удобном для переноски и размещения на легковых автомобилях различных марок.

ПАРМ—Т может быть сопряжено с ЭТ Рекота, ТаЗМ или регистратором РИМ—Т и предназначено для работы непосредственно в полевых условиях в режиме реального времени или автономном.

Производительность электронных тахеометров тесно связана с числом определяемых пикетов. Для увеличения дальности действия ЭТ используют различные способы. Например, фирма «Оптон» (б. ФРГ) осуществляет подъем тахеометра до 3,5 м с помощью специальных штативов для тахеометра и наблюдателя, а также применяет приспособление для подъема отражателей на высоту до 7,5 м. Проведенные работы показали, что поднятие ЭТ на предельную высоту занимает около 30 мин. при этом за счет уменьшения влияния рефракции повышается точность измерения превышений.

Следует отметить, что в процессе традиционной тахеометрической съемки с использованием ЭТ исполнитель и рабочий-реечник меняются местами. Рабочий находится у прибора и наводит тахеометр' на отражатель, а исполнитель ведет абрис и определяет местоположение рейки. Связь между ними осуществляют с помощью радиопередатчиков.

3.3.2. Топографические системы крупномасштабного картографирования

Автоматизированная система крупномасштабного картографирования (АСК-1)

Задачами первой очереди АСК-АСК-1 (НИИПГ) * являются:

сбор первичной топографической информации и ее подготовка вручную к вводу, удобному для ввода в ЭВМ;

обработка данных и формирование ЦММ на ЭВМ;

составление оригиналов карт с помощью графопостроителей.

Соответственно перечисленным задачам подчинена и структура АСК-1 (рис. 53). Сбор полевой информации при наземной топографической съемке может выполняться с помощью обычных тахеометров, а также — электронных тахеометров — Та5, Та — 3М и Рекота.

Полевая информация может быть зарегистрирована на полевом регистраторе РИОН, РИМ—Т (см. 3.2.1) или в полевом журнале. Во всех случаях метрическая и синтаксическая информация записывается отдельно от семантической и структурной.

На рис. 54 представлен образец формуляра и пример его заполнения из [32]. Номер объекта тождественен соответствующему номеру из полевого журнала.

Номера контуров заносят в формуляр только после контрольного черчения на графопостроителе плана, на котором вручную нумеруют все контуры.

В процессе съемки в поле в обязательном порядке ведется абрис. Полевой журнал и абрис с результатами измерений являются основой для подготовки полевой информации к вводу в ЭВМ. При этом вручную составляют абрисные списки, представляющие собой подробную запись о том, номера каких точек входят в тот или иной контур, и указывают вид связи (прямолинейная, криволинейная, круговая и др.).

Дальнейшую обработку проводят на ЭВМ ЕС с объемом оперативной памяти не менее 512 Кбайт, а черчение — на АГ ЕС 7054, 7051, Дигиграф 1208 (см. 3.2.2).

Воспроизведенное изображение возвращают на исправление и досъемку в полевые подразделения.

Система автоматической обработки наземной топографо-геодезической информации (СОНТИ)

Общие сведения

СОНТИ представляет собой совокупность геодезических, математических и картографических методов и средств электронной и вычислительной техники, оргтехники и Связи, позволяющих создавать модели местности (ММ) и составлять, используя их, традиционные планы и

* Лисицкий Д. С. Основные принципы цифрового картографирования местности.— М.: Недра, 1988.



Рис. 53. Структура автоматизированной системы картографирования (АСК-1)

карты, а также накапливать топографо-геодезическую информацию в информационно-поисковых системах (ИПС) и решать различные инженерные задачи [4].

СОНТИ относится к классу автоматизированных систем управления технологическими процессами топографо-геодезического назначения и может быть как самостоятельной системой, так и составной частью автоматизированной системы по проектированию инженерных сооружений. Целью создания СОНТИ является автоматизация крупномасштабного картографирования и решения некоторых инженерных задач.

Разработку системы СОНТИ осуществляют с учетом особенностей топографо-геодезического производства: необходимости съемки участков небольших размеров, закрытости территории и т. п.; возможности ведения топографической съемки в местной системе координат; влияния природно-климатических и физико-географических условий на сбор, первичную обработку и передачу информации и т. п.

Конечная продукция СОНТИ может быть выдана в виде планов и карт крупных масштабов; цифровых массивов; графических и аналитических решений инженерных задач.

Формуляр кодированной семантической и структурной информации о топографических объектах

Участок картографирования

Б—16

Признак

2 6

Съемочный участок Б—16—41

П11

Номер объекта

3п3|аИФ1М

Семантический код

0

Признак наличия имени собственного

18

☐

Значение (важность)

19

Р

Вид пространственной локализации

20 22

Вид связи контуров в объекте

23 26

☐ **ИЗ**

Номер основного контура

27

ОН

Количество подчиненных контуров

29 3233

40 41 4445

52

53 56 57

64 61

а

[ШЕЛ

ГММ

Признаки и значения числовых семантических характеристик

Мф|л|л|Щ| |2|8Г1 |1Т1 |П

Имя собственное

2

1	56	1011	15 16	2021	25 26	3031	36 36	40	3
П	ТМ6!	11	М6 	111 ^11	 1 8 	11 ин	111 111	 	1ТТТП
41	»546	50 51	5556	6061	6566	70 71	7В		

Номера подчиненных контуров

Дата _____ Составил _____

Рис. 54. Образец формуляра кодирования семантической и структурной информации о топографических объектах в АСК-1

Функциональная часть системы представляет собой комплекс геодезических, математических и картографических методов, обеспечивающих в совокупности автоматизацию сбора, обработки, хранения и выдачи топографо-геодезической информации о местности, а также ее использования для решения геодезических задач. Укрупненная блок-схема функциональной структуры СОНТИ показана на рис. 55.

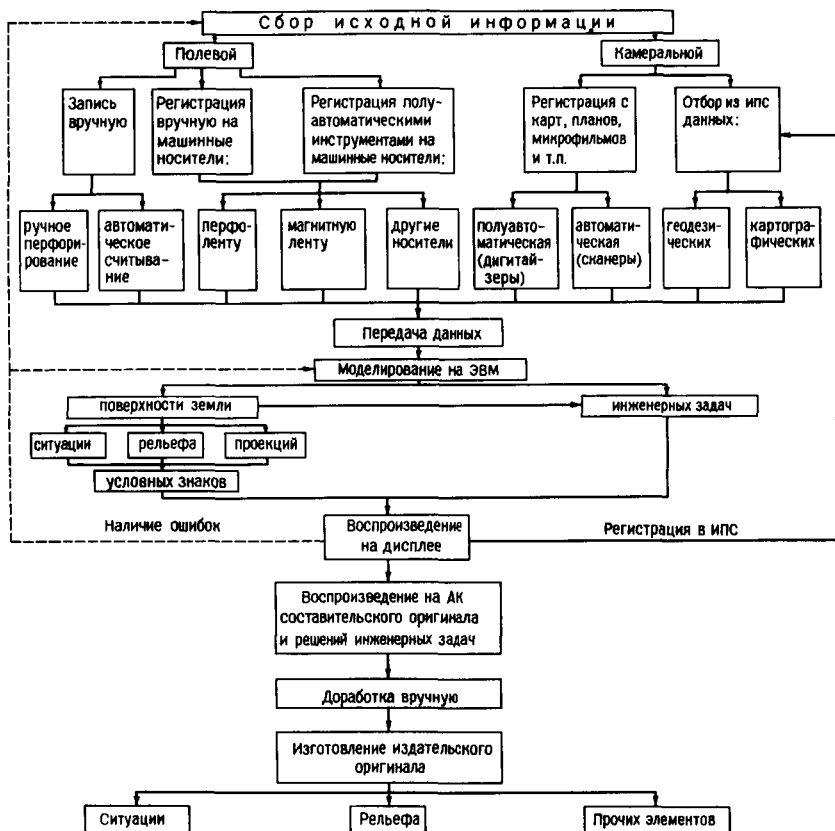


Рис. 55. Блок-схема функциональной структуры системы автоматической обработки наземной топографо-геодезической информации (СОНТИ)

При создании СОНТИ автоматизация сбора, обработки, хранения и выдачи топографо-геодезической информации достигается разработкой методов фиксации метрической информации при традиционных методах съемки местности в виде, удобном для непосредственного ввода в ЭВМ; кодирования семантической (качественной) информации непосредственно при регистрации метрической информации; считывания информации с карт, планов и микрофильмов; выбора данных из ИПС, моделирования земной поверхности; автоматической подготовки исходных данных для решения инженерных задач; стилизации условных знаков; выдачи информации из ЭВМ в графическом и цифровом виде; обновления и дополнения ИПС новыми данными.

Обеспечивающая часть системы состоит из информационной базы, математического обеспечения и комплекса технических средств.

Информационную базу СОНТИ составляют документы полевых измерений, система кодирования информации при передаче в ЭВМ по каналам связи, массивы выходных данных, система условных знаков, составительские оригиналы карт и планов. Представим составные части информационной базы подробнее.

Документы полевых измерений

К данному виду информации относятся журналы, машинные носители (магнитные и другие носители), подложки Карты, планшеты мензульной съемки, а также система кодирования общей, метрической и семантической информации об элементах съемки.

Журнал полевой информации

Журнал полевой информации, предназначенный для машинной обработки, незначительно отличается от общепринятого. В то же время он удобен при использовании различных методов съемки и содержит всю информацию: метрическую, синтаксическую и семантическую.

Абрис не обязателен. Фрагмент журнала применительно для полярной съемки представлен в табл. 33 и 34.

В общую информацию включен знаменатель масштаба создаваемого плана, так как от него зависит размер и форма условных знаков. Коды установлены в соответствии с относительной частотой их использования. Необходимость выделения кодов по типам приборов вызвана различными формулами, по которым вычисляется горизонтальное положение линий.

Информация общего вида I_0 находится на титульном листе журнала и представляет собой сведения о названии объекта, масштабе создаваемой карты или плана, методе съемки и используемых приборах и инструментах.

Для ЭВМ необходим только полный код, который состоит из двух частей. В первую часть входит код объекта (планшета), под которым он находится в ИПС. Эта информация нужна для обновления, пополнения и использования ИПС. Вторая часть представляет собой кодовое число, состоящее из кодов масштаба создаваемого плана, метода съемки и типа применяемого прибора. Например, при составлении плана в масштабе 1:500 полярным методом с использованием тахеометра код второй части будет 111.

Метрическую информацию I_m (отсчеты по тахеометру, рейке и т. п.) располагают на обороте страниц журнала (см. табл. 34). К обычным графам журнала добавлены графы 2 и 9. Во вторую графу записывают номер пикета, с которым должен быть соединен определяемый пикет. В случае отсутствия такого (точечные объекты) графа 2 не заполняется (см. № 57 гр. 1). При последовательном соединении нескольких пикетов в графе 2 повторяют номер начального пикета, а против остальных

Таблица 33

Журнал тахеометрической съемки №

Название участка съемки

Номенклатура планшета

Масштаб	Код	Метод съемки	Код
1 :500	1	Полярный	1
1:1 000	2	Обмеров	2
1:2000	3	Ортогональный	3
1:5000	4		

Тип прибора	Код	№ прибора	Константы
Тахеометр	1		
Лента	2		
ДН-10	3		
ТВ	4		

Полный код		Константа
Код участка	Код съемки	

Исполнитель

точек графу не заполняют. В графе 2 против предпоследнего пикета для данного контура ставят номер последней точки или в обеих графах пишется номер последнего пикета, что является признаком построения четвертого угла для дома (см. № 65). Для замкнутого контура последней точкой будет первая. В случае двойной нумерации пикета, определенного с разных станций, в графе соединения оба номера показывают через дробь. Запись метрической информации граф 3—8 традиционна.

Для пикетов, принадлежащих однородному объекту и записанных подряд, код фиксируют только для начальных из них (см. пикеты № 50, 51, 54—56 и др.).

Все вышеизложенное относится не только к ситуационным, но и к высотным пикетам. Связь между точками рельефа показывают по струк-

Таблица 34

Запись пикетов

Дата 19 г. Ст. №

Наблюдал

Записывал

№ пикетов	№ пикетов для соединения	Горизонтальный круг	Вертикальный круг	О, м	5, м	$\angle' - V,$	Л, м	Код элемента съемки	Примечание
4	3	0°00,00'							
50	105	190 49,3			10,6		+ 0,15	Д1Ж2У2	Дом 2КЖ
51	50	135 32,0			17,1		-0,84		
52	53	105 57,8			17,1		-0,75	Д1Н4У	Сарай
53		82 00,0			17,8		-1,53		
54	54	80 22,8			45,0		— 6,46	Р1П	Пикет
55		118 05,0			37,0		-3,52		
56	77	115 26,0			21,9		-1,78		
57		47 31,2			17,0		-1,00	Р1П	Пикет
58	59	41 06,2			33,1		-1,92	Х5КЛ	Колодец
59	59	17 49,0			28,2		-0,65		
60	78	9 58,2			33,3		-0,60	Х231С1	Столб ЛЭП
61	80	1 39,0			48,0		+ 0,10	Ш1А	Шоссе асф.
62	81	357 34,2			45,5		+ 0,41		
63	63	357 17,8			35,2		+ 0,25	Д1Н2У1	Дом 1КН
64		330 35,0			10,5		+ 0,23		
65	65	300 46,9			22,0		+ 1,64		
66	69	293 33,3			25,8		+ 2,01	И2В4	Забор дер.

турным, орографическим и другим линиям, характерным данному рельефу. Этими линиями образуются замкнутые контуры так, чтобы внутри каждого из них находилась отдельная форма рельефа (лощина, седловина и т. п.) или ее часть — скат. При отсутствии характерных линий рельефа их намечают произвольно, образуя замкнутые фигуры с числом пикетов, соответствующих памяти ЭВМ. При использовании в качестве высотных пикетов ситуационных, находящихся на структурных линиях, в журнале следует повторить номер этой точки с кодом высотного пикета.

При наличии аэрофотоснимков, карт более мелких масштабов или материалов рекогносцировки местности до производства измерений может быть составлен проект ведения съемки (взамен абриса) и соответствующим образом подготовлен журнал.

Общей частью проекта является выделение характерных линий и экстремальных точек рельефа, а также определение контуров ситуации и их кодирование и т. п. Это облегчает полевые работы и сокращает время съемки.

Машинные носители

При использовании полевых регистраторов информации и электронных тахеометров результаты полевых измерений фиксируют на машинные носители: магнитные ленты и т. п. Последовательность регистрации должна быть аналогична записи журнала: общая информация, метрическая, семантическая. Запись должна вестись по станциям и соответствовать строкам журнала.

Подложки Карт и мензульные планшеты

Подложки Карт, как и мензульные планшеты, являются носителями одновременно всей информации (общей, метрической и семантической), съемку производят традиционно, но пикеты оформляют (соединяют) различным цветом или люминесцентной краской соответственно классу условных знаков. Красным цветом изображают опорную сеть, коричневым — рельеф, голубым — гидрографию и т. п.

Остальную семантическую информацию записывают кодами (без буквы класса) на соответствующих линиях. Внемасштабные условные знаки также изображают соответствующим цветом.

Система кодирования информации

В соответствии с теорией информации система кодирования должна быть экономна. При этом экономность определяют числом элементарных сигналов, приходящихся на передачу сообщения. Чем меньше сигналов, тем экономнее кодирование.

Интерпретируя карту (план) как сообщение, «алфавитом» которого является совокупность всех условных знаков, состоящих из кодовых обозначений (элементарных сигналов), можно сформулировать экономность топографической системы следующим образом. *Чем чаще встречается элемент содержания карты, тем короче должно быть его кодовое обозначение.* Математически это можно показать, используя понятие энтропии (см. раздел 4),

$$J_{\Gamma H} + \Gamma \Pi \Pi, \quad (3.4)$$

где $\langle 3 \rangle$; и Π , — соответственно частость и составляющая энтропии i -го элемента съемки (объекта);

$$\bar{H}_i = - \sum_{i=1}^{\Pi} q_{ij} \log_2 q_{ij}, \quad (3.5)$$

$\langle 7 \rangle$, — частость кодовых обозначений элементов съемки.

Система кодирования элементов съемки должна отвечать следующим требованиям: 1) однозначности — каждому элементу съемки соответствует только одно кодовое обозначение, не являющееся полностью

№	Классы	Условные обозначения класса	Коды
1	Опорные пункты	Обоснование	О
2	Здания, постройки и их части	Дома	Д
3	Скульптуры и места захоронения	Захоронения	З
4	Объекты промышленные и коммунального хозяйства	Хозяйственные объекты	Х
5	Объекты связи	Связь	С
6	Железные дороги и сооружения при них	Железные дороги	Ж
7	Шоссеиные и грунтовые дороги	Шоссеиные дороги	Ш
8	Гидрография, гидротехнические объекты и водный транспорт *	Гидрография	Г
9	Объекты водоснабжения	Водоснабжение	В
10	Мосты и переправа	Мосты	М
11	Рельеф	Рельеф	Р
12	Растительность	Насаждения	Н
13	Грунты и микроформы земной поверхности	Поверхность	П
14	Болота и солончаки	Болота	Б
15	Границы	Контуры границ	К
16	Ограждения	Изгороди	И

* Водный транспорт может быть выделен в отдельный класс с кодом — «Т»

началом другого, более длинного, кодового обозначения; 2) экономности — длина кодового обозначения обратно пропорциональна частоте появления объекта съемки; 3) логики связи с названием объекта — для более быстрого запоминания кодов; 4) функционирования ИПС и банков данных — по любому сочетанию признаков производится сортировка кодов; 5) полноты передачи качественных признаков объектов съемки, например, используя буквенно-цифровой код; 6) контроля кодирования исходной информации как визуально, так и машинным способом, например, чередованием букв и цифр; 7) развития и совершенствования систем — добавлением новых кодов, замены старых.

В СОНТИ классы элементов съемки кодированы начальными буквами (табл. 35). Количество подклассов установлено в зависимости от однородности элементов внутри класса, не превышает десяти и обозначается цифрой.

Основным видом кодового обозначения элементов съемки приняты сокращения слов с опусканием срединных гласных (первые три-четыре согласные). Например, линии связи подразделены на телефонные — ТЛФ, телевидения — ТЛВ, кабель — КБЛ и т. п., что не противоречит принятым в «Условных знаках» сокращениям; водокачка — ВДКЧ, водохранилище — ВДХР и т. д. Если название элемента состоит из двух слов, применяется сокращенная запись по начальным буквам: государственная сеть — ГС, местная сеть — МС. Используются также сокращения слов по их началу: радио — РАД, лиственный — ЛИС и др. Часто

Код класса (буква)	Название подкласса	Код под- класса	Название объекта (номер по «условным знакам»)	Код объекта	Полный код объекта
О	Плановые пункты геодезической сети	1	Пункты государствен- ной геосети (1)	ГС	01ГС
О	То же	1	Пункты геосети мест- ного значения (3)	МС	01МС
О	Высотные пункты геодезической сети	2	Реперы грунтовые (П6)	ГР	02ГР
О	То же	2	Марки и реперы стен- ные (11 г)	СТ	02СТ
О		2	Реперы временные (НД)	ВР	02ВР
Д	Постройки	1	Огнестойкие (камен- ные) жилые (13)	Ж2	Д1Ж2
Д		1	Огнестойкие нежилые (14)	Н2	Д1Н2
Д		1	Неогнестойкие (дере- вянные) жилые (15)	Ж2	Д1Ж4
Д		1	Неогнестойкие нежи- лые (16)	Н4	Д1Н4
Д	Элементы зданий: крыльцо	2	Каменное закрытое (31)	КР23	Д2КР23
	»	2	Деревянное закрытое (32)	КР43	Д2КР43
Д	Капитальные соору- жения башенного ти- па	3	Водонапорная башня (23)	ВДН	Д3ВДН
Х	Здания	1	Здания фабрик, заво- дов и их цехов, элект- ростанций и других предприятий с труба- ми (73 а)	ЗДТР	Х13ДТР
Х	ЛЭП и их элементы	2	Трансформаторные будки и подстанции: каменные (95)	ТР2Б	Х2ТР2Б
Х	То же	2	железобетонные (95)	ТР1Б	Х2ТР1Б
			Фонари электрические (109):		
			на деревянных стол- бах	Ф4	Х2Ф4
			на железобетонных столбах	Ф1	Х2Ф1
Х	»	2	ЛЭП на застроенной территории высокого напряжения:		
			на металлических фермах	(112а) Э2Ф3	Х2Э2Ф3
			на столбах (112 в)	32С4	Х232С4
Х	ЛЭП и их элементы	2	ЛЭП на застроенной территории низкого напряжения на стол- бах (112 г)	31С4	Х231С4
		*			

встречающиеся объекты имеют короткое кодовое обозначение, например, в застроенной территории фонари встречаются значительно чаще, чем фонтаны, поэтому их коды обозначаются различно: Ф и ФНТ.

Материал объекта съемки кодируется цифрами 1, 2, ... соответственно частоте его существования. В настоящее время на застроенной территории чаще встречаются железобетонные конструкции (код № 1), затем — каменные (2), металлические (3), деревянные (4), смешанные (5). Коды трубопроводов соответствуют их частоте и местоположению: подземные — 1, наземные — 2, надземные — 3.

Схема образования кода зданий следующая: состояние (жилой — Ж, нежилой — Н, разрушенный — Р, строящийся — С); материал, например Ж1 (жилой, железобетонный). Если необходимы характеристики этажности и местоположения пикета у здания, то указывается буква местоположения пикета (угол — У, стена — С) и этажность двумя цифрами. Код семантической характеристики пятиэтажного жилого дома из железобетонных конструкций будет Ж1У05 или Ж1С05. Такая последовательность позволяет пользоваться сокращенным кодом и представлять возможность контроля кода чередованием букв и цифр.

В табл. 36 для иллюстрации приведены полные коды некоторых объектов, принадлежащих преимущественно застроенной территории.

М а с с и в ы в ы х о д н ы х д а н н ы х

К данному виду информации принадлежат каталоги координат и отметок пикетов с соответствующими кодами, отпечатанные на АЦПУ или записанные на магнитные носители. В случае необходимости выходными данными могут быть координаты точек горизонталей, коэффициенты аппроксимирующих полиномов, средние квадратические ошибки аппроксимации рельефа и т. п.

При составлении плана на графопостроителе в автономном режиме (off — line) к выходным массивам данных относятся управляющие магнитные или перфорационные ленты.

Система условных знаков

При разработке системы условных знаков для машинного воспроизведения элементов содержания крупномасштабной карты или плана также следует учитывать принцип экономности всей системы (3.4) и (3.5), который в данном случае может быть сформулирован следующим образом: «чем чаще встречается элемент, тем проще должно быть начертание условного знака, отображающего данный элемент».

В табл. 37 представлены наиболее часто встречающиеся условные знаки на застроенной территории и результаты их стилизации согласно принципу экономности. k_T и $1/\Gamma_{\text{нр}}$ — теоретический и практический коэффициенты упрощения условных знаков, соответствующие сокращению времени при воспроизведении стилизованных условных знаков.

№	Название условного знака	Изображение		Частота Q_i	$\Pi_{\text{пл}}$	&пр
		принятое (п)	стилизованное (с)			

Внемасштабные знаки

		О	□			
1 Колодец ком- муникаций				0,72	1,7	1,7
2 Дерево Л X			А X	0,14	1,9	2,6
3 Фонарь Я? Т			Т? А	0,14	1,8	2,7

Г Г 1,00

Линейные знаки

Трубопровод *	пп-----			0,65	1,7
Кабель **				0,20	2,1
Ограда желе- зобетонная ***	5' 2 ' 8 ' 2мм			0,09	2,5
Чехол на тру- бопроводе				0,04	0,8
Железная до- рога				0,02	1,0
				1,00	

Площадные знаки

	1=ЛП]	1=34			
Здание				0,875	1,0
Железнодорожная на- сыпь	■=31			0,088	2,84
Навес	Г—1	1-----1 1-----1		0,021	1,71
Строящееся здание	1X1	[XI		0,013	1,50
Цветник				0,003	1,00
Крыльцо				0,003	1,00
				1,000	

п

- * Буква назначения трубопровода ставится один раз между углами поворота.
 ** Размеры знаков даны в мм.
 *** Знаки опор ставятся только на углах поворота.

Составительские оригиналы карт и планов

Выходными графическими документами топографической подсистемы являются расчлененные (контурные, высотные, со специальной нагрузкой) или совмещенные составительские оригиналы.

Математическое обеспечение включает следующие алгоритмы: обработки полевой информации; формирования модели поверхности Земли.

Алгоритм обработки полевой информации

Обработку всей информации ведут по участкам (планшетам) съемки. В результате съемки на машинных носителях или в журнале образуются три массива информации.

1. Общая информация I_0 на весь участок съемки

$$I_0 = K, I_o, I_o, I_o, c), \quad (3.6)$$

где n_i — код объекта, зависящий от используемой ИПС, $и\mathfrak{x}$ — код масштаба съемки, I_o — код метода съемки, $и\mathfrak{x}$ и c — соответственно код и константа используемого прибора.

2. Метрическая информация для m станций

$$\begin{aligned} I_m = \{ & (P, v I J L, O U 5, (' - \gamma)) \Pi ; \quad ((3, v U D U S, (i - u)) i_2, \dots; \\ & (P, v U D U S, U - v)) i_n ; (P, v U h, D (J S, (i - v))_{21}; \\ & (P, v U D U S, (' - \wedge))_{22}; \dots; (P, v U \wedge 1 1 5, (i - v)) \}_{21}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (P, v U f t. D U S, (t - o) \Gamma. (P, v U f t, D (J S, \{ i - v \})_{m f}, \dots; \\ & (P, v U A, D U S, (i - v))_{m p} \}; \end{aligned} \quad (3.7)$$

где p и v — соответственно отсчеты по горизонтальному и вертикальному кругам тахеометра; h — превышение; D — наклонное расстояние; S — горизонтальное проложение до определяемого пикета; i — высота инструмента; v — высота визирования при наведении зрительной трубы на y -й пикет.

3. Семантическая информация для n станций.

$$\begin{aligned} I_{c,} = \{ & (j V h k, N e, k) и; (N_{n k}, N_c, k)_{12}; \dots; (N_m, A/c, k) \setminus_m \setminus \\ & (N_{n k}, y V c, *) a i; (N_{n k}, / V e, k)_{22}; (N_m, N_t, A) \rangle; \end{aligned}$$

$$(J \wedge p k \rangle l / c, / ?)_{T1}; \{ N n k, A \wedge c, A \} / p2; \bullet \bullet \bullet; (J / p k, M ?, B)_{m p} \}, \quad (3.8)$$

где $N n k$ — номер y -го пикета, $/ Y_c$ — номер пикета, с которым необходимо соединить $г y$ -й пикет, — код $z y$ -го элемента съемки.

В массивах (3.7) и (3.8) первым пикетом является станция стояния, а номером соединения — номер станции ориентирования.

При обработке на ЭВМ прежде всего выделяется код объекта. Затем осуществляется поиск аналогичного кода в ИПС. Если таковой имеется, то соответствующие зоны машинных носителей подготавливаются для обновления или дополнения новой информацией, в противном случае информация после обработки записывается в свободные зоны.

Далее выделяется код масштаба, по которому будет масштабироваться или выбираться в дальнейшем цифровая информация из библиотеки условных знаков.

По кодам типа прибора и метода съемки массивов (3.7) преформируется по общеизвестным формулам в массив «Л» координаты и высоты пикетов в соответствующей проекции:

$$A = \{ X_{..}, Y_{..}, H_{..} \}, \quad (3.9)$$

где (— номер станции, а / — номер пикета.

После окончания вычисления координат и высот пикетов в ЭВМ производится объединение массивов (3.9) и (3.8) в массив «В»

$$B = \text{И}_{\text{см}} \text{ПЛ} = \{ (Л/_{..}, к, Л/_{\text{с}}, к) \text{чП} (X_{\text{ч}}, Y_{\text{ч}}, H_{\text{ч}}) \} \quad (3.10)$$

и окончательно

$$B = \{ (Д'пк, Л/_{\text{с}}, к, X, Y, Я) п; (Л/_{..}, к, А/_{\text{с}}, Л, X, К, Я) \blacksquare; \dots; \\ (Л/_{..}, к, Л^{\wedge}_{\text{с}}, Л, X, Y, Я)_{\text{,,,}}; (Л/_{..}, к, Л/_{\text{с}} > й, X, Y, Я)_{\text{«}}; (Л/_{\text{,,,}}, Л/_{\text{с}}, к, X, Y, H)_{\text{ю}} \backslash \\ \dots; (Л/_{\text{,,,к}}, Л/_{\text{с}}, к, X, Y, H)_{\text{ч}}; \quad (3.11)$$

$$(Л/_{\text{,,,к}}, /Y_{\text{с}}, к, X, Y, Я)_{\text{н1}}; (Л/_{\text{,,,к}}, Л/_{\text{с}}, /г, Л, Y, Я)_{\text{н2}}; \dots;$$

$$(Л/_{\text{,,,к}}, Л/_{\text{с}}, А, X, Y, //)_{\text{,,,}} \}. \quad (3.11)$$

Массив «В» в виде (3.11) по существу является каталогом координат и высот элементов съемки с соответствующими кодами.

Следующей задачей является формирование модели поверхности Земли.

Алгоритм формирования модели поверхности Земли

Модель поверхности Земли (МПЗ) состоит из моделей ситуации (МС) и модели рельефа (МР). При этом МС и МР формируются отдельно из массива «В».

А л г о р и т м ф о р м и р о в а н и я м о д е л и с и т у а ц и и

МС — представляет множество, элементами которого являются информация об элементах ситуации (И_с) и правила ее обработки (П_с), позволяющие с необходимой точностью отобразить ситуацию местности. Таким образом, составными частями МС являются

$$И_{\text{с}} = \{ A', Y \} \text{ и } П_{\text{с}} = \{ (Ли, Л/_{\text{с}}, £) ЛП_{\text{к}} \},$$

где П_к — правила декодирования кода элемента съемки и порядка соединения пикетов.

В дальнейшем для каждого контура совместно с его кодом в МОЗУ ЭВМ формируется цепочка координат пикетов по соответствующим номерам. Для ускорения поиска нужных пикетов использованные номера пикетов

стираются в памяти ЭВМ. Процесс построения МС продолжается до тех пор, пока не будут выбраны все пикеты. Массивов «С» с кодами «£» будет столько, сколько имеется контуров ситуации на участке съемки, причем координаты пикетов внутри массивов «С» будут расположены в порядке их соединения.

$$C = \{ \kappa_{и} (X, K)_{...}, (X, Y)_{,2}, \dots, (X, Y)_{,n} \};$$

$$\kappa z, (X, K)^*, (X, K)_{22}, \dots, (*, Y) z, \dots$$

$$\kappa \gg (X, Y)_{K1}, (X, K)_{...}, \dots, (X, Y)_{,n} \}. \quad (3.12)$$

Для окончательного формирования модели ситуации необходимо добавить соединительные массивы из библиотеки условных знаков согласно условию (3.13)

$$П_c = /гПП_{в}, \quad (3.13)$$

где $П^*$ — правила декодирования множества кодов.

В окончательном виде модель ситуации выглядит следующим образом:

$$MC = \{ (((*, K)_{...}, п.), ((X, Y)_{,2}, п.), \dots, ((X, Y)_{,n}, п.);$$

$$((X, Y)_{21}, п_2), (X, K)_{22}, п_2), \dots, ((X, Y)_{zn}, п_2);$$

$$((X, Y)_{в1}, п.), (X, Y)_{,2}, п.), \dots, ((X, Y)_{zn}, п.), \}. \quad (3.14)$$

где $пП_{в}$ — совокупность команд по воспроизведению определенного типа условного знака.

При графическом воспроизведении МС массив (3.14) расчленяется на три подмассива:

1) немасштабных условных знаков $MC_{н}$:

$$MC_{в} = \{ (a|, \{x, y\} п, (x, y)_{12}, \dots, (x, y)_{п}); (a_2, (x, y)_{22}, \dots, (x, y)_{2n}); \dots; (a_p, (x, y)_{p1}, (x, y)_{p2}, \dots, (x, y)_{pn}) \}, \quad (3.15)$$

где a — совокупность команд для графопостроителя, $(x, y) z$ — текущие координаты i -й точки для воспроизведения i -го условного знака, вычисляемые по формулам:

$$*_{,7} = X / Д^*,_{7}; \quad Y_{II} = Y < + \& Y_{II}, \quad (3.16)$$

где $Д_{i/,-}$ и $Д_{i/,-7}$ — приращения координат условных знаков, находящихся в библиотеке условных знаков; $Л'$, Y — координаты i -го элемента съемки;

2) линейных условных знаков $MC_{л}$:

$$MC_{л} = \{ (((*1 \gg |, X2 \ll 2 \dots) п, 61), ((X \setminus Y_{II} X2 Y2 \dots)_{12} \gg B \setminus),$$

$$((X \setminus Y \setminus, x_2 y_2), \dots), \dots, B \setminus) \setminus$$

$$(((*|1|, X_{2Y_2}, \dots), {}_{21}, 62), ((*14/1, XN_{\hat{2}}) 22, B_3), \dots, ((*, i/1, {}^*_2(i/2), i>_2)I$$

$$((^*11/1, ^*21/2, \dots)^*, \zeta^*) ; ((^*11/1, ^*21/2, \dots)^*2, 6\alpha), \dots, ((^*1</1, ^*24/2), \dots)^*r, 6^*)\},$$

где b_i — совокупность команд для графопостроителя; $(**(*), \cdot)$ — текущие координаты условного знака между i -й и $(i + 1)$ -й точками i -го контура;

3) площадных условных знаков МС.,

MC.,=([({ X \ Y u *21/2, ...) ||, jM, ((*!(/, *2^2, -■-,) 12, j, |).....

$$((\ast 11/1, \ast 2</2, \dots) \text{ И, } \neq 1),$$

$$((\ast 11/1, \ast 21/2, \dots)_{\mathbb{H}, \leq ?}) ((\ast 11/1, \ast 21/2, \dots)_{12}, \wedge^0, \dots, ((\ast 11/1, \ast 21/2, \dots)_{lm, 6}), \dots);$$

$$f((X \setminus Y), (*1/2, \dots), \tilde{u}), ((*11/1, *21/2, \dots), 2, \langle * \{? \rangle, \dots, \{(*1/1, *21/2, \dots)\} \{(*, \dots) \} \}.$$

$$((^*11/1, ^*_{\gamma}u/5, \dots)_{\gamma}, \langle \gamma_i \rangle, ((^*11/1, ^*21/2, \dots, 2, e_{\gamma}), \dots, ((^*1/1, ^*_{\gamma}u, \dots)_{\gamma}, e_i))),$$

где $(***)//$ и — текущие координаты контура площадного условного знака и совокупность команд для АК; $(x'_{\text{Б}y'_{\text{К}}})_p$ — текущие координаты заполняющего p -го условного знака внутри i -го контура; e , — совокупность команд для АК при воспроизведении заполняющего знака.

Алгоритм формирования модели рельефа

Рассматривая модель рельефа как часть трехмерного пространства (⁷³), можно уточнить понятие МР с точки зрения топологии.

Модель рельефа в метрическом пространстве представляет собой множество $T = (J, i2, \dots, M$ точек характеризующихся метрикой $p(l, lk)$ вычисляемой по формуле

$$p_{*l}^*(M) = l! (x_k - X_k)^2 + (y_k - y_l)^2 + (H_k - H_l)^2,$$

где x, y, H — координаты тех точек, индексы которых совпадают с индексами координат и удовлетворяют условию: $\Gamma[*., (././, (*., y,)] = 0$.

Таким образом тип модели рельефа зависит от вида функции $h(x, y)$, который может быть существенно разным. В частности могут использоваться полиномы какой-либо степени, мультиквадратические уравнения, сплайны и др.

В настоящей системе используется структурно-функциональная модель рельефа (СФМР), в которой объединены положительные стороны структурной и функциональной моделей и устранены их недостатки. СФМР является кусочно-функциональной моделью, расчлененной структурными линиями на поверхности, аппроксимируемые какой-либо функцией. Исходными данными СФМР являются массивы координат и высот точек, находящихся вдоль структурных и орографических линий, а также внутри участка в произвольном порядке.

Формирование структурных линий по участкам рельефа производят по номерам соединения высотных пикетов аналогично контурам ситуации. Окончательным массивом структурных линий по участкам будет массив

$$Po = \{p_1, p^2, \dots, p^q\}, \quad (3.17)$$

$$p' = i(X, Y, Я)_n, (X, Y, \dots)$$

$$p_c^2 = \{(*, Y, Я)_{21}, (X, Y, H)_2, \dots, (X, Y, H)_2, 1$$

$$p^? = ((X, Y, //), \dots, (X, Y, Я)_2, \dots, (X, Y, H)_{я2}).$$

Вторым массивом будет массив пикетов $(X, Y, H)'$, не вошедших в (3.17)

$$P_n = \{(X, Y, H) \setminus \setminus, (X, Y, H) \setminus 2, \dots, (A, Y, H)p\}.$$

Отыскивая пересечение рсПРв, сформулируем массивы пикетов по участкам в виде

$$P_Y = \{(A, Y, H)_{1n}, (X, Y, H)_1, \dots, (X, Y, H)_n, (X, Y, H) \setminus u, (X, Y, H) \setminus 2, \dots, (X, K, H)_u\};$$

$$p_y^2 = \{(X, K, H)_2, u, (X, Y, H)_n, \dots, (X, Y, H)_2, u, [X, Y, H]_{Цu}, (X, Y, H)'_2, \dots, (X, Y, Я)_2\};$$

$$P_Y = \{(X, K, //)_{r1}, (X, Y, H) \setminus 2, (X, Y, //), \dots, (X, Y, H)', u, (X, Y, H)' \setminus 2, \dots, (X, Y, H)_{Yn}\}.$$

В дальнейшем производят аппроксимацию участка, при этом в процессе съемки структурными линиями оконтуривают такие участки рельефа, которые могут быть аппроксимированы заданной поверхностью. Это могут быть полиномы какой-либо степени, мультиквадратические уравнения, сплайны и т. п. Покажем пути решения задачи воспроизведения рельефа местности для некоторых случаев.

При использовании полиномов более удобны полиномы второй степени. Это позволяет: 1) аппроксимировать поверхность по небольшому числу опорных точек, что является существенным фактором при наземных методах полевых измерений; 2) устранить неопределенность поведения функции между опорными точками; 3) произвести оценку точности аппроксимации; 4) сэкономить оперативную память ЭВМ. При использовании полинома второй степени, каждому участку соответствует столько уравнений поправок, сколько пикетов находится на нем.

Проиллюстрируем использование полинома второй степени

$$P(x, y) = a_1 x^2 + a_2 y^2 + a_3 xy + a_4 x + a_5 y + a_6. \quad (3.18)$$

для первого участка. Тогда получим I уравнений поправок

$$a_1 i^2 + a_2 y^2 + a_3 x_i y_i + a_4 x_i + a_5 y_i + a_6 - A_i = v_i$$

$$01^2 + a_2^2 Y^2 + a_3^2 X^2 + a_4^2 + a_5^2 Y + a_6 - A = \tilde{V}^2,$$

$$a_1 x^2 + a_2 y^2 + a_3 x_i y_i + a_4 x_i + a_5 y_i + a_6 - A = A_i = a_i,$$

$$I n,$$

$$/ > 6, \text{ ЛЯ} = \text{Я}, - \text{Я}_{\text{ср}}, H_{\text{с}}, = \frac{\dots}{\text{Л}}.$$

Если решать систему уравнений (3.19) для каждого участка отдельно, то будет иметь место рассогласование аппроксимируемых поверхностей на границах участков. Для устранения рассогласований в (3.19) надо добавить уравнения связи, в которых примут участие точки структурных линий. Число таких уравнений будет равно числу точек, принадлежащих структурным линиям.

Коэффициенты $a_1, a_2, \dots, a_n, \dots, a'_{\varepsilon}$ (ε — число участков) будем искать по методу наименьших квадратов при условии $[y^2] = \text{гтпп}$. Находим коэффициенты нормальных уравнений

$$N = B^T B,$$

где N — матрица коэффициентов нормальных уравнений

$$\begin{matrix} / b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1, (r \times 6)} & \backslash \\ \text{д, } / N_{21} & N_{22} & \dots & N_{2, (r \times 6)} & \backslash^{\wedge} \end{matrix}$$

$$\wedge^{\wedge} (n \times 6), 1 > \wedge (r \times 6), 2 \dots \wedge (r \times 6), (r \times 6 \Gamma$$

B^m — транспонированная матрица коэффициентов уравнений поправок

$$B = \begin{pmatrix} b_{11} & b_{12} & \dots & b_{1, (r \times 6)} \\ b_{21} & b_{22} & \dots & b_{2, (r \times 6)} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ b_{n1} & b_{n2} & \dots & b_{n, (r \times 6)} \end{pmatrix}.$$

Система нормальных уравнений в матричной форме выглядит следующим образом:

$$\text{ЛГГ} + \zeta = 0, \quad (3.20)$$

где $Z = \begin{pmatrix} a_1^1 \\ a_2^1 \\ \vdots \\ a_6^r \end{pmatrix}$ — матрица-столбец коэффициентов a , полинома (3.18);

$L' = \begin{pmatrix} l_1^1 \\ l_2^1 \\ \vdots \\ l_6^r \end{pmatrix}$ — матрица-столбец свободных членов, $L = B^T L'$.

В результате решения системы нормальных уравнений (3.20) находят столбец коэффициентов $l =$ и тогда искомая аппроксимированная поверхность будет выражена в виде полинома с 1-й точкой, для которой определяется отметка $Я$,

Задаваясь координатами произвольной точки O_{ij} , из (3.21) всегда можно найти Y_{ij} . Для формирования массивов координат точек горизонталей, при воспроизведении последних на АЦПУ и АК, решение будем искать в виде пересечения поверхности (3.21) с плоскостью, параллельной плоскости системы координат XOY на высоте Y_{ij} .

Для выдачи горизонталей на АЦПУ или «Консуле» каждому x , будет соответствовать множество пар y , принадлежащих разным горизонталям. Массив в окончательном виде выглядит следующим образом:

$$*1. (Y_1 - Y_{ij})_{ij} \cdot (Y_1 - Y'_{ij})_{ij} \dots (Y_{ij} - Y'_{ij})_{ij} \\ X_{ij}, (y_1, y_2)_{ij} > (Y_1, y'_{ij})_{ij} \dots \{Y_{ij} > Y'_{ij}\}_{ij} \quad (3.22)$$

$$x_{ij}, (y_1, y_2)_{ij} \cdot (Y_1 < Y_{ij})_{ij} \dots \{Y_{ij} < Y'_{ij}\}_{ij},$$

При этом совсем не обязательно двойное значение y , при как не обязательно существование $(y,)$ вообще при данном значении. Полученный массив (3.22) масштабируется согласно матрице АЦПУ и преобразовывается в интервалы между символами в строке и интервалы между строками. Затем для каждой горизонтали выбирается в ЭВМ определенный символ, который печатается на пересечениях соответствующих строк и столбцов.

Массив координат точек горизонталей для выдачи на АК выглядит иначе, чем для АЦПУ. Здесь каждому значению x , точки данной горизонтали должно соответствовать только одно значение y . Поэтому координаты отдельных точек ветвей одной и той же горизонтали (Y_{ij}) перестраиваются в единый массив:

$$x|y|, X_2Y_2 x'y'_{ij}, \dots, x'_{ij}y'_{ij}, x|y|,$$

где XI , y_i x' , y' — координаты разных ветвей одной и той же горизонтали.

При аппроксимации мультиквадратическими функциями алгоритм будет отличаться от алгоритмов аппроксимации полиномами второй степени. Исходным уравнением поверхности является уравнение:

$$Y_{ij} = Y_{cp} + \sum_{i=1}^n N_i^{\alpha} \cdot Y_i^{\alpha} + O, \quad (3.23)$$

$$T_{ij},$$

где $Y_{cp} = \frac{\sum y_{ij}}{n}$; $\sum$ — коэффициент, зависящий от типа рельефа; C_i — неизвестные коэффициенты.

Для нахождения коэффициентов C_i по n опорным точкам с известными высотами решается система из n уравнений с n неизвестными коэффициентами:

$$A \setminus i C \setminus \setminus - A i 2 C 2 - \{ \dots \} - A t n C n - A H \quad i = 0$$

$$A b \setminus C \setminus \setminus J \setminus \setminus \setminus 4 2 2 C 2 \setminus \setminus \setminus \bullet \bullet \bullet \setminus b A v n C n \setminus \setminus A \Gamma = 0$$

$$A n i C i A_n 2 C 2 \setminus \setminus A n n C n \setminus \setminus A H_n \setminus \setminus 0$$

где

$$A_{ii}=0, \quad A_{ij}=\sqrt{(X_j-X_i)^2+(Y_j-Y_i)^2+D}; \quad A_{ij}=A_{ji}, \quad c_1, c_2, \dots, c_n \text{ — неиз-}$$

$$\sum H_i$$

вестные коэффициенты; $A_{ij} = \#$; i — опорная точка, для которой строится поверхность по остальным j -опорным точкам. Существенным ограничением при решении системы (3.24) в отличие от кусочно-полиномиальной поверхности является размерность системы, соответствующая числу опорных точек ($n \times n$). Другой трудностью является определение коэффициента D , который существенно зависит от морфологических характеристик рельефа.

Решая систему (3.24) относительно неизвестных коэффициентов, получаем аппроксимирующую поверхность для любой определяемой k -й точки, через координаты и высоты опорных j -х точек

$$H_k = H_{cp} + \sum_{j=1}^n c_j \sqrt{(X_j - X_k)^2 + (Y_j - Y_k)^2 + D}. \quad (3.25)$$

Для определения положения точек горизонтали H_k необходимо вычислить координаты $\{x_k, y_k\}$, где x_k и y_k — В явном виде найти зависимость y_k от x_k при заданной H_k не представляется возможным, поэтому в ряде случаев задаются сетью координат, находят отметки узловых точек сети y_k и, интерполируя между узлами, определяют положение горизонтали. Этот способ ведет к определенной потере точности и искажению морфометрических и морфографических характеристик рельефа.

Для определения коэффициента D в системе (3.24) и нахождения положения горизонталей способом отслеживания можно использовать линейную зависимость. Для этого при $D_0 = 0$, $D_1 = D_0 + \Delta D$, $D_2 = D_1 + \Delta D$, ... и т. д. находят c_j , решая систему (3.24). Затем линейным интерполированием вдоль структурных линий определяют координаты точек горизонталей и образуют массив F . Найденные значения y_k массива F подставляют в (3.23) последовательно для D_0 , D_1 , D_2 , ... с соответствующими значениями c_j . По минимуму суммы отклонений интерполированных отметок от вычисленных по формуле (3.23) выбирают D_{opt} . Используя $y_k > y_{opt}$, находят окончательные значения c_j . В дальнейшем массив F используется для нахождения точек горизонталей методом отслеживания. Считая первую точку горизонтали на структурной линии с координатами x_0 , y_0 за центр, образуют квадрат с шагом A . Из (3.25) определяют отметки вершин квадратов, и, интерполируя между ними, получают

следующую точку горизонтали (x, y) , которую в дальнейшем принимают за центр. Таким образом формируется массив всей горизонтали, после чего переходят к следующим горизонталям. Использование данного способа не искажает морфометрических и морфографических характеристик рельефа и не вносит дополнительных ошибок в результаты аппроксимации рельефа.

Использование мультиквадратических уравнений без деления структурными линиями на участки только в равнинных районах приводит к положительным результатам. Поэтому в остальных районах необходимо придерживаться методики аппроксимации рельефа аналогично кусочно-полиномиальной, описанной выше.

3.3.3. Системы сбора и обработки топографо-геодезической информации за рубежом

В Болгарии система, именуемая автоматизированным кадастром, является многоцелевой и научно обоснованной системой, предназначенной для управления и планирования. Она состоит из трех уровней: центрального кадастра, в котором находится информация, ограниченная государственной, административными и региональными границами; банка данных геодезической обеспеченности территории (карт, планов, фотопланов, информации о геодезических пунктах, а также информации о ситуации, рельефе, дистанционных наблюдениях с искусственных спутников Земли и т. п.);

базы данных специальной информации, предназначенной для сельского хозяйства, почвоведов, геологов и др.

Сбор информации осуществляют с использованием аналоговой фотограмметрии; аналоговой фотограмметрии в сочетании с цифровой регистрацией данных на дигитайзере 1БОТ 9115 Е; ортофотопланов.

Первые два способа предназначены в основном для картографирования населенных пунктов в масштабах 1:500-1:2000, третий способ используется для получения специальной информации по ортофотопланам в масштабах 1:2000-М : 10 000 для целей мелиорации, геологии и т. п.

В состав автоматизированного кадастра входит архив данных, предназначенный для обновления. В настоящее время создан пакет прикладных программ для обработки геодезических данных, в который входят программы: управления, контроля замыкания и графического оформления контуров; вычисления площадей и др.

Входные данные записываются на магнитные диски и выдаются в цифровом (на АЦПУ) или графическом виде массивами или отдельными пунктами по участкам или полигонам.

Для целей сельского хозяйства используют цифровую модель рельефа (ЦМР), полученную цифрованием горизонталей или сканированием.

Техническими средствами являются:

дигитайзер 1БОТ 9115 Е, созданный совместно болгарскими и советскими специалистами и позволяющий регистрировать прямые и кривые линии, а также — отдельные пункты в двухмерном или трехмерном пространстве;

графопостроитель (ISOT EC 9004 — Wild Aviatab TAZ), созданный совместно болгарскими и швейцарскими специалистами и позволяющий чертить и гравировать линии толщиной 0,08—1 мм. При воспроизведении линий, толщиной 1—2 мм используется дополнительное управление. В математическом обеспечении графопостроителя предусмотрено черчение букв латинского алфавита и кириллицы.

В Венгрии предпринимаются попытки установления связи земельных информационных систем (ЗИС) с банками геодезических и картографических данных, которые в зависимости от назначения подразделяются на три типа:

- центральный банк данных государственной службы, основанный на ЭВМ Honeywell — Bull 66/60 или 66/20;

- средний банк данных, использующий ЭВМ PDP 11/40 (позднее ТРА 11/48), предназначенный для обеспечения информацией центрального банка;

- региональные базы данных геодезических организаций, служащие для обработки локальной информации с использованием небольших терминалов с дисковой памятью, например UN-80.

Средние банки данных сопряжены с центральными режимом on — line, а локальные с вышестоящими — off — line.

Основой для получения исходной информации служат землеустроительные планы и карты в масштабах 1:1000-^1:4000 и топографические карты в масштабах 1:10 000-^1:100 000.

Для сбора информации используют следующие способы:

- непосредственный ввод в банк данных цифровой информации (координат и названий опорных пунктов, граничных пунктов землепользований и угодий, а также связей между ними и т. п.);

- оцифровывание топографических карт и планов на тех участках, где не проводятся новые измерения, и топографические материалы достаточно точны;

- наземные измерения, где нет фотограмметрических материалов или они ненадежны, с использованием электронных тахеометров или венгерских регистраторов полевой информации;

- фотограмметрические методы, которые находятся в настоящее время в стадии развития.

При графическом воспроизведении информации используют графопостроитель Аристомат.

Базовой системой топографо-геодезического назначения в б. ГДР являлся «Дигикарт», основанный на технологических принципах «Фотокарт» с акцентом не на составление карт, а на создание «банка» цифровых данных, предназначенного для решения широкого круга различных задач. «Банк» данных включает подбанки: геодезической гравиметрии, нивелирования, триангуляции, съемки местности, топографической картографии, крупномасштабных карт, тематической картографии и кадастра. Информация, находящаяся в банке, разделена на две части, адресную и метрическую. Адресная часть состоит из трех видов данных, по которым: 1) объекты в банке упорядочиваются, идентифицируются

и могут быть найдены, 2) передаются в закодированном виде качественные и количественные характеристики объектов; 3) определяются виды связей между объектами и их элементами. В настоящее время «Диги-карт» преобразовывается в «Дикарт».

В Чехословакии разрабатывается интегральная информационная система геодезии и картографии (ИСГК). ИСГК состоит из геодезической (общегосударственной и местной), топографической и кадастровой подсистем. Основной номенклатурной единицей общегосударственной подсистемы является топографическая карта в масштабе 1:10 000. В нее входят все виды геодезического обоснования, исключая съемочные. Содержанием топографической информации местной подсистемы является совокупность элементов ситуации (выборочно рельефа) карты в масштабе 1:10 000, а на застроенной территории и в случае необходимости — 1:1000 и 1:2000.

Наиболее полно разработаны в настоящее время подсистемы топографического картографирования и кадастра. В перспективе в ИСГК предполагается добавить подсистему картографической информации (для среднемасштабных карт). Технической основой ИСГК является ЭВМ ЕС 1030, автоматический координатограф «Кораграф» и др. Экспериментальная эксплуатация ИСГК при крупномасштабном картографировании пока удорожает стоимость продукции на 30—90% по сравнению с классическими методами. Однако предполагается, что в дальнейшем с развитием ИСГК эти дополнительные расходы окупятся.

В Австрии, помимо банка данных, для целей кадастра создают универсальную картографическую систему, основанную на технологиях второго типа с использованием стереофотограмметрических приборов с регистрирующим устройством ЕК-8, планиметра $\epsilon > 2$ с коррелятором ЕК-5 и др. В застроенных и небольших по площади участках применяют тахеометрическую съемку с использованием электронных тахеометров (ЭТ) АОА-700 и др.

Одновременно при определении полярных координат пикетов проводят цифровое кодирование элементов съемки, необходимое для составления плана на АК. При съемке контуров, каждому из них присваивают двузначный код и указывают номера начальных и конечных пикетов. При определении полярных координат однородных объектов ставят коды типов объектов и их номера. В случае съемки разнородных объектов каждому присваивают свой номер, который заносят в абрис.

В Англии создание банков топографических данных с автоматическим поиском необходимой информации для составления карт различных масштабов является перспективной задачей, рассчитанной на 10—20 лет. Основой банка являются картографические материалы.

В настоящее время ставится задача преобразования структуры существующего картографического банка данных к новому виду более удобному для пользования.

В Бельгии при составлении планов городских улиц в масштабах 1:100—1:500 для нужд коммунального хозяйства используют ЭВМ ИБМ 360/40 и автоматический графопостроитель (АГ) «Бенсон». Сред-

ства автоматизации предназначены для обновления планов, создания банка данных, составления продольных профилей, диаграмм, графиков и т. д. Содержание топографических планов, составленных в полевых условиях традиционными методами (преимущественно ортогональными) и дополненных вручную сведениями о коммуникациях, переводят в цифровую форму с помощью дигитайзера. На одном диске может храниться информация о 1200 планах. Обработка информации проводится на ЭВМ в режиме разделения времени. При использовании наземных методов съемки используют ЭТ с регистрирующим устройством. Составление планов и карт в масштабах мельче 1:500 осуществляют по материалам аэрофотосъемки.

Системы, основанные на фотограмметрических приборах, функционируют в Канаде. Техническими средствами системы Gerber-1232 АДМ являются четыре стереоплоттера Zeiss Planimat преобразователи аналоговой информации в цифровую — Wang 2300 (2 шт.) и Instranics Gradican (2 шт.), миниЭВМ Hewlett Packard-2116 В, графопостроитель Gerber-32 с оптической головкой ОЕН-В, телетайп ASR-33 и др.

Аналогичная система для создания карт и планов в масштабах 1:2000 и крупнее эксплуатируется Департаментом геодезии Министерства транспорта и водного хозяйства в Нидерландах.

Различные ведомства в США используют в своих целях автоматизированные системы, в основу которых положены фотограмметрические приборы. В топографическом центре Министерства обороны применяется система для создания банка топографо-геодезической информации. При строительстве железных и шоссейных дорог данные получают с помощью автоматизированной картографической системы многофункционального назначения. Для контроля используют дисплеи СРТ, а окончательное черчение осуществляют на прецизионных графопостроителях Гербер-32 и др. Основные усилия направлены на исследования по созданию Национальной цифровой картографической базы данных.

В ФРГ разработано несколько систем, автоматизирующих составление планов и карт крупных масштабов. В институте прикладной геодезии техническими средствами такой системы являются ЭВМ PDP-11/45 с четырьмя магнитными дисками RK-0,5, дигитайзер Кодимат с дисплеем RT-0,2, интерактивный дисплей Tektronix 4014, АК Кораграф-1700 с оптической и другими головками, а также телетайп ASR-33 и т. п. В основном используют картографическую информацию. Обработанную информацию накапливают в банке данных.

Другая система использует материалы любых съемок и применяется для целей кадастра. При тахеометрической съемке используют ЭТ. Обработанные данные накапливаются в банке данных кадастра. Большое внимание при тахеометрической съемке уделяют контролю полевых измерений.

В Техническом Университете (г. Ганновер) для составления карт в масштабах 1:2000—1:5000 разработана система с использованием ЭТ Рег Элта. После экспериментальной апробации системы отмечается необходимость кодирования качественных характеристик объектов съемки

непосредственно в полевых условиях, а также отказа от составления абриса в полевых условиях.

При аппроксимации рельефа в данной системе применяют структурные модели в виде треугольников с использованием при конструировании горизонталей полиномов 5-й степени. В процессе исследования были выявлены существенные недостатки этих полиномов. Воспроизведение планов осуществляют на барабанном графопостроителе Калкомп-1036 и АК Вильд Авиотаб ТА. Дальнейшие разработки направлены на создание банков данных для кадастровых съемок.

3.3.4. Автоматизация процесса воспроизведения рельефа

Автоматизация процесса отображения рельефа местности основана на его моделировании с помощью ЭВМ и графическом воспроизведении в виде горизонталей на АК. Остановимся более подробно на моделях рельефа.

Модели рельефа (МР) можно классифицировать по разным параметрам. Это могут быть: назначение; способ получения информации о рельефе местности; способ размещения исходных точек и порядок их формирования в памяти ЭВМ; форма единичного элемента модели; способ интерпретации исходной информации; порядок формирования выходных данных и т. п.

По назначению МР можно подразделить на два крупных класса: топографические и инженерные. Под топографическими понимают МР, предназначенные для отображения горизонталями и условными знаками рельефа на топографическом плане. МР инженерного назначения используются для решения различных инженерных задач: построения профилей и выбора оптимального профиля трассы, вертикальной планировки топографической поверхности, определения объемов земляных работ и т. п. Необходимо отметить, что четкой границы между моделями топографического и инженерного назначения нет и ряд моделей может с успехом применяться для решения тех и других задач.

По способу получения информации о рельефе МР можно подразделить на модели, построенные по материалам наземных топографических съемок; в результате стереофотограмметрической обработки аэроснимков и снимков фототеодолитной съемки; по графическим материалам; с использованием электронной аппаратуры (например, радарная съемка, профилирование местности лазерным лучом и т. д.) и др.

По размещению исходных точек и порядку их формирования в ЭВМ МР можно классифицировать на три типа: не учитывающие, частично учитывающие и полностью учитывающие структурное строение рельефа местности.

Первые могут быть с регулярным расположением точек и произвольным. К МР, частично учитывающим рельеф местности можно отнести: регулярные модели, дополненные исходными точками, расположенными на структурных линиях, модели, в которых исходные точки

расположены на горизонталях через одинаковый интервал или опорные точки расположены по профилям.

Модели, полностью учитывающие структуру рельефа, могут быть подразделены на следующие подвиды: структурные модели (пикеты расположены в характерных точках рельефа) и модели, в которых исходные точки размещены на изолиниях в зависимости от их кривизны, например, в характерных точках горизонтали.

В основу единичного элемента МР могут быть положены: правильная геометрическая фигура, плоский элемент рельефа, простая форма рельефа (часть ложины или хребта, котловина и т. п.).

По способу интерпретации исходной информации МР можно разделить на дискретные, аналитические и аналоговые.

Порядок формирования выходных данных может быть следующим:

1. Переход к регулярной сетке — формирование массивов изолиний путем линейной интерпретации — сглаживание ломаной линии аналитическими функциями (ряды Фурье, сплайн-функция и т. д.).

2. Переход к регулярной сетке — формирование массивов изолиний нелинейными функциями — сглаживание.

3. Нахождение горизонталей непосредственно по образованной поверхности методом «скользящего квадрата» *.

4. Непосредственное нахождение координат точек горизонталей, используя явные зависимости, например, уравнения пересечения плоскости с поверхностью МР.

Ниже представлены в основном методы и способы создания топографических моделей рельефа. Для удобства понимания существа МР они описаны в порядке их классификации по размещению исходных точек.

Модели, не учитывающие структуру рельефа (функциональные)

Модели данного типа используются для отображения рельефа в плоско-равнинных и пойменных районах местности, где основное значение имеет микрорельеф. К МР с регулярным расположением исходных точек можно отнести модели с исходными данными, заданными в узлах сетки, образованной равновеликими геометрическими фигурами: прямоугольниками, треугольниками и т. п. Высоты точек заданы в узлах сетки. Далее на ЭВМ, задаваясь высотами, вычисляют координаты точек горизонталей или линейным интерполированием между узлами, или используя уравнения поверхности, образованной высотами узловых точек. Сформированные массивы горизонталей после «сглаживания» выводятся на управляющую ленту графопостроителя или АК с соответствующими для них командами.

Наиболее характерным представителем МР в виде квадратной сетки является модель И. В. Гармиза, в которой координаты точек горизонта-

* Горизонталь отслеживается по поверхности в пределах квадрата, размеры которого зависят от рельефа местности, начиная со структурной линии, где горизонталь находится посредством линейной интерполяции высот пикетов.

лей вычисляют по формуле билинейной (3.26) или бикубической интерполяции (3.27). В первом случае в интерполяции участвуют четыре узловых точки, во втором — шестнадцать.

$$H(x, y) = [H_0(1 - Bx)(1 - Ay) + H_1(1 - Bx)Ay + H_2(1 - Bx)Ay + H_3(1 - Bx)Ay + H_4(1 - Bx)Ay + H_5(1 - Bx)Ay + H_6(1 - Bx)Ay + H_7(1 - Bx)Ay + H_8(1 - Bx)Ay + H_9(1 - Bx)Ay + H_{10}(1 - Bx)Ay + H_{11}(1 - Bx)Ay + H_{12}(1 - Bx)Ay + H_{13}(1 - Bx)Ay + H_{14}(1 - Bx)Ay + H_{15}(1 - Bx)Ay] / l^2; \quad (3.26)$$

$$H(x, y) = \left\{ a_1 a_2 \Delta x \left[b_1 b_2 \left(\frac{\Delta y}{36} H_{-1-1} - \frac{b_3}{12} H_{-10} \right) + b_3 \Delta y \left(\frac{b_1}{36} H_{-12} - \frac{b}{12} H_{-11} \right) \right] + a_1 a_2 a_3 \left[b_1 b_2 \left(-\frac{\Delta y}{12} H_{01} - \frac{b_3}{4} H_{00} \right) + b_3 \Delta y \left(\frac{b_2}{4} H_{01} - \frac{b_1}{12} H_{02} \right) \right] + a_2 a_3 \Delta x \left[b_1 b_2 \left(\frac{b_3}{4} H_{10} - \frac{\Delta y}{12} H_{1-1} \right) + b_3 \Delta y \left(\frac{b_2}{4} H_{11} - \frac{b_1}{12} H_{12} \right) \right] + a_1 a_3 \Delta x \left[b_1 b_2 \left(\frac{\Delta y}{36} H_{2-1} - \frac{b_3}{12} H_{20} \right) + b_3 \Delta y \left(\frac{b_1}{36} H_{22} - \frac{b_2}{12} H_{21} \right) \right] \right\} / l^6, \quad (3.27)$$

где l — шаг сетки; Δx , Δy — текущие приращения координат относительно левого нижнего угла квадрата; H_{ij} — отметки точек, находящихся в вершинах сетки: $a_1 = l - \Delta x$; $a_2 = 2l - \Delta y$; $a_3 = l + \Delta x$; $b_1 = l - \Delta y$; $b_2 = 2l - \Delta x$; $b_3 = l + \Delta y$.

Для сохранения непрерывности модулируемой поверхности используют различные способы аппроксимации. Это могут быть ортогональные полиномы Чебышева и др.

Модели рельефа с произвольным расположением точек являются стохастическими моделями, в которых предполагается, что рельеф данного типа местности (центрированная случайная функция профиля) носит стационарный характер; поверхность рельефа отображается конечным числом точек измерений, расположенных случайным образом; высота в точках является случайной величиной, дисперсия которой зависит от высоты микроформ рельефа и случайных ошибок измерения.

Высоты произвольных точек в этих моделях находят по методу наименьших квадратов. Стохастические модели дают удовлетворительные характеристики микроформам рельефа внутри некоторой области. При наличии микрорельефа крупных формы необходимо предварительно аппроксимировать полиномами (произвести центрирование высот).

Основными недостатками моделей, не учитывающих структуру рельефа, являются: слабая адекватность рельефу местности; большой объем исходной информации, требующий наличия мощных ЭВМ; определенная субъективность при выборе шага сетки и математического аппарата при аппроксимации рельефа.

К достоинствам данных моделей можно отнести: возможность использования отработанного математического аппарата; отсутствие необходимости в указании логических связей между пикетами; возможность непосредственного нахождения точек горизонталей.

Модели, частично учитывающие структуру рельефа

Регулярные модели, дополненные структурными линиями, используются как в СССР, так и в других странах для отображения рельефа в равнинных районах местности.

МР состоит из полей блоков, размер которых определяется памятью ЭВМ. Поле образовывается координатной сеткой, параллельной осям системы координат. Размер поля выбирается в зависимости от плотности пикетов (минимальное поле 50X50 м). В каждом поле может находиться только несколько десятков точек. Область интерполирования круговая. Радиусы области 25 м, 16 и 8 м соответствуют плотностям, равным 40, 100 и 400 точкам на один гектар, характерным соответственно I, II и III типам рельефа.

В зависимости от числа точек n , попавших в область интерполирования, автоматически выбирается соответствующая формула:

$$'Ax^2 + By^2 + Cxy + Dx + Ey + F, n > 8; \quad (3.28)$$

$$Ax^2 + By^2 + Cx + Dy + E, \quad 6 < n < 8; \quad (3.29)$$

$$H = \begin{matrix} Ax - \frac{1}{2}Bx - \frac{1}{2}Cy - \frac{1}{2}D, \\ Ax - \frac{1}{2}By - \frac{1}{2}C, \end{matrix} \quad \begin{matrix} 3 < n < 6; \\ n = 3. \end{matrix} \quad (3.30)$$

$$Ax - \frac{1}{2}By - \frac{1}{2}C, \quad n = 3. \quad (3.31)$$

Если число точек меньше трех и имеются дополнительные пикеты на ближайших структурных линиях, то при $n > 3$ используется формула (3.30), а при $n = 3$ — (3.31). Аппроксимация поверхности производится по методу наименьших квадратов. При этом отметки исходных точек

входят в систему уравнений с весами $P = 1 - \frac{r^2}{R^2}$, где R — максимальный радиус; r — радиальное расстояние от определяемой i -ой точки до исходной, k — константа $= 0,1$. Апробация модели выполнена на участке местности (площадь 27 га).

При воспроизведении рельефа могут использоваться и другие поверхности. Например, Р. Л. Харди (США) предлагает при аппроксимации рельефа местности по точкам, расположенным в характерных местах рельефа, использовать поверхность, состоящую из суммы регулярных поверхностей вида $c; [q \{x^u, y^v\}]$

$$z = \sum_{i=1}^n C_i [q(x_i^u y_i^v)],$$

где

$$Y(x, y) = \{x, -x\}^2 + \{y, -y\}^2 + C_j^m.$$

В общем виде $(C=I=0)$ ^ представляет собой гиперboloид с вертикальной осью симметрии, проходящей через точку X^1, y^1 . В частном случае $(C = 0)$ ^ является конусом с вершиной в i -той точке. Для нахождения коэффициентов c , решают систему уравнений (3.32) по точкам с известными высотами, число которых определяет размерность системы.

Следует отметить, что при использовании мультиквадратических поверхностей точность моделирования зависит не только от начала отсчета, но и от расположения исходных точек и морфологии рельефа. При искусственном выделении областей аппроксимации (сетки и т. п.) без учета естественных границ рельефа могут быть нарушены не только морфометрические, но и морфографические характеристики местности.

При обработке аэроснимков на универсальных стереоприборах для отображения рельефа может применяться модель с исходными точками, расположенными на горизонталях через равный интервал. Суть моделирования заключается в отслеживании горизонталей с фиксацией точек через равный интервал. В дальнейшем каждую горизонталь представляют уравнением вида $((x, y) = 0$.

Основным недостатком моделей данного типа является определенное искажение морфологии рельефа. Даже если исходные точки и расположены на структурных и орографических линиях рельефа, но вследствие того, что аппроксимация производится не в пределах области, заключенной между характерными линиями рельефа, а в пределах ячейки сетки или между границами сетки и структурными линиями, вдоль линий сетки происходит прерывание моделируемой поверхности. Использование перекрытий не устраняет полностью указанного недостатка, так как большинство функций не выражаются в явном виде, вследствие чего для конструирования горизонталей приходится использовать промежуточные регулярные сети. Такой переход, кроме потери точности, приводит еще и к дополнительным ошибкам.

Модели, учитывающие структуру рельефа

К этому типу можно отнести структурные модели, а также МР с расположением точек на горизонталях в зависимости от кривизны линии.

В структурных моделях исходные точки расположены на характерных линиях рельефа и логически связаны между собой определенной математической закономерностью, являющейся неотъемлемой частью исходного массива данных. Точки горизонталей отыскиваются линейной интерполяцией, а сами горизонтالي сглаживаются с использованием той или иной функции. Структурные МР включают модели, состоящие из неравносторонних треугольников, и систему «Топоаналог». Модели, состоящие из неравносторонних треугольников, предназначены в основном для инженерных целей — проектирования сооружений линейного типа, построения профилей и т. п., но при определенных условиях могут быть использованы и для конструирования горизонталей.

Классическим представителем структурной модели является разработанная во ВНИИ транспортного строительства система «Топоаналог».

Исходные данные в ней разделены на три группы: массив координат точек горизонталей; массив координат и высот точек орографических линий; массив координат и высот экстремальных точек рельефа (вершин, седловин и т. д.).

Составленная подобным образом информация совместно с алгоритмом восстановления рельефа позволяет решать инженерные задачи и конструировать горизонтالي. Для чего могут использоваться различные математические аппараты, в частности аппроксимация рельефа с использованием сплайнов на многообразиях и разбиения единицы [13].

В первом случае применяется минимизирующий функционал

$$\Phi(\mathbf{y}) = a \sum_{i \in I} C_i \|\mathbf{f}_i - \mathbf{y}\|_2^2 + 2(\mathbf{y}(\mathbf{p}_i) - \mathbf{g}_i)^2,$$

где a — малый параметр; $\mathbf{g}_i$ — известное значение функции в точке $\mathbf{p}_i$; $\mathbf{f}_i$ — приближающая функция.

Во втором случае аппроксимация поверхности рельефа осуществляется функцией

$$\Phi = \sum_{i=1}^N \mathbf{y}_i \phi(\mathbf{x}, \mathbf{y}),$$

где $\mathbf{y}_i$ — значение высот в заданных точках; ϕ — разбиение единицы.

Основным достоинством структурных моделей является их жесткая связь с характерными точками рельефа, что предопределяет хорошую адекватность рельефу местности. В то же время для обеспечения жесткости приходится использовать большое число логических связей, определение которых должно быть возложено на человека. Другими недостатками этих моделей является требование достаточно большой оперативной памяти для хранения всех массивов пространственных координат исходных точек при конструировании горизонталей, а также излишняя многоступенчатость при переходе от пикетной модели к горизонталям. С другой стороны необходимость наличия массива координат точек по горизонталям, как это требуется в некоторых моделях, существенно ограничивает применение моделей данного типа при тахеометрических съемках.

3.4. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СЕТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

3.4.1. Общие положения

Определим термины, имеющие в специальной литературе различное толкование.

Информационно-поисковая система (ИПС) представляет собой «совокупность массивов данных, информационно-поискового языка, правил

обработки, поиска и выдачи информации, программ, а также технических средств, с помощью которых осуществляется процесс хранения, поиска и выдачи документов (источников) или фактографических сведений» [18].

Соответственно под ИПС топографо-геодезического назначения (ИПС ТГН) будем понимать совокупность информационно-поискового языка (ИПЯ), информационных массивов топографо-геодезических данных, методов, способов, алгоритмов и программ обработки и хранения вводимой информации, поиска необходимых данных и получения по ним новой информации, а также комплекс технических средств при помощи которого осуществляется ввод, обработка, хранение, поиск, получение новых данных и выдача запрашиваемой топографо-геодезической информации.

Под банком данных (БД) топографо-геодезического назначения (БД ТГН) будем понимать совокупность массивов топографо-геодезических данных, алгоритмов и программ ввода, хранения, поиска и выдачи топографо-геодезической информации без всякого ее преобразования, а также комплекс технических средств, необходимый для реализации перечисленных задач.

Разработка ИПС ТГН в указанном смысле практически только начинается. Информация ИПС предназначена не столько для накопления топографо-геодезической информации и использования ее для составления топографических карт и планов, сколько направлена на решение достаточно частных задач: создания и использования земельных кадастров, геологии и т. п.

В других вариантах ИПС является по своей сути банками данных ТГН (БД ТГН) небольших территорий (а не ИПС ТГН), не связанными между собой единой структурой управления и предназначенными только для ввода, хранения, поиска и выдачи информации без всякого ее преобразования. Поэтому принципы, заложенные в перечисленных системах, неприемлемы для ИПС ТГН.

Проблема автоматизации крупномасштабного картографирования наземными методами включает следующие аспекты: 1) технический, 2) технологический, 3) организационный, 4) экономический, 5) юридический.

На настоящем этапе основной акцент ставится на технический и технологический аспекты без учета остальных. Такая постановка решения проблемы неизбежно приводит к неэкономичности или малой эффективности разрабатываемых технологий. С другой стороны автоматизация некоторых этапов или использование отдельных автоматизированных систем приводит к определенному, но разовому сокращению сроков создания карт и планов. В то же время требуется постоянное поддержание имеющихся и вновь создаваемых карт и планов на современном уровне, что невозможно без коренного преобразования технологической и организационной структуры всего процесса создания карт и планов.

Выход из создавшегося положения видится в интегрированном подходе к автоматизации крупномасштабного картографирования, направ-

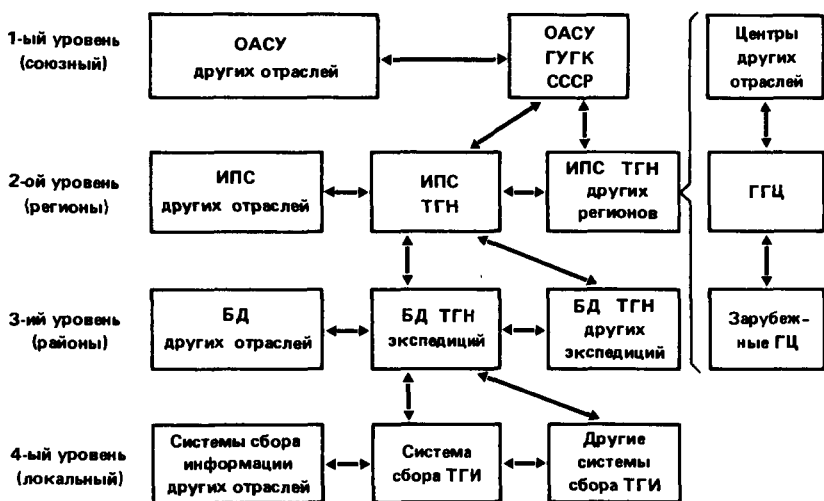


Рис. 56. Схема сети АИС ТГН

ленном не столько на расширение круга потребителей топографических материалов (на что сейчас, главным образом, обращено внимание разработчиков), сколько—на органическое сопряжение различных систем автоматизации на разных уровнях как в пределах одной отрасли, так и с выходом на системы смежных отраслей.

Комплекс в указанном смысле назовем автоматизированной интегрированной системой топографо-геодезического назначения (АИС ТГН). Для целей топографии наиболее целесообразна многоуровневая структура АИС ТГН [5].

1-й уровень (рис. 56) должен быть подсистемой отраслевой автоматизированной системы управления (ОАСУ). Выходная информация этого уровня необходима для решения перспективных задач всей отрасли. На данном уровне должно быть сопряжение с ОАСУ смежных отраслей.

Подсистемы 2-го уровня могут быть организованы по территориальному принципу при соответствующих административных центрах или крупных населенных пунктах в виде ИПС. Информация ИПС этого уровня предназначена для обеспечения локальных задач региона или необходимой детализации перспективных направлений. Технической основой данных ИПС являются мощные ЭВМ, сопряженные каналами связи и выходной информацией с подсистемой 1-го уровня. ИПС ТГН данного уровня должны быть сопряжены с ИПС смежных отраслей для обмена соответствующей информацией (земельной, сельскохозяйственной, геологической, гидрогеологической и др.).

Подсистемами 3-го уровня являются банки данных, созданные в районных центрах или местах базирования экспедиций. Первичная информация при этом должна обрабатываться на малых или миниЭВМ

последнего поколения и передаваться в ИПС 2-го уровня. Они также должны быть сопряжены с соответствующими БД других отраслей.

В качестве подсистем 4-го уровня АИС ТГН могут быть системы сбора и обработки информации, созданные на базе персональных компьютеров (микроЭВМ) — автоматизированные, полуавтоматические и автоматические системы различного назначения как стационарного, так и полевого типов.

Следующим организационным шагом является объединение различных АИС ТГН в единую сеть (САИС ТГН) с сопряжением их на всех уровнях с системами смежных отраслей. Сопряжения подсистем внутри АИС и между самими системами, образующими сеть, обязательно должно осуществляться на машинном уровне, так чтобы информация передавалась автоматически или по команде. Это значительно повысит оперативность АИС ТГН. Понятно, что чем больше будет установлено связей, тем более эффективно будет функционировать САИС ТГН.

Хранение топографо-геодезической информации возможно по уровням, начиная с третьего и выше.

В сеть АИС ТГН следует включить межведомственный единый государственный геодезический центр (ГГЦ), куда все организации, производящие съемки, обязаны будут передавать по требованию (или обязательно) готовую цифровую и иную топографо-геодезическую информацию, соответственно получая оттуда необходимые сведения перед производством съемок.

Безусловно, ГГЦ должен обладать определенным юридическим статусом и быть головной организацией по обмену информацией как с отечественными, так и с зарубежными организациями.

Наименее разработанными и, в то же время, больше всего влияющими на эффективность всей САИС ТГН являются ИПС ТГН и БД ТГН, поэтому остановимся более подробно на их структуре. Они характеризуются в основном информационно-поисковым языком (ИПЯ) и информационными массивами, которые и определяют структуру и назначение данных систем.

3.4.2. ИПЯ топографо-геодезического назначения

Анализ ИПЯ банков данных ряда стран показывает, что практически все они предназначены не столько для накопления топографо-геодезической информации и составления топографических карт и планов, сколько направлены на решение специальных, достаточно узких задач: создания и использования земельных кадастров, развития трубопроводного и другого транспорта и т. п. Поэтому принципы, заложенные в соответствующих ИПЯ, практически неприемлемы для ИПЯ топографо-геодезического назначения (ИПЯ ТГН).

Из известных типов ИПЯ следует упомянуть фасетный, иерархический и дескрипторный. Каждый из них обладает своими достоинствами и недостатками. Для ИПЯ ТГН более обоснованным является их комбинация. Использование фасет наиболее полно отражает все топографо-

геодезическое разнообразие по определенным направлениям, способствует образованию непересекающихся групп на одном уровне иерархии и наиболее экономично при включении новых понятий. Поэтому начальную градацию ИПЯ ТГН целесообразно осуществлять по фасетам.

Дескрипторы высокоэффективны при поиске топографо-геодезической информации и обеспечивают его высокую точность, а комбинация достоинств фасетного, иерархического и дескрипторного ИПЯ в наибольшей степени учитывает как общие требования к ИПЯ, так и специфические.

Общие требования к ИПЯ

1. Должен быть однозначным, каждая запись должна допускать одно и только одно толкование.

2. Должен обладать достаточно большой семантической силой, т. е. позволять выражение в его терминах (с необходимой степенью точности и полноты) текста на естественном языке, составленного для получения необходимой информации определенного типа и вида.

3. Должен допускать формализацию процедур перевода с естественного языка на данный язык и наоборот, а также — процедуры информационного поиска. Формализация должна состоять из разложения перечисленных процедур на их элементы и недвусмысленное последовательное описание этих элементов.

4. Должна быть исчерпывающая полнота словарного состава. Этим требованиям в определенной степени отвечают представленные выше ИПЯ. Однако они служат иным целям. Поэтому используется большое число фасет. При этом названия дескрипторов фиксируются полностью и вместо названий используется цифровая индикация, труднозапоминаемая вследствие отсутствия логической связи с названием элемента содержания карты. Это приводит к неэффективному использованию ЭВМ и большим затратам времени при подготовке, считывании, поиске и выдаче информации.

Учитывая задачи СОНТИ (см. 3.3.2), к топографо-геодезическому ИПЯ следует предъявить специфические требования.

Специфические требования к ИПЯ ТГН

1. ИПЯ должен быть фасетно-дескрипторным без грамматики.

2. В качестве названий фасет должна быть использована номенклатура карт (планов) * или коды участков съемки.

3. Субфасетами должны быть классы, включающие в себя элементы содержания карт по группам, соответственно классификации условных знаков.

* Для застроенной территории удобно за основной масштаб брать 1:5000 с размерами рамки 40X40 см с последующим делением каждого листа на 4 части для получения масштаба 1:2000 (см. раздел 2).

4. Для лучшего запоминания названий субфасет и оперативного пользования ими названиями субфасет должны быть начальные буквы классов условных знаков.

5. Классы условных знаков должны отражать основные элементы содержания карт, а их названия должны быть принятыми в картографии или близкими к ним по значению. При этом начальные буквы классов не должны повторяться.

6. Субфасет (классов) не должно быть больше 20—25.

7. Субсубфасеты (подклассы) с целью визуального и машинного контроля должны обозначаться цифрой. Субсубфасет не должно быть больше десяти.

8. В информационных массивах классы и подклассы должны располагаться соответственно частости их пользования.

9. Названия элементов содержания карт (фокусы субфасет) и их семантические характеристики должны быть закодированы буквенно-цифровым кодом.

10. Система кодирования должна отвечать требованиям 3.3.2.

Структура ИПЯ ТГН

Структура ИПЯ ТГН согласована с требованиями, перечисленными в предыдущем подразделе и соответствует информационной базе СОНТИ (3.3.2).

Градации субфасет представлена в табл. 35, а кодирование субфасет и элементов содержания карт и планов (фокусов субфасет) с соответствующими характеристиками показано в табл. 36.

Дескрипторами основного (первого) информационного массива являются номенклатура листа карты или код участка съемки, а также коды элементов карты, состоящие из начальных букв названий классов, цифр подклассов и сокращений названий объектов, согласно табл. 35 и 36.

Дескрипторами других массивов в поисковом предписании являются:

для второго массива — полное название объекта или его номер с буквой класса;

для третьего массива — координаты центров тяжести объектов.

Грамматическим средством ИПЯ ТГН (указателем роли) является класс объекта, который должен ставиться в поисковых образах и предписаниях при указании названия объекта.

В соответствии с задачами СОНТИ, ИПЯ ТГН должен обеспечивать поиск необходимой информации по соответствующему поисковому предписанию путем сравнения с поисковым образом, находящимся в системе.

Поисковое предписание может быть в виде:

номенклатуры листа карты любого масштаба от 1:500 до 1:5000 или кода участка съемки;

номенклатуры листа карты (кода участка съемки) и кода класса, подкласса или объекта;

названия объекта (номера) и кода класса;

координат центра тяжести;
координат маршрута.

В первом случае в результате сопоставления поискового предписания в виде номенклатуры с поисковым образом из основного цифрового массива выдается вся информация, включающая названия объектов и их центры тяжести. При графическом воспроизведении информация изображается в соответствующих условных знаках.

Во втором случае по номенклатуре листа и коду класса (из основного массива) выдается только та информация, которая относится к данному классу, подклассу или объекту.

В третьем случае по поисковому предписанию из второго массива выявляется класс и номенклатура листов карт, на которых находится искомый объект, и далее из основного массива выбирается необходимая информация по всему объекту.

Аналогично третьему проводится выборка объекта в четвертом случае по координатам центра тяжести.

В пятом случае по координатам маршрута определяются номенклатуры листов карты вдоль маршрута и выбирается цифровая информация на всю ширину полосы, задаваемой масштабом.

Задачи, обеспечиваемые ИПЯ

Задачами ИПЯ являются обеспечение информационного поиска и выдачи необходимой информации соответственно поисковому предписанию. При этом возможны три варианта выдачи информации:

1. Непосредственная выдача координат и характеристик (качественных и количественных) характеристик на АЦПУ.

2. Выдача информации в графическом виде на графопостроителе в соответствующих условных знаках.

3. Решение определенных задач по цифровой информации об объектах (определение номенклатуры листов вдоль заданного координатами маршрута, вычисление длины линейных объектов и площади площадных объектов и др.).

Соотношение между ИПЯ ТГН и естественным языком потребителя

Для определенного вида запрашиваемой информации в начале поискового предписания указывают соответствующее ключевое слово (дескриптор) *.

Например: выдать/решить.

В первом случае непосредственно выдается информация об объектах, во втором — по цифровой информации решается задача и выдается ее решение.

* Каждый дескриптор декодируется однозначно.

Для стирания старой информации и записи новой используются дескрипторы «стереть», «записать». По этим командам соответствующая информация стирается и записывается новая, координаты и класс которой указываются.

Тип выдаваемой информации указывается вторым словом: графически/аналитически. При решении задач вторым дескриптором должен быть вид решения: длина/ (площадь, маршрут) и т. п.

Далее в поисковом предписании должны указываться дескрипторы требуемой информации в соответствии с задачами СОНТИ: номенклатура/(код участка съемки), коды класса, подкласса, объектов, название или координаты центра тяжести объектов. Для отдельных объектов в графической форме ставится масштаб в виде цифры знаменателя, деленного на 100. Например:

1. Выдать, графически, 7—А* (выдается в графической форме вся информация по листу карты в масштабе 1:2000).

2. Выдать, аналитически, 7—А, Д (выдается для данного листа карты каталог координат или координат центров тяжести зданий, построек и их частей).

3. Выдать, графически, Бутовка, Г, 50 (выдается графическое изображение р. Бутовки в масштабе 1:5000).

4. Решить, длина, Бутовка, Г (на АЦПУ выдается название и длина реки в километрах).

5. Решить, маршрут, 10 (выдается вся информация вдоль маршрута в масштабе 1:1000, ширина устанавливается в зависимости от масштаба).

ИПЯ ТГН будет существенно отличаться от общепринятых универсальных языков программирования при реализации таких понятий, как «решить», «площадь», «длина». В то же время понятия «записать», «стереть», «выдать» будут близки к принятым. Следует только иметь в виду, что запись будет специфична, так как массивы данных будут включать и коды.

Вспомогательными средствами для составления поискового предписания являются системы кодирования объектов (табл. 35 и 36) и алфавитный указатель дескрипторов (названий) с кодами.

Парадигматические отношения и данные ИПЯ ТГН

Родовидовые и ассоциативные соотношения в топографо-геодезическом ИПЯ существуют и заложены внутри кодов классов, подклассов и названий объектов.

Данными ИПЯ ТГН являются:

1. Несколько ключевых слов — выдать, решить, стереть, графически, аналитически, длина, площадь и т. п., необходимые для определения вида запрашиваемой информации и типа выдаваемых данных.

2. Латинские и русские буквы и цифры — для указания номенклатуры и кодов участков съемки.

* Вместо номенклатуры может быть указан код участка съемки или порядковый номер листа плана.

3. Названия объектов — для их поиска в цифровом фонде 2.
4. Буквенно-цифровые коды—для отображения характеристик классов, подклассов и объектов в условных знаках.
5. Числа — координаты объектов.

3.4.3. Структура информационных массивов

Анализ различных вариантов построения информационных массивов системы

Для обеспечения решения задач системы необходимо иметь несколько информационных массивов. Проанализируем возможные варианты их построения.

Топографо-геодезическая информация в первом (основном) массиве может располагаться или по номенклатуре (рис. 57), или по политико-административному (производственному) делению, или по участкам съемки и т. п.

В первом случае заголовками подмассивов являются номенклатуры листов, во втором — названия политико-административных (производственных) единиц. Внутри подмассивов должна располагаться вся метрическая и семантическая информация об объектах.

Основной массив по внутренней структуре может быть сформирован в двух вариантах.

В первом варианте вся картографическая информация относится к номенклатурам листов базового масштаба. Внутри листов информация располагается по дескрипторам (классам) в частотном алфавитном порядке.

Во втором варианте вся информация относится к дескриптору, а внутри — к листам планшетов.

По времени поиска информации для всего планшета определенного масштаба первый вариант намного эффективней, так как:

информация по листам планшетов требуется значительно чаще, чем специальная по дескрипторам;

информацию по дескрипторам в первом варианте легче найти, чем во втором — по трапециям. Для этого в первом варианте необходимо указывать кроме номенклатуры листа карты дескриптор требуемой информации. В случае потребности в специальной информации для нескольких листов карт следует перечислить номенклатуры требуемых листов.

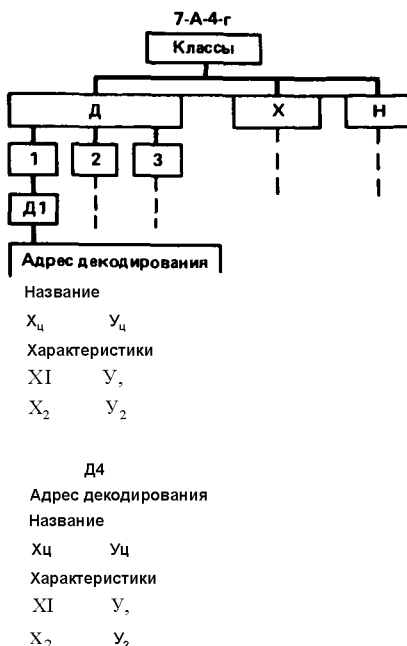
Первый массив является основным, так как в нем сосредоточена вся топографо-геодезическая информация об объектах:

метрическая — координаты центров тяжести или массивы координат точек, образующих контуры объектов (возможно также использование уравнений, кривых, описывающих контуры);

семантическая — показатели (характеристики) качественных свойств объектов;

собственные названия объектов.

Рис. 57. Структурная схема основного массива



Внутри классов информация располагается по подклассам, внутри которых метрическая и семантическая информация об объектах может располагаться по частоте пользования или по алфавиту. Предпочтение следует отдать частоте пользования.

После названия элемента содержания карты может стоять либо подмассив соответствующего условного знака с последовательностью соединения координат точек объекта и командами для графопостроителя, либо адрес в библиотеке условных знаков, где находятся эти данные.

Определенными преимуществами обладает вторая возможность, так как в случае изменения конфигурации условных знаков в библиотеке проще переформировать массивы. Кроме этого библиотеку легче дополнять новыми условными знаками.

По экономическим соображениям (экономии памяти ЭВМ) в других информационных массивах (помимо основного) нецелесообразно хранить полную информацию об объектах. В них достаточно только указывать адрес местонахождения нужной информации в основном массиве.

Вторым массивом информационного фонда является массив названий объектов с адресом местонахождения информации о данном объекте в основном массиве информационного фонда.

Второй массив может быть представлен следующими вариантами:

1. По алфавиту в пределах одной трапеции.

2. По алфавиту в пределах одного класса дескрипторов.
3. По алфавиту независимо от местонахождения объекта на картах.

Первым вариантом массива неудобно пользоваться, так как, во-первых, в предпоисковом процессе необходимо выявить планшеты (планшеты), к которому относится искомый объект, что значительно затруднит пользование системой; во-вторых, большие по площади или протяженные по длине объекты обязательно будут находиться на нескольких трапециях, выявление которых будет сопровождаться ошибками, что приведет к непроизводительным затратам времени при поиске информации в ЭВМ.

Вторым вариантом массива пользоваться удобнее, чем первым. Однако определенным неудобством является необходимость выявления класса дескриптора, к которому относится искомый объект, что также будет приводить к ошибкам и непроизводительным затратам времени.

Самым удобным и с точки зрения составления поискового предписания, и с точки зрения поиска объекта является третий вариант. В поисковом предписании указывается только название объекта. При этом отпадает необходимость в допоисковом определении номенклатуры трапеции или класса, к которым относится данный объект.

При таком варианте в поисковом образе против каждого названия объекта ставится полный код объекта, а также номенклатура (номенклатуры) листов карт базового масштаба, на которых находится объект. Таким образом в ЭВМ сразу по названию, указанному в поисковом предписании, определяется класс, в котором следует искать информацию об объекте, а также — листы карт, где находится искомый объект.

Из анализа различных вариантов построения второго массива целесообразным следует считать массив, в котором названия объектов даны в частотном/алфавитном порядке независимо от класса и местонахождения на трапециях.

Третьим массивом информационного фонда является массив координат центров тяжести объектов с адресом информации о данном объекте в основном массиве информационного фонда.

По своей структуре третий массив аналогичен второму, поэтому весь анализ его различных вариантов и вывод справедлив и для третьего массива.

Третий массив следует располагать независимо от класса и местонахождения объекта на трапециях. Координаты объектов можно располагать либо в порядке увеличения (уменьшения) X , либо — Y . Оба варианта равнозначны.

Если известны частоты потребности объектов, координаты лучше размещать в порядке частоты. Это позволит повысить производительность системы.

Принципы построения информационного фонда системы

Основной информационный массив

Основная цифровая информация информационного фонда должна быть отнесена к территории, покрываемой планшетом масштаба 1:500.

Для получения карт масштабов менее 1:5000 при обработке цифровой информации должна производиться соответствующая генерализация.

Основной (первый) информационный массив фонда системы должен состоять из информационных подмассивов, отнесенных к листам планшета масштаба 1:500. Файлы листов, требующихся часто, целесообразно размещать на магнитных дисках, начиная с крайних дорожек. Реже требующиеся листы лучше записывать на магнитную ленту, в порядке убывания частоты их пользования.

Заголовком каждого подмассива является номенклатура листа (например, 7—А—4—г) или координаты какого-либо угла планшета или его центра. При каждой номенклатуре планшета находится вся цифровая информация, относящаяся к данному листу, включая и название объекта; по классам, подклассам и объектам (см. рис. 57).

Заголовком каждого класса является его начальная буква: Н (насаждения) — для растительности, Д (дома) — для зданий, построек и их частей, П (поверхность) — для грунтов и микроформ и т. д.

Внутри класса массивы расположены по подклассам. Заголовком подкласса является цифра. После цифры подкласса следует массив буквенных кодов объектов, затем в той же последовательности размещаются цифровые массивы координат объектов. Заголовком каждого массива объекта является подмассив соответствующего условного знака данного объекта, а также последовательность соединения координат точек объекта и команды для графопостроителя. В подзаголовке каждого цифрового массива координат объекта указывается его название, координаты центра тяжести и характеристики.

По этому массиву можно выбирать и обновлять цифровую информацию по номенклатуре или по кодам: классов, подклассов, объектов.

Второй массив информационного фонда

Вторым массивом является массив объектов по их названиям или номерам, независимо от номенклатуры. Массив названий следует располагать по частоте пользования или по алфавиту с указанием полного кода и перечислением номенклатур листов, в масштабе 1:500, на которых располагается объект.

Например: Название, код, номенклатура,...

Название, код, номенклатура...

Порядок пользования вторым массивом описан в разделе 3.4.2 настоящей главы.

Третий массив цифрового фонда

Третьим массивом цифрового фонда является массив координат центров тяжести объектов в последовательности увеличения X.

После координат X, Y центра тяжести следует полный код и номенклатура листов масштабов 1:500, на которых расположен данный объект.

Например: $X_{Ц}|$, $У^{\wedge}$ код, номенклатура, ...

$-^{\wedge}Ц2$, $Уц2$, код, номенклатура, ...

Четвертым массивом может быть библиотека условных знаков с порядком соединения координат объекта и командами для графопостроителя.

Логическая структура информационных массивов

Логическая структура массивов ИПС ТГН по элементам содержания топокарт показана в табл. 36 на примере объектов застроенной территории.

Для полного представления в конце каждого объекта должен быть добавлен заголовок и подзаголовок.

Например, для листового леса полный массив будет следующий.

ЛИС—декодер ЛИС ($X_{н/}$, $K_{н/}$) соединить с $X/+$, $K/ + 1$ точечным пунктиром и т. д. ... до X_K ; K_K , к ДХ?, ДК“, ... прибавить $X_{Ц}$, $K_{Ц}$, соединить $X'_{Ц}$ $У_{Ц}$ с $X''У''$ и т. д. до $X_{Ц}$, название 1-го объекта $X_{Ц}K_{Ц}$, 20, 20, 3, $X_{н2}$ $K_{н2}$, X_K , Y_K , название 2-го объекта $X_{Ц2}Y_{Ц2}$ и т. д.;

$X_{\rightarrow y}$, $Y_{\rightarrow x}$ и X_K/K_K — соответственно координаты начальной и конечной точек /-го объекта;

ДХ“, ДК? и т. д. — приращения координат условного знака;

$X_{Ц}Y'_{Ц}$, $X''Y_{Ц}$ — координаты условного знака в системе карт;

$A_{Ц}Y_{Ц}$, — координаты центра тяжести объекта;

20 20 3 — бонитет леса (см. табл. 36).

В случае воспроизведения немасштабных условных знаков центры тяжести объектов одновременно являются геометрическими центрами условных знаков.

Принципы построения САИС ТГН могут быть положены в основу и САИС картографического назначения (САИС КН) для масштабов 1:25 000—1:1000 000. Однако, основой САИС КН будет ИПС КН, имеющая свои особенности.

Проиллюстрируем сказанное.

3.5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Общие положения об ИПС картографического назначения (ИПС КН) и требования, предъявляемые к ним, являются аналогичными ИПС ТГН. Поэтому в дальнейшем рассмотрим только отличительные особенности ИПС КН.

3.5.1. Структура ИПЯ КН

Как отмечалось в разделе 3.4, наиболее целесообразным для ИПС является комбинация различных ИПЯ: фасетного, иерархического и дескрипторного.

ИПЯ для картографических целей являются чаще всего фасетно-классификационными или классификационно-дескрипторными без грамматики. Атоматизированные информационно-поисковые системы, основанные на этих языках, предназначены для поиска информации о географических названиях. Фасетами в них являются политико-административные единицы, а дескрипторами — географические названия.

Упомянутые системы не предназначены для поиска и выдачи фактографической информации об элементах содержания карт, а также решения по картографической информации различных задач.

Для сохранения единства ИПС КН с ИПС ТГН градация классов и коды оставлены прежними (см. табл. 35), изменено только содержание второй строки на «Населенные пункты (кварталы, здания и постройки)». При этом в основу градации городов и поселков по количеству жителей положена частота наличия населенных пунктов с данным количеством жителей, чем чаще встречаются населенные пункты данного вида, тем меньше цифра.

Содержание поискового предписания и порядок поиска информации ИПЯ КН аналогичны ИПЯ ТГН. Однако номенклатура листа карты может быть в пределах от 1:25 000 до 1:1 000 000 и масштаб для выдачи отдельных объектов в графической форме должен быть указан уменьшенным в 1000 раз. Например:

1. Выдать, графически, Л^А-50-37-В (должна выдаваться в графической форме вся информация по листу карты в масштабе 1:50 000).
2. Выдать, аналитически, N-50, Д1 (выдается для данной трапеции каталог координат или координат центров тяжести городов с названием).
3. Выдать, графически, Волга, Г, 1000 (выдается графическое изображение р. Волги в масштабе 1:1 000 000).
4. Решить, длина, Волга, Г (на АЦПУ выдается название и длина реки в километрах).
5. Решить, маршрут, 1000 (выдается вся информация вдоль маршрута в масштабе 1:1 000 000; ширина устанавливается в зависимости от масштаба).

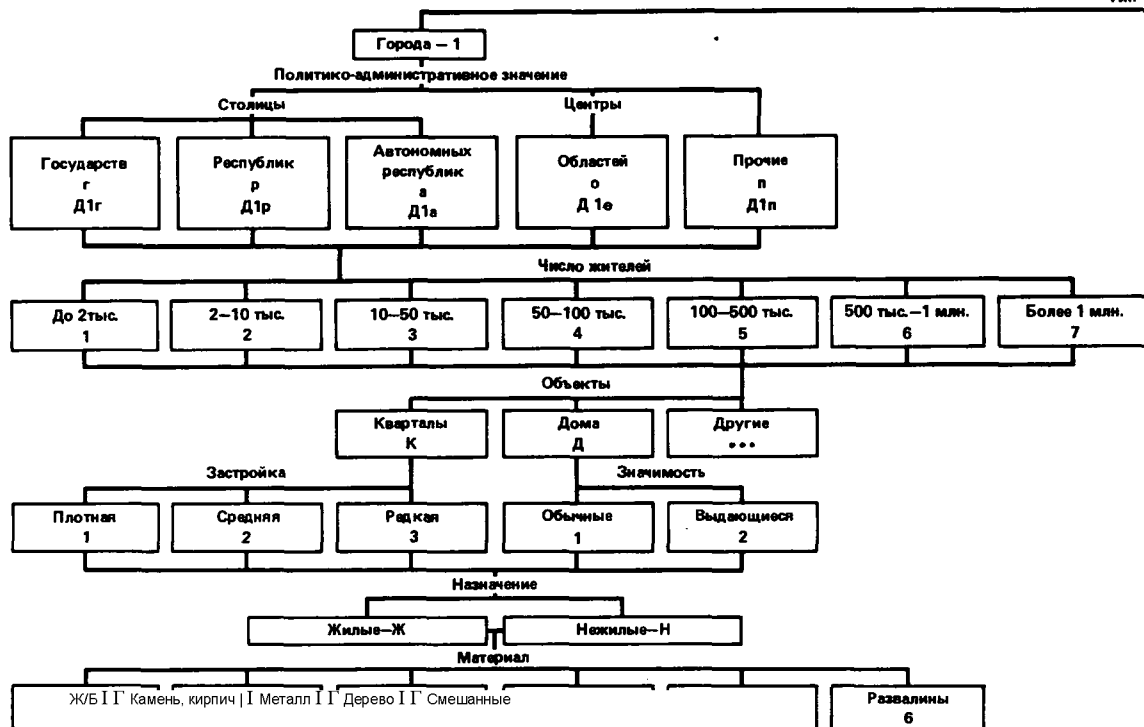
3.5.2. Структура информационных массивов

Содержание и структура картографических массивов аналогичны соответствующим информационным массивам ИПС ТГН. Однако, основная цифровая информация отнесена к трапециям в масштабе 1:25 000.

Населенные пункты. По этому критерию легко разделить все населенные пункты (рис. 58) на два крупных подкласса: города и поселки (коды 1 и 2), принципиально отличающиеся друг от друга по значимости в общественно-политической жизни, а также по количеству связей с другими элементами содержания карты и изображению на картах. Любые другие первоначальные признаки приводят к очень большому числу подклассов, не характеризующих значимость населенных пунктов и не отражающих наиболее существенные различия подклассов.

Наим винык
(дома

Тип



пункты
– Д)

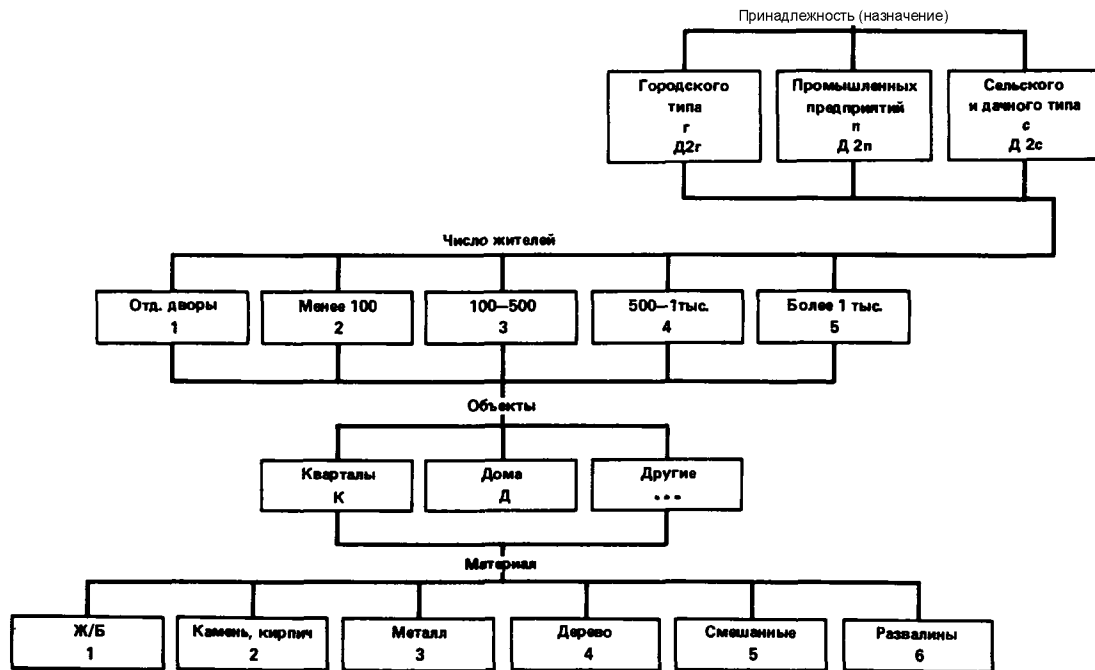
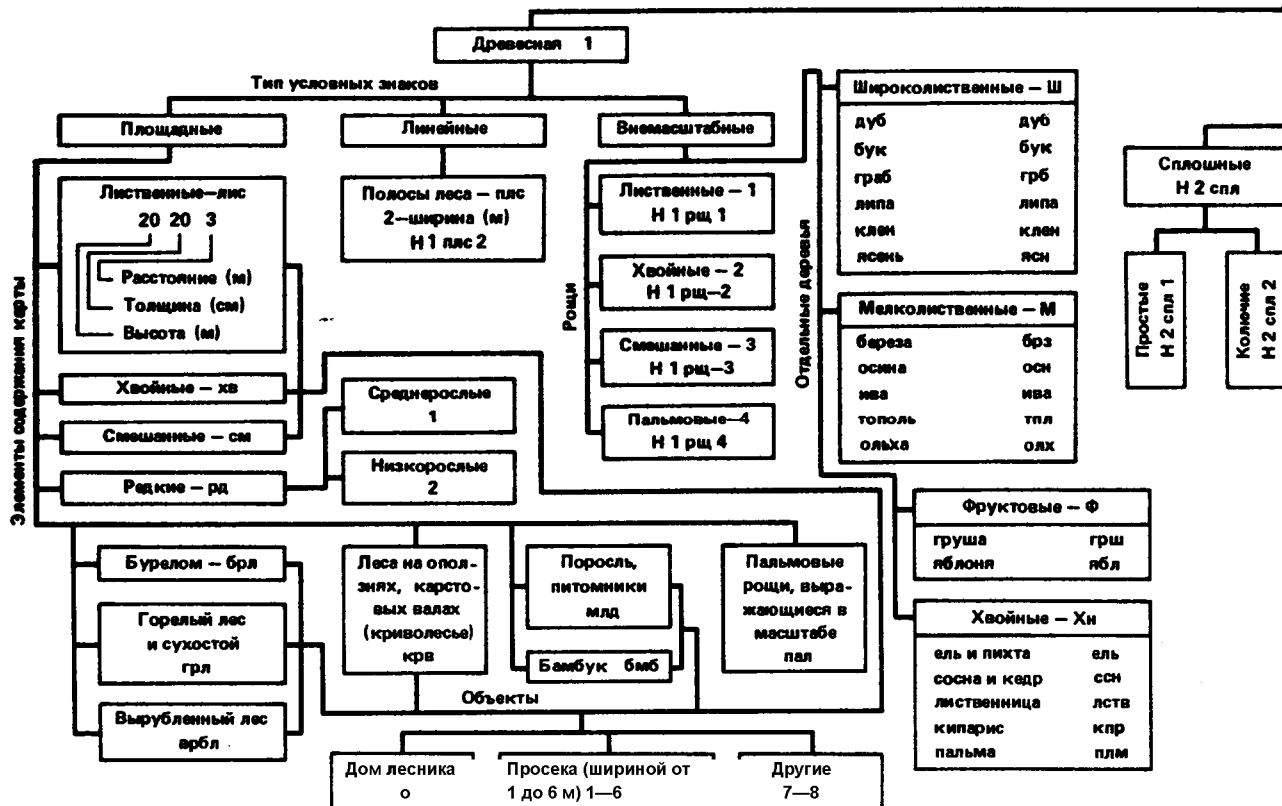


Рис. 58. Структурная схема классификации населенных пунктов



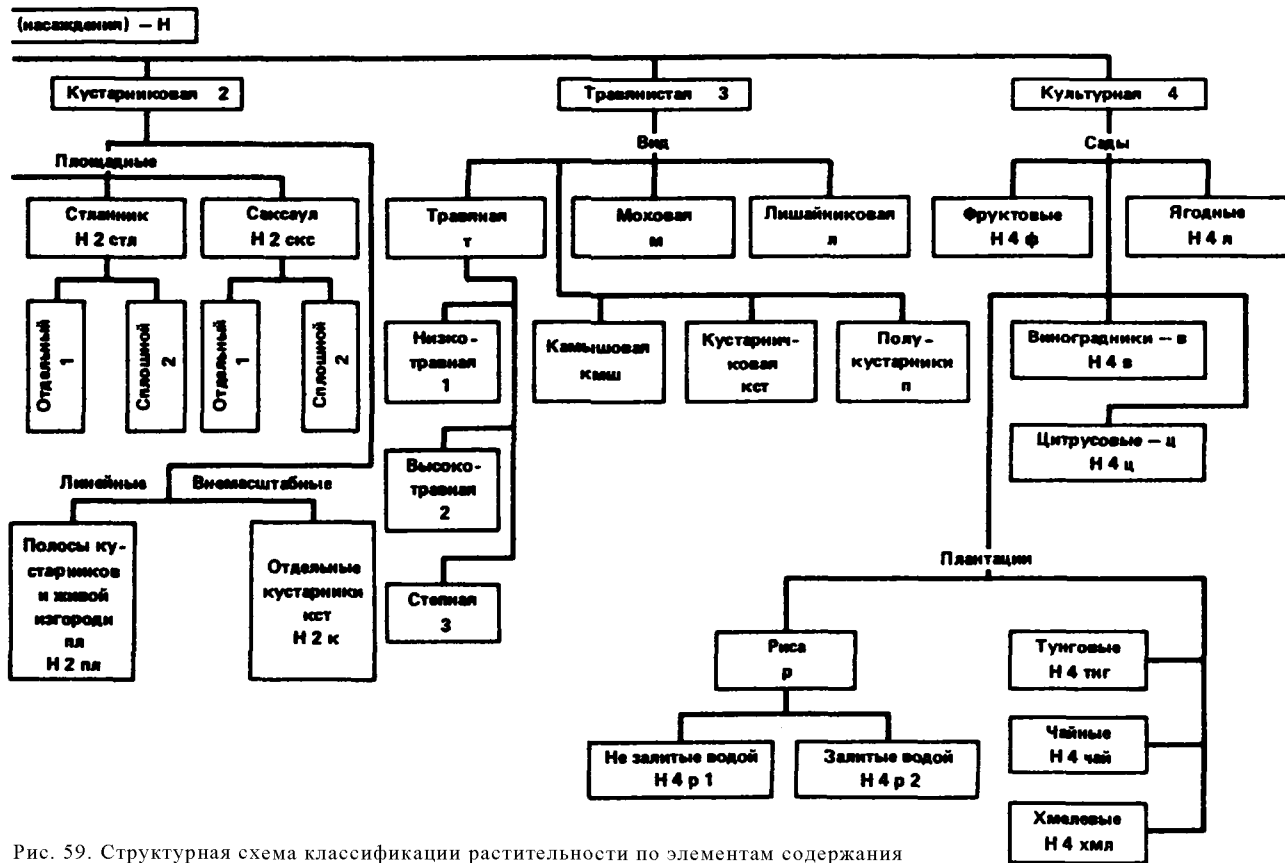


Рис. 59. Структурная схема классификации растительности по элементам содержания

Учитывая, что при использовании карт и их составлении большое значение имеет выделение городов по политико-административному значению, а поселков по принадлежности (назначению), что должно отражаться условными знаками и характеризоваться соответствующим шрифтом, вторым признаком следует считать: для городов — политико-административное значение, для поселков — принадлежность (кодирование по начальным буквам названий).

Города можно разделить на пять групп: столицы государств (Г), республик (Р), автономных республик (А); областные центры (О) и прочие (остальные) города (П).

Поселки по принадлежности подразделим на три группы: городского типа (Г), при промышленных предприятиях (П), сельского и дачного типов (С).

Следующей градацией может быть количество жителей, которое также отображается на карте и имеет определенное значение при решении некоторых задач (коды 1—7 для городов и 1—5 для поселков *).

Возможное деление по этому критерию показано на рис. 58.

Классификацию по видам планировок считают нецелесообразной, так как она уже заложена в цифровой информации о населенных пунктах в масштабе 1:25 000. Изображение населенных пунктов в других масштабах будет изменяться по законам генерализации, не являющейся задачей настоящей главы.

Учитывая необходимость отображения отдельных объектов местности на картах крупных масштабов (до 1:100 000 включительно), можно предложить еще один принцип градации по объектам: кварталы (К), дома (Д) и др. Кварталы дополнительно можно подразделить на кварталы с плотной застройкой (1), средней (2) и редкой (3).

Дома могут быть подразделены на обычные (1) и выдающиеся (2).

Для сохранения чередования букв и цифр с целью контроля кодов, а также для разделения кварталов и домов на жилые и промышленные (нежилые), имеющие определенное значение, в дальнейшей классификации предлагается ввести критерий «назначение»: жилые — Ж, нежилые — Н. Могут быть добавлены и другие категории. Например: промышленные, учебные, медицинские и т. п.

Материал объектов можно отображать цифрами в соответствии с принятой ранее градацией (1 — железобетон, 2 — камень, кирпич, 3 — металл, 4 — дерево, 5 — смешанный, 6 — развалина и т. п.). При этом каменные и железобетонные (огнестойкие) сооружения могут быть объединены в одну подгруппу.

У поселков классификация по объектам и далее может быть аналогичной городам или более короткой (см. рис. 58) в зависимости от поставленных задач.

* Цифры кодов могут быть либо по частоте пользования кодами, либо по частоте отображения на картах.

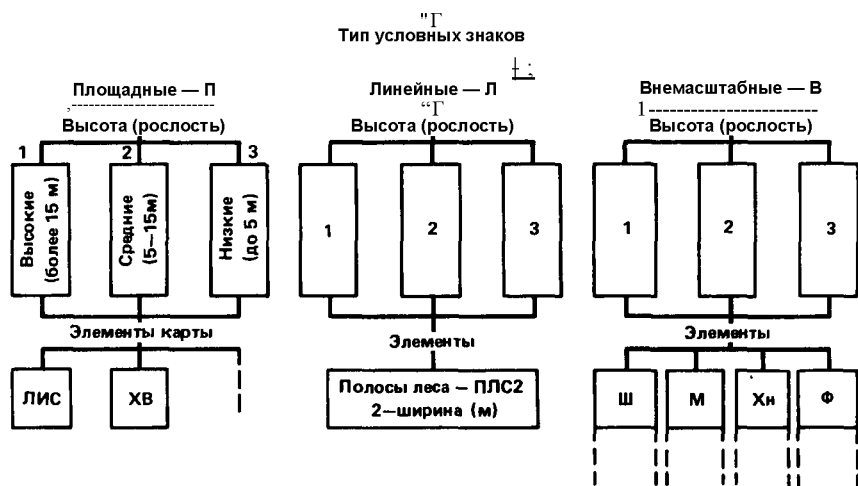


Рис. 60. Структурная схема классификации древесной растительности по типу отображения условными знаками

Принципы построения предложенной классификации позволяют легко кодировать любые населенные пункты, используя буквенно-цифровой код, который обеспечивает быстрое составление поисковых предписаний (с надежным контролем вручную и в ЭВМ) и приводит к высокопроизводительной работе ЭВМ во время поиска и выдачи картографической информации.

Растительность. В основу первичной градации класса «Растительность» предлагается положить тип растительности. Данный признак позволяет разделить всю растительность на четыре подкласса (древесная — код 1, кустарниковая — 2, травянистая — 3, культурная — 4), принципиально отличающихся друг от друга по происхождению, назначению и использованию для различных целей.

В дальнейшем древесную и кустарниковую растительность можно классифицировать в двух вариантах.

В первом варианте информацию группируют по типу отображения условными знаками: площадные, линейные, внемасштабные (но без присвоения всей группе отдельного кода). При этом каждому элементу содержания карты присваивают буквенный код, согласно названию: лиственный лес — ЛИС, хвойный — ХВ и т. д. (рис. 59).

Дальнейшая градация древесной площадной растительности возможна по объектам, в качестве которых могут быть дом лесника (код нуль), просеки (в зависимости от ширины код 1—6) и др.

Классификация кустарниковой растительности показана на рис. 59.

Достоинством данного варианта является короткий код, а следовательно и быстрый поиск и выдача информации; недостаток — отсутствие

возможной выдачи по одному коду всей информации, относящейся к определенной группе условных знаков. Например, всей площадной растительности или всей линейной и т. п. Для этого надо перечислять все коды по элементам карты.

Во втором варианте древесная и кустарниковая растительность кодируется буквенными кодами по типам отображения условными знаками: площадные — П, линейные — Л, внесмаштабные — В (рис. 60 и 61).

Дальнейшая классификация возможна по высоте растительности.

С одной стороны, это важный критерий для решения различных задач, например, можно получить по одному коду сразу всю информацию обо всех площадных высокорослых лесах или линейных высокорослых лесополосах и т. п.

Кроме этого появляется возможность показа вида растительности в лесополосах после характеристики ширины полосы.

Во внесмаштабной группе код хвойного дерева в этом случае стал бы ХВ, т. е. идентичным с площадным.

В целом система кодирования для второй группы более стройна и отображает большее число характеристик.

С другой стороны, введение данного критерия позволяет сохранить чередование букв с цифрами, что позволяет надежно контролировать коды и вручную, и машинно. Дальнейшая классификация соответствует рис. 59.

Аналогична классификация кустарниковой растительности (см. рис. 61).

Недостатками данного варианта являются длинное кодовое слово и невозможность одним кодом получить всю информацию об элементе содержания карты. Например, для лиственных лесов надо последовательно перечислить коды: Н1П1ЛИС, Н1П2ЛИС, Н1П3ЛИС. Однако это более экономное перечисление, чем если бы из первого варианта мы хотели получить все сведения, например, о площадных элементах карты. Не говоря уже об отсутствии возможности группировать по важнейшей характеристике — высоте.

Окончательный выбор варианта зависит от поставленных задач.

Травянистую и культурную растительность целесообразно классифицировать по виду растительности с присвоением буквенного кода (см. рис. 59).

Травяную растительность можно дополнительно подразделить по характеристикам на низкотравную, высокотравную и степную.

Такой принцип классификации позволяет определять границы не только растительных зон, но и физико-географических (с определенной степенью точности).

Грунты и микроформы земной поверхности. Ранее грунты и микроформы земной поверхности были выделены в один класс «Поверхность» с кодом П.

Одной из важнейших характеристик поверхности является ее тип, который целесообразно установить по твердости — некаменистая и каме-

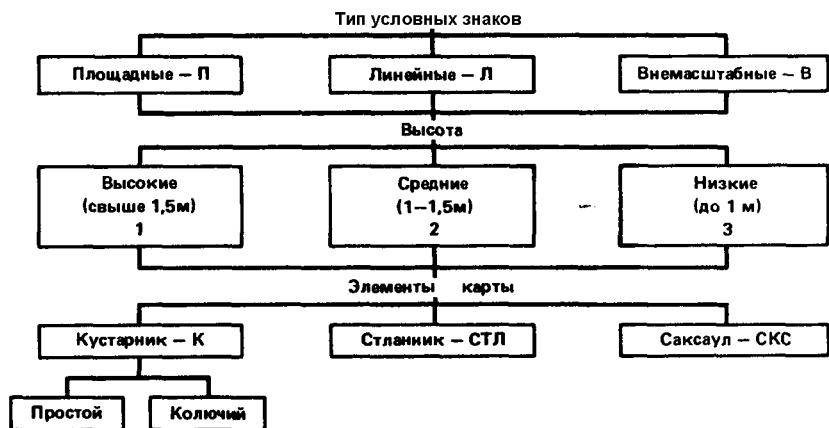


Рис. 61. Структурная схема классификации кустарниковой растительности по типу отображения условными знаками

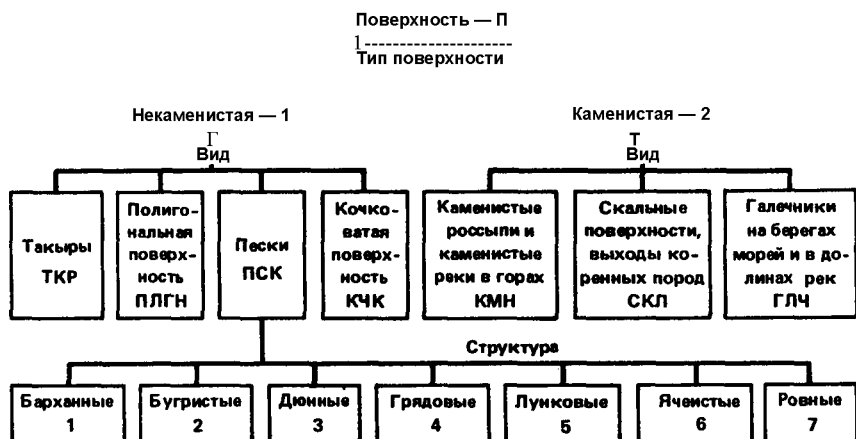


Рис. 62. Структурная схема классификации грунтов и микроформ земной поверхности

нистая. Поэтому в качестве первого признака деления класса предлагается тип поверхности. В этом случае образуются два крупных подкласса: некаменистая — код 1 и каменная — код 2 (рис. 62).

Следующим параметром классификации может быть вид поверхности. Пески своей структурой могут достаточно сильно влиять на выполнение различных задач на местности, кроме этого они на карте изобра-

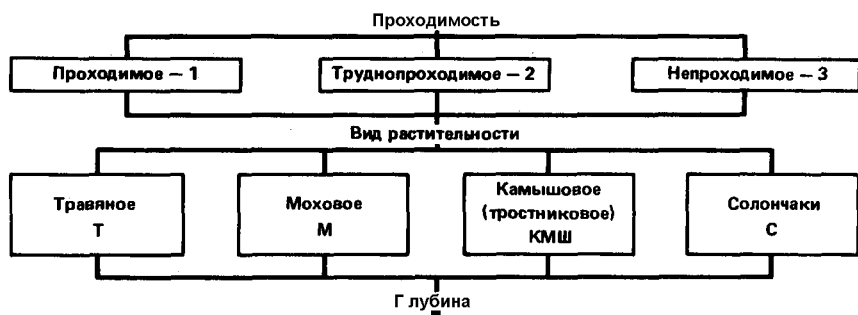


Рис. 63. Структурная схема классификации болот

жаются различными условными знаками, поэтому их целесообразно дополнительно подразделить по структуре *.

Подгруппы «дюнные» и «грядовые» могут быть объединены в одну группу, как и «лунковые» и «ячеистые» ввиду не очень сильного различия внутренней структуры и условных знаков.

Болота и солончаки. Ввиду большого влияния болот и солончаков на выполнение многих задач на местности и согласно ранее выданной классификации болота и солончаки отнесены в отдельный класс «Болота» с кодом Б.

Учитывая особую значимость такой характеристики как проходимость, болота и солончаки предлагают классифицировать прежде всего по этому критерию. Дальнейшее деление можно осуществить по виду растительности, выделив отдельно солончаки. Характеристики глубины также можно отобразить соответствующей цифрой после буквы растительности (рис. 63).

* Цифры-коды на рис. 62 указаны приближенно и должны быть упорядочены соответственно частоте пользования подгруппами.

4. ЦИФРОВЫЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

О-'

4.1. СОДЕРЖАНИЕ И СВОЙСТВА ЦИФРОВЫХ КАРТ И ПЛАНОВ

4.1.1. Картографическая информация. Общие понятия

Образно-знаковые модели местности в виде самых различных карт и планов на протяжении почти двух тысячелетий играют исключительно важную роль в познании и освоении окружающего нас мира. На ограниченном листе бумаги они несут исключительно большой объем информации, обуславливаемой не только начертаниями графических знаков и символов, но и ассоциативно-образным восприятием знаковых сочетаний и размещений в условно-трехмерном пространстве карты.

Многочисленные попытки дать полное математическое описание картографической информации, даже с учетом самых последних достижений в области информатики с ее статистическо-вероятностными и комбинаторными методами, не увенчались успехом.

Одна из трудностей математического описания информации карт заключается в том, что весьма разнообразные пространственно-логические отношения (ПЛО) объектов местности в виде их сочетаний: пересечений, соседства, вхождений, разновысотности по рельефу, ориентации по сторонам света и т. д. не имеют на картах непосредственного ни условно-знакового, ни текстуального обозначения и формируются в нашем сознании мысленно. Информацию ПЛО мы часто воспринимаем даже не задумываясь, что это продукт ассоциативно-осознанного восприятия двух и более объектов местности, условно-изображенных на карте, но имеющих реальную пространственную взаимосвязь; например, населенный пункт на правом берегу реки, хребет вытянут на северо-восток, луг в лесу, дорога круто опускается к реке, церковь — ориентир и т. д. Такого рода информация ПЛО, хотя ее установление и зависит от степени подготовленности пользователя карты к ее грамотному прочтению, является производной от условно-знаковой информации карты.

Теоретически можно представить математическое описание информации ПЛО с применением многостепенной комбинаторики, но даже с использованием наиболее быстродействующих ЭВМ вряд ли будет возможно достигнуть той скорости определения информации ПЛО, которая свойственна человеку, подготовленному к чтению карт.

Существует еще более глубинная прогностно-аналитическая информация карт. Так например, по характеру рельефа, видам растительности, миграции рек соответственно определяются геоморфологические структуры земной поверхности, прогнозируются место-

рождения полезных ископаемых, размещения подземных вод и т. д. Этот вид картографической информации связан с абстрактно-аналитическим мышлением человека и является результатом не только восприятия и изучения комплексных систем образно-знаковой информации карт, но и обуславливается уровнем подготовки пользователя карт в соответствующей области научных знаний, например, геоморфологии, геоботанике, геологии и т. д. Математическая формализация этой части образно-знаковой картографической информации является сложнейшей проблемой, решение которой, если и состоится, то вероятно, в отдаленном будущем.

Вместе с тем современное развитие науки и техники, связанное с быстрейшим получением и обработкой огромнейших массивов информации о земле и ее окружающем пространстве, настойчиво диктует необходимость поиска путей представления информации о местности в форме, удобной для быстрого ввода и обработки ее на современных цифровых ЭВМ.

Это касается в первую очередь карт и планов, используемых в научно-исследовательских, проектных, поисковых работах, связанных со строительством крупных инженерных сооружений, транспортных коммуникаций, нефте-газопроводов, каналов, линий электропередач, автоматизированных информационно-поисковых систем, а также различных средств управления и систем навигации. Основной недостаток использования картографической информации в этих работах заключается в том, что ввод такой информации в ЭВМ занимает очень большое время, в сотни раз превосходящее ее обработку в машине, что является серьезным торможением в развитии автоматизированных высокоэффективных технологий.

Отметим, что от решения этой проблемы зависит и развитие средств автоматизации при создании и обновлении традиционных карт и планов.

Для успешного применения современных ЭВМ и средств автоматизации в приведенных выше работах необходимы не образно-знаковые, а цифровые карты и планы местности (ЦКМ, ЦПМ), представляющие собой запись картографической информации о местности в цифровом виде на машинном носителе в заданных кодах, структурах, форматах и системах счисления, удовлетворяющих требованиям прямого ввода и обработки на современных цифровых ЭВМ.

Исходная картографическая информация для создания цифровых карт и планов может быть получена путем записи пространственных координат объектов местности и кодов их характеристик в числовой (десятичной) системе счисления в процессе полевой топографической съемки, либо при фотограмметрической обработке космических или аэрофотоснимков. И в том и в другом случае информация, получаемая в числовой и графической формах, преобразуется в цифровую (двоичную) систему счисления, и после соответствующей обработки (сшивки, сводки и т. д.) на ЭВМ формируется в цифровые карты (планы).

Однако во многих странах мира *цифровые карты и планы в настоящее время в основном создаются по традиционным графическим оригиналам*

карт и планов или их дубликатам, тиражным оттискам, микрофильмам, составительским оригиналам, полевым брелонам и другим картографическим материалам. Это связано, во-первых, с тем, что большинство стран уже имеют высокоточные карты и планы самых различных масштабов и назначений, и, во-вторых, обновление устаревших или создания новых карт другого масштаба и назначения намного эффективнее осуществить автоматизированным путем по цифровой картографической информации, заранее подготовленной и помещенной в банк картографических данных (БКД). Кроме того, потребности в цифровых картах все более и более возрастают, что вызывает необходимость их изготовления ранее установленных сроков обновления соответствующих традиционных карт. При создании различных карт и атласов на иностранные территории во всех странах используются, как правило, тиражные оттиски карт или микрофильмы. В этих случаях при автоматизированной технологии картосоставления они также предварительно цифруются.

4.1.2. Требования к цифровым картам

Независимо от того какими методами и техническими средствами создаются цифровые карты и планы, они должны удовлетворять следующим основным требованиям.

По содержанию, проекции, системе координат и высот, точности и разграфке (номенклатуре) цифровые карты и планы местности должны полностью отвечать требованиям, предъявляемым к традиционным образно-знаковым картам и планам.

Например, цифровая карта М-37-144-А-6-3 по содержанию, проекции, системе координат и высот, точности должна полностью соответствовать топографической карте масштаба 1:10 000 и охватывать территорию в соответствии с разграфкой, предусмотренной номенклатурой.

Адекватное слияние свойств образно-знаковых и цифровых карт местности продиктовано тем обстоятельством, что современная картографическая информация по всем своим параметрам, кроме формы отображения, удовлетворяет научно-техническому прогрессу соответствующих областей науки и техники, и не возникает необходимости в разработке особых требований к ЦКМ и ЦПМ.

К числу основных требований следует также отнести строгое соблюдение единой системы классификации и кодирования информации (ЕСККИ) от местности всеми изготовителями цифровых карт и планов, независимо от технических средств и методов их создания.

Изложенные выше требования к ЦКМ, ЦПМ в ряде стран возведены в степень государственного стандарта, что позволяет в более короткие сроки создать единый национальный банк картографических данных (БКД).

Такие БКД способны выдавать цифровые карты и планы по запросам потребителей в различных форматах, с разным содержанием, в различных разграфках и проекциях и т. д. Однако во всех случаях их основные характеристики будут находиться в пределах характеристик базовой

цифровой картографической информации. Очевидно, чем крупномасштабней будет базовая цифровая информация, тем шире и универсальней будут возможности БКД, тем больше будет потребителей и тем дешевле будут стоить цифровые карты и планы.

При создании цифровых карт и планов необходимо также предусмотреть возможность визуализации их содержания в адаптированных или стандартных условных знаках и цветах традиционных карт с использованием программно-технического комплекса (цветных графических дисплеев, графопостроителей и других устройств). Это даст возможность осуществить автоматизацию процессов картографической генерализации, редактирования и контроля качества цифровых карт и планов. В ряде стран предусматривается вывод цифровых карт и планов на устройства автоматического изготовления печатных форм с последующей печатью необходимого тиража карт и планов.

Визуализация цифровой картографической информации может осуществляться как на этапе создания ЦКМ, так и на этапах ее использования потребителем.

Как показывает опыт, графическую визуализацию цифровой картографической информации (ЦКИ) на этапе создания ЦКМ целесообразно осуществлять в машинно-адаптированных условных знаках путем изготовления, так называемых контрольно-графических и архивно-графических копий (КГК, АГК), а на этапе использования — традиционных знаков.

Такой вид визуализации ЦКИ обеспечивает дополнительный контроль по содержанию и точности ЦКМ.

В тех случаях, когда возникает необходимость создания цифровой карты более мелкого масштаба по исходным картматериалам крупного масштаба (например, ЦКМ масштаба 1:100 000, создаваемая по карте масштаба 1:50 000), процесс визуализации ЦКИ в условных знаках и в цветах традиционных карт является обязательным. Это условие связано с необходимостью проведения генерализации изображения, т. е. обобщения, отбора, сдвига и утрирования тех или иных элементов содержания исходной карты. Подобный вид визуализации необходим также при создании цифровых карт по картографическим материалам, имеющим условные знаки, отличающиеся от принятых, даже в случае единого масштаба исходного картографического материала и создаваемой ЦКМ.

Целью визуализации ЦКИ является не только контроль программной обработки исходной информации, но и интерактивное решение тех задач, которые не поддаются формализации или их математическое описание весьма сложное и требует много машинного времени на реализацию. Так например, такие процессы как удаление, сдвиг, слияние изображений или определение пространственно-логических отношений картограф-оператор может осуществить намного быстрее и даже точнее на экране дисплея, чем программным путем.

4.1.3. Информация пространственно-логических отношений объектов местности. Взаимообратимость цифровой и образно-знаковой информации карт

Рассмотрим несколько подробнее существо и значение информации пространственно-логических отношений (ПЛО) объектов местности.

Поиски путей установления и регистрации ПЛО имеет прямую связь с решением проблем создания цифровых карт, информационно адекватных традиционным, автоматизации процессов преобразования картографической информации из одного вида в другой, а также создания банков картографических данных с запросно-ответной системой высокого уровня.

Визуализация цифровой информации позволяет решать задачу регистрации, например, следующих пространственно-логических отношений.

Пересечение. Это наиболее часто встречаемые ПЛО линейных и площадных объектов на местности; например, дорога идет через болото, электролиния проходит над дорогой, часть леса заболочена и т. д. Это ПЛО играет важную роль для потребителей цифровых карт, использование которых связано, например, с наземными транспортными средствами (городскими, междугородними и между странами); прокладкой нефте-газо-путепроводов; поиском наилучших маршрутов движения, ориентирования на местности и т. д. Пространственное фиксирование этого вида отношений объектов позволяет сократить объекты цифрования за счет исключения двойного отслеживания общего контура.

Примыкание. Также широко распространенный вид ПЛО объектов местности, к которым относят случаи, когда линейный объект имеет одну общую точку с другим объектом — площадным, точечным или линейным одного или другого типа.

Если примыкание разнотипных объектов составляет единый смысловой образ, то подобное ПЛО называют **сопряжением**; например, «водный путь»; река — озеро — канал — море. Координатная привязка ПЛО «примыкание» (сопряжение) позволяет быстро определять ошибки цифрования многих объектов программным путем, что имеет исключительно важное значение. Этот же тип пространственной взаимосвязи позволяет «сшить» сопряженные объекты в единый понятийный образ, необходимый потребителям ЦКМ для решения многих транспортно-маршрутных задач.

Совмещение. Этот вид ПЛО характерен для площадных объектов местности, когда пространственно-координатные описания одного объекта полностью совпадает с таким же описанием другого; например, лес по болоту, лес, кустарник и мхи по болоту и т. д.

В массивах цифровой картографической информации знание этого рода ПЛО обеспечивает возможность хранения одного цифрового контурного описания и ссылку на соответствующее ПЛО с другими

объектами. ПЛО «совмещение» полностью исключает «раздваивание» границ совмещенных объектов, которое встречается весьма часто на картах и планах.

Вложение. Этот вид пространственно-логических отношений касается площадных объектов, когда внутри одного из объектов находится (вложен) объект другого типа, а в нем вложен третий объект и т. д.; например, внутри леса (1) есть большой луг (2), а внутри луга — пашня (3). В этом виде ПЛО необходимо отмечать соподчиненность вложений. Так в приведенном примере лес (1) является основным объектом по отношению к двум другим; луг (2) играет двойную роль. Он вложен в лес (1) и вместе с тем он — основной для пашни (3), вложенной в луг. Знание ПЛО «вложение» исключает двойное цифрование контуров, которые являются одновременно внутренними для основного и внешними для вложенного объекта. Это сокращает немалый объем работ при редакционной подготовке и цифровании карт на залесенно-озерные территории.

Эквидистантное соседство. Это ПЛО двух объектов, равноудаленных друг от друга на определенное расстояние; например, узкие полосы растительности вдоль дорог, параллельно идущие железная и шоссейная дороги и т. д. Учет данного ПЛО исключает необходимость цифрования одного из двух параллельных объектов. При этом цифруется объект, имеющий более твердое плановое положение: например, береговые линии рек, озер, водохранилищ приоритетнее относительно всех видов дорог. При цифровании дорожной сети данное ПЛО учитывает класс дорог. При условно-знаковом воспроизведении такого сочетания объектов сдвиг их изображений по эквидистанте осуществляется автоматически.

Смежность. Это ПЛО, которое характеризует наличие на определенном участке общих (граничных) контурных точек двух объектов. Учет этого вида ПЛО исключает необходимость двойного цифрования смежных контуров.

Особое значение выше указанных ПЛО приобретает при создании цифровых и традиционных карт по разномасштабным картографическим материалам с нетрадиционными условными знаками. В этих случаях задача создания ЦКМ практически полностью сливается с задачами создания автоматизированным путем образно-знаковых традиционных карт.

При соблюдении вышеизложенных требований, цифровые карты и планы по содержанию, точности и всем другим параметрам могут полностью соответствовать образно-знаковым картам и планам и одновременно отвечать требованиям непосредственного ввода и обработки на цифровых ЭВМ. Это означает, что информация образно-знаковых и цифровых визуализированных карт практически может быть адекватной и взаимнообратимой.

Обратимость ЦКМ в о б р а з н о - з н а к о в у ю карту возможна только при строгом выполнении ранее приведенных требований к ЦКМ. При этом должно особо соблюдаться выполнение точ-

ностных требований при преобразовании исходной картографической информации (ИКИ) в ЦКМ. В процессе цифрования ИКИ цена единицы младшего разряда координат любой точки объектов карты должна быть не более порога зрительного восприятия человеком графических изображений. В этом случае погрешность дискретизации изображения карты не превысит данную величину, и, следовательно, точности ЦКМ и воспроизводимой по ней образно-знаковой карты местности, практически сохраняют точность исходного картографического материала (ИКМ).

В настоящее время преобразование в цифровую форму самого различного вида графической информации все шире внедряется в телевидение, радио, кино, видеозапись и другие средства передачи информации. Это позволило уменьшить влияние различных «шумов» и повысить качество воспроизводимого по цифровой информации изображения. Оказалось возможным осуществить не только масштабное, но и пространственное трансформирование изображений или их частей. Появились цифровые мультфильмы.

Однако эти преобразования следует отличать от тех преобразований, которые осуществляются в процессе создания по ЦКМ новых карт. Хотя во всех случаях преобразуется исходная непрерывная (аналоговая) информация в дискретную (цифровую) форму, степень дискретизации при создании ЦКМ во много крат выше. Это связано с исключительно высокими требованиями к точностным параметрам ЦКМ, на которых должна быть управляемой практически каждая точка и линия изображения, имеющие размеры, равные предельному зрительному восприятию глаза человека (0,1—0,2 мм). Это от двух и более миллионов бит информации в среднем на один лист, например, карт масштабов 1:10 000—1:100 000.

Каждая точка, линия, знак этой информации, по заданным программам или путем интерактивного воздействия картографа-оператора может быть полностью или частично обобщена, сдвинута, снята, дополнена, преобразована в другую проекцию, систему координат и высот, отображена новыми условными знаками и т. д.

Создание ЦКМ связано с дорогостоящими программным обеспечением и аппаратурой и, как показывает опыт, экономическая эффективность их создания всецело зависит от расширения круга потребителей ЦКМ, что в свою очередь тесно связано с созданием унифицированных банков цифровых картографических данных на обширные территории.

4.2. ОСНОВЫ ИНФОРМАТИКИ В ЦИФРОВОЙ КАРТОГРАФИИ

4.2.1. Карта — канал технической информации

Слово «информация» сравнительно недавно стало научным термином. В самом общем понимании под словом «информация» обычно подразумеваются различного рода сообщения, содержащие те или иные сведе-

ния. Такое всеобъемлющее и неисчерпаемое понятие информации практически неформализуемо, и, естественно, дать ему конкретные количественные и качественные оценки невозможно.

Существует несколько подходов научного толкования понятия информации. Один из них, которого придерживается большая часть специалистов — это информация техническая, передаваемая по самым различным информационным каналам. Физическим носителем этого вида информации, образующей соответствующий сигнал, может быть звук, электро-магнитные колебания любой частоты, включая оптический диапазон длин волн, биотоки и т. д.

К технической информации следует отнести и, так называемую, семантическую информацию, т. е. смысловую, которая кодируется и передается по техническим информационным каналам соответствующими сигналами. Изменение того или иного параметра сигнала дает возможность считать, что он несет некоторую информацию, т. е. сообщение. Такой подход к пониманию информации позволяет дать ей строгое математическое описание, и ее количество может быть в точности вычислено, так как процессы, происходящие с ней, подчиняются физическим законам.

В других подходах информацию рассматривают как физическую величину, связанную с изменениями энергии, скорости, давления и т. д.

Для цифровой картографии, теснейшим образом связанной с применением самых различных технических средств получения, обработки, преобразования и передачи информации карт наиболее приемлемо ее понимание как информация техническая.

Системы, в которых те или иные сигналы несут сообщения, принято называть информационными системами, а совокупность средств для передачи сигналов получила название информационных каналов.

Любая карта как носитель сообщений, с точки зрения информационного канала представляет собой непосредственный носитель физических сигналов, различия которых обусловлены колебаниями яркостных характеристик картографического изображения в различных частях оптического диапазона длин волн, а также различными изменениями сигналов, искусственно задаваемых тем или иным видом кода, например, при регистрации пространственных координат объектов карты, их характеристик или их взаимосвязей (отношений).

Изменение сигнала информации может быть как непрерывным (аналоговым) так и дискретным. Карты, с точки зрения информационного оптического канала, в основном, представляют дискретную информацию (если нет на карте полутонного изображения, например, различного рода отмывок). Однако количество информации во много крат возрастает если учесть, что необходимо регистрировать колебания характеристик сигнала, обусловленных изменениями отраженных (проходящих) лучей и координаты и коды множества точек картографического изображения с разрешением, равным предельному значению зрительного восприятия. Например, одна из таких точек изображения

на карте может принадлежать условному знаку дороги, а другая — мосту на удалении от первой на 0,1—0,2 мм.

Одно и то же сообщение в информационных системах может передаваться сигналами, имеющими различную физическую природу. Свет может быть преобразован в звук, который, в свою очередь преобразуется в магнитное поле, затем — в оптико-механическое воспроизведение в виде текста, рисунка карты и т. д.

Таким образом каналы информации могут быть весьма разнообразными в системах и включать самые различные кодирующие и декодирующие устройства. Каждое предыдущее звено в этой системе для последующего является источником информации, а каждое последующее звено приемником информации. Во многих системах роль источника и приемника информации и, главное, ее контроля и корректуры на том или ином этапе играет человек.

Для некоторых носителей информации роль источника и приемника может быть разделена во времени. Например, лента магнитофона при записи является приемником звука, а при воспроизведении — источником информации. Такие носители стали называть средствами хранения информации или средствами памяти информации. Карта есть ни что иное, как средство памяти информации, и все изложенное выше имеет прямое отношение к картографическому изображению.

Началом математической теории информации принято считать публикацию в 1949 г. работы американского математика и инженера Клода Шеннона «Математическая теория связи». Однако было бы справедливым отметить, что К. Шеннон использовал в известной степени исследования своего соотечественника Р. Хартли, опубликовавшего еще в 1927 г. работу «Передача информации».

Теория информации как математическая дисциплина и раздел общей теории коммуникации получила бурное развитие с развитием кибернетики как науки об управлении, которая привела к необходимости глубокого изучения процессов передачи информации в технических, экономических, биологических и других системах, в которых имеются чувствительные органы, выбирающие информацию об окружающей среде и преобразующие ее для дальнейшего использования.

Всякое поступающее к нам сообщение выбирается из некоторого конечного набора; чем больше такой набор, тем труднее предсказать какое именно сообщение будет получено. Приведем пример. Предположим, что на одной карте имеется набор из 10 разных условных знаков, а на другой карте — набор из 100. Угадать о каком знаке принесет сообщение нам вторая карта, очевидно, будет намного сложнее, так как при получении, например, первого сообщения можно предположить, что оно несет информацию о любом из 100 условных знаков. Приведем еще один пример. На одной карте все дороги разбиты на два класса, а на другой — на 10 классов. Предсказать тип дороги на первой карте значительно проще, и, вместе с тем, значение фактического типа дороги на первой карте несет меньше информации о ее реальном состоянии на местности, чем на второй. В этом примере детальность классификации

определяет количество возможных сообщений. Рассмотренные случаи сравнительно просты. Приведем пример более сложной информационной взаимосвязи. Представим, что мы создаем карту в новой системе условных знаков по двум исходным картам, содержащим по 10 условных знаков, причем каждый условный знак одной из карт оказывает влияние при создании новой карты на все 10 знаков другой карты. Таким образом мы получаем сложное сообщение, составленное из двух по одному из каждого набора. Всего таких сообщений можно получить 100. Если бы мы приняли за меру количества информации число сообщений в исходных наборах, как в первых двух примерах, то получили бы $10 + 10 = 20$ сообщений. В этом примере сложное сообщение, составленное из двух простых, будет содержать не 20, а 100 единиц информации, так как на каждое одно сообщение одного набора влияют поочередно 10 сообщений другого. Р. Хартли первый предложил брать в качестве меры количества информации не число сообщений в исходном наборе, а логарифм этого количества. В этом случае количество информации, переносимое сложным сообщением, будет равным сумме количеств информации, содержащихся в составляющих его простых сообщениях $10 + 10 = \log 100; 2 = 2$).

Заслуга Р. Хартли состоит в том, что он впервые связал понятие о количестве информации с понятием числа сообщений в исходном наборе. Второе положение теории Р. Хартли заключается в том, что процесс получения информации рассматривается как выбор одного элемента из некоторого множества. Если исходное множество содержит только один элемент, выбрать не из чего, и количество информации равно нулю ($1=0$). Наконец, третье положение теории Р. Хартли состоит в том, что количество информации целиком определяется свойствами источника информации и никак не зависит от свойств получателя.

4.2.2. Энтропия — количественная мера информации.

Аксиомы. Свойства

Мера количества информации по Р. Хартли приемлема только в случаях фиксированных ограничений, когда используются те или иные комбинации, например, условных знаков карты с равной частотой. В общем случае, когда различные сообщения используются с разной частотой, мера Хартли оказывается некорректной. Например, при записи (цифровании) текущих координат тех или иных линий на карте, параметры движения записывающего устройства — цифрователя, как показывают весьма многочисленные исследования, будут чаще находиться именно вблизи отслеживаемой линии, хотя вполне возможны значительные отклонения, но наблюдаться они будут, как правило, реже. Подобные примеры могут быть приведены для большинства информационных систем. Таким образом, оказалось возможным сделать вывод о том, что не все состояния источника информации могут считаться равноправными с точки зрения частоты появления тех или иных сообщений. Рельеф или гидрография в своем плановом положении могут иметь преобладаю-

шие направления изображающих их линий, например, с севера на юг. Тогда расположение линий в этом направлении более вероятно, но при этом такие участки на единицу длины несут меньше информации о местности, чем маловероятные отрезки, направленные с востока на запад.

Приведенные примеры показывают, что частота появления различных состояний источника информации характеризуется законом распределения вероятностей явлений (событий). Р. Хартли в качестве свойства источника информации рассматривал число его возможных состояний.

Заслуга К. Шеннона заключается в том, что он ввел понятие вероятности как свойства случайных событий в теорию информации, что оказало большое стимулирующее влияние на все исследования, относящиеся к передаче, преобразованию и хранению каких бы там ни было сообщений в природе и технике.

Главным свойством случайных событий, как известно, является отсутствие полной уверенности в их наступлении, создающих известную неопределенность при решении тех или иных задач, связанных с этими событиями.

Однако ясно, что степень этой неопределенности в различных случаях может быть совершенно разной. Для практики важно уметь численно оценить степень неопределенности тех или иных явлений, событий, чтобы иметь возможность сравнивать их и принимать обоснованные решения и выводы. Количественной мере степени неопределенности К. Шеннон дал название энтропии.

Аксиомы, предложенные К. Шенноном, позволяют найти соотношения для вычисления количества неопределенности дискретного источника информации.

Первая аксиома. «Мера неопределенности есть непрерывная функция вероятностей состояния источника информации».

Вторая аксиома. Для источника информации с равновероятным состоянием мера неопределенности увеличивается с ростом числа состояний».

Третья аксиома. «При раскрытии неопределенности имеется свобода выбора».

Найдем выражение энтропии источника с равновероятными состояниями. Предположим, что имеется источник картографической информации с 5^m равновероятными состояниями. Вероятность каждого состояния соответственно равна $1/5^m$. Энтропия H такого источника как функция вероятности будет:

$$H = H(1/5^m, 1/5^m, \dots, 1/5^m)$$

или

$$H = H(5^m). \quad (4.1)$$

Неопределенность будем раскрывать по этапам. На первом этапе все состояния разобьем на 5 одинаковых групп. Каждая группа объединяет 5^{m-1} равновероятных состояний, следовательно группы будут равновероятны и вероятность их равна $1/5$. На втором, третьем и т. д.

m этапах каждую группу разобьем на $S^1, S^2, S^3, \dots, S^m$ одинаковых групп, так как в каждую группу входит одно состояние источника; величина неопределенности в соответствии с первой аксиомой по группам будет:

$$H \setminus = H(S); H_2 = H(S); H_3 = H(S)$$

и для m этапов

$$H = mH(S). \quad (4.2)$$

Согласно третьей аксиоме неопределенность источника не зависит от способа ее раскрытия — величина неопределенности (4.1), полученная при непосредственном раскрытии, равна величине (4.2), полученной при раскрытии по этапам:

$$H(S'') = mH(S). \quad (4.3)$$

Рассмотрим теперь два источника сравнимовероятными состояниями, но разными их количествами S^m и t^n (где S, m, t, n — целые числа), находящимися в следующем соотношении:

$$S^m < n < S^{m+1}. \quad (4.4)$$

В соответствии со второй аксиомой, используя обозначение (4.1), запишем

$$H(S^m) \wedge H(t^n) < H(S^{m+1}). \quad (4.5)$$

Согласно (4.3) последнее выражение примет вид

$$mH(S) < nH(t) < (m+1)H(S). \quad (4.6)$$

Разделив все части неравенства на величину $nH(S)$, получим

$$\frac{m}{n} = \frac{H(t)}{H(S)} < \frac{m+1}{n}. \quad (4.7)$$

Прологарифмируем выражение (4.4)

$$m \log S < n \log(t^n - 1) \log S. \quad (4.8)$$

Разделим все части этого неравенства на величину $n \log S$

$$\frac{m}{n} < \frac{\log t}{\log S} < 1 - \frac{1}{n}. \quad (4.9)$$

Сравним выражения (4.7) и (4.9). Видно, что две величины — $\frac{M(t)}{H(S)}$

$\frac{\log(t)}{\log H(S)}$ равны между собой с точностью до малой величины $\frac{1}{n}$:

$$\left| \frac{H(t)}{H(S)} - \frac{\log(t)}{\log(S)} \right| < \frac{1}{n}.$$

Отношение неизвестной нам функции H для двух произвольных значений ее аргументов равно отношению этих аргументов. Следовательно функция пропорциональна логарифму аргумента:

$$H(\delta) = K \log B.$$

Так как основание логарифма может быть любое, коэффициент пропорциональности можно опустить и записать выражение для энтропии информации с равновероятными состояниями в виде

$$H = H(B) = \log B. \quad (4.10)$$

Итак для источника картографической информации с равновероятными состояниями мера неопределенности или энтропия равна логарифму числа состояний. Найдем выражение для энтропии источника картографической информации с неравновероятными состояниями появления условных знаков.

Пусть дискретный источник картографической информации x имеет n возможных состояний x , с их вероятностями P_i :
 $(x, \dots, P_i, \dots, P_n)$. При раскрытии неопределенности этого источника, согласно второй аксиоме получим некоторую величину:

$$H = -\sum_{i=1}^n P_i \log P_i. \quad (4.11)$$

Представим вероятности состояний источника в следующем виде:

$$P_i = \frac{1}{K} \cdot \frac{K}{2^i} \cdot \frac{2^i}{K}; \dots; P_n = \frac{1}{K} \cdot \frac{K}{2^n} \cdot \frac{2^n}{K}, \quad (4.12)$$

$$\frac{1}{K}, \quad \frac{1}{K}, \quad \frac{1}{K},$$

где $K \setminus K \neq K n$ — целые числа. Например, если $K = 2/5, P_2 = 3/5,$

то $1/2 = 2, 1/5 = 3, 1/5 = 5$. Если $P_1 = 0,81, P_2 = 0,19$, то $1/81 = 81,$

$1/19 = 19, 1/100 = 100$. Представление вероятностей в виде (4.12) воз-

можно с любой заданной наперед точностью.

Рассмотрим некоторый вспомогательный источник картографической

информации с n равновероятных состояний. Очевидно, что вероят-

ность каждого состояния равна $1/n$. Раскроем неопределенность

этого источника в два этапа. Группы на первом этапе образуем следующим путем. В первую группу (K_1) объединим K_1 состояний. Очевидно,

что вероятность этой группы равна K_1/n , или P_1 . Объединив в каж-

дую группу x по K состояний, мы тем самым распределим все

Π
 $\in K$; состояний вспомогательного источника в n групп. Вероятность
 $;\equiv 1$

группы XI равна P . Обращаясь к (4.11) видим, что вероятности этих групп совпадают с вероятностями состояний исходного источника. На первом этапе раскрытия неопределенности вспомогательного источника устраняется неопределенность исходного источника, записанная в виде (4.11). Количество неопределенности на первом этапе будет

$$H = H(P_n P_2 P_n). \quad (4.13)$$

На втором этапе, раскрывая неопределенность первой группы, мы должны выбрать одно из $K \setminus$ равновероятных состояний.

Неопределенность в этом случае будет согласно (4.10)

$$H_2 = \log K. \quad (4.14)$$

Раскрывая неопределенность второй группы, следует выбрать одно из $/C$ равновероятных состояний. Неопределенность в этом случае будет

$$H_3 = \log K_2. \quad (4.15)$$

Всего на втором этапе может быть n разных случаев, так как имеется n групп, и может быть получено n различных значений неопределенности в зависимости от того, в какой группе содержится состояние вспомогательного источника.

Вычислим среднее значение неопределенности, раскрываемое на втором этапе H_2 , т. е. математическое описание величины H_2 .

Величина H_2 получается в случае, если состояние вспомогательного источника содержится в группе. Вероятность этого, как было указано ранее, равна P . Следовательно для математического ожидания:

$$H_2 = \sum_{i=1}^n P_i H_i = \sum_{i=1}^n P_i \log K_i. \quad (4.16)$$

Если раскрыть неопределенность вспомогательного источника H_2

$\in \setminus C$ - равновероятными состояниями непосредственно, то согласно
 $(\equiv 1)$

(4.10), получим:

$$H_2 = \log K. \quad (4.17)$$

Согласно третьей аксиоме неопределенность не зависит от способа раскрытия, поэтому

$$H_2 = H_1 + H_2.$$

Подставляя значения из (4.13), (4.16) в (4.17) имеем:

$$\log \sum_{i=1}^n K_i = H(P_1, P_2, \dots, P_n) + \sum_{i=1}^n A_i \log C_i,$$

Отсюда искомое значение энтропии исходного источника

$$H(P_1, P_2, \dots, P_n) = - \sum_{i=1}^n P_i \log K_i + \log \sum_{i=1}^n K_i.$$

Умножим второе слагаемое на величину $\sum_{i=1}^n P_i < 1$ равную единице,

$$H(P_1, P_2, \dots, P_n) = - \sum_{i=1}^n P_i \log \frac{K_i}{\sum_{i=1}^n K_i}.$$

Учитывая (4.12), получаем окончательное выражение количества неопределенности дискретного картографического источника информации — энтропии.

$$H(P_1, P_2, \dots, P_n) = - \sum_{i=1}^n P_i \log P_i. \quad (4.18)$$

Проведем некоторые свойства энтропии.

1. Энтропия есть вещественная, ограниченная и неотрицательная функция. Это следует из того, что значения вероятностей заключены в пределах

$$0 < P_i < 1.$$

2. Для системы с одним возможным состоянием энтропия равна нулю. В этом случае в (4.18) следует положить $P_1 = 1$; $P_i = 0$ ($i = 2, \dots, n$). Тогда, очевидно для первого источника

$$- \sum_{i=1}^n P_i \log P_i = 0.$$

При вычислении последующих слагаемых получаем значения $0 \cdot \infty$. Раскрывая неопределенность, получим:

$$\lim_{P_i \rightarrow 0} P_i \log P_i = \lim_{P_i \rightarrow 0} \frac{P_i \log P_i}{P_i} = \lim_{P_i \rightarrow 0} \frac{\log P_i}{1} = 0.$$

Таким образом, каждое слагаемое в (4.18) равно нулю, и энтропия равна нулю. Действительно, никакой неопределенности у системы с одним,

а следовательно, известным состоянием не может быть, что подтверждается математически, подчеркивая правомерность математического описания энтропии в целом.

3. Если вероятности состояний источника изменяются так, что их величины сближаются, энтропия увеличивается.

Рассмотрим вероятности P_1 и P_2 двух произвольных состояний. Пусть $P_1 < P_2$. Изменим эти значения в сторону сближения. Обозначим новые значения P'_1 и P'_2 . Учитывая, что сумма всех вероятностей постоянна (она равна единице), получим

$$P'_1 = P_1 - \Delta P; \quad P'_2 = P_2 + \Delta P.$$

Предполагая, что ΔP мало, вычислим вариацию энтропии ΔH :

$$\Delta H = H(P') - H(P) = (-\log P'_1 - \log P'_2) - (-\log P_1 - \log P_2)$$

$$= \left(\log \frac{P_2}{P_1} \right) \Delta P.$$

Так как $P_2 > P_1$ и $\Delta P > 0$, то вариация положительна и свойство доказано.

4. Энтропия максимальна в случае равновероятных состояний источника информации.

Для доказательства необходимо найти условия экстремума функции (4.18). При решении задачи необходимо учесть, что аргументы функций не могут изменяться произвольно. Вероятности всегда подчиняются условию:

$$\sum_{i=1}^n P_i = 1. \quad (4.19)$$

Для решения используем метод неопределенных множителей Лагранжа.

Составим вспомогательный функционал:

$$F = - \sum_{i=1}^n P_i \log P_i + \lambda \left(\sum_{i=1}^n P_i - 1 \right), \quad (4.20)$$

где λ — неизвестный постоянный множитель Лагранжа.

Составим условия экстремума функционала:

$$\frac{\partial F}{\partial P_i} = -1 - \log P_i + \lambda = 0; \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4.21)$$

Заметим, что условия экстремума функционала (4.20) и функция (4.18) одинаковы. Указанные выражения одинаковы по величине, так как согласно (4.19) последнее слагаемое в (4.20) равно нулю.

Из (4.21) следует, что в точке экстремума все вероятности одинаковы, т. е. состояния равновероятны. Экстремум (он один) соответствует максимуму, что следует из предыдущих свойств энтропии.

Таким образом, максимальное значение энтропии источника дискретной картографической информации равно логарифму его состояний

и достигается в случае равновероятных состояний источника.

Приведенные свойства очень хорошо характеризуют энтропию как меру неопределенности. Наибольшей неопределенностью источник обладает, как показано, при равновероятных состояниях, когда все состояния равноценны, и необходимо выбирать одно состояние среди одинаковых. Это можно проиллюстрировать на следующем примере.

Для карты с более мелкими деталями изображения вероятности появления того или иного цвета на каждом участке выравниваются, и следовательно элементарный участок такой (детальной) карты несет больше информации, чем такой же участок, например, учебной карты, где детали не изображены, и поэтому вероятности появления различных цветов на различных участках отличаются больше друг от друга. Играет роль большая условная вероятность, снижающая информацию.

За единицу измерения энтропии принимается неопределенность, содержащаяся в опыте, имеющем два равновероятных исхода (например, в отгадывании цвета черного или белого шара при извлечении из урны одного из двух). Такая единица измерения неопределенности называется двоичной единицей или битом (bit — сжатие двух английских слов binary digit — двоичная цифра).

В дальнейшем мы будем пользоваться при оценке информации только двоичными единицами (цифрами 0; 1) — битами или байтами, равными 8 битам. Таким образом под $\log K$ будем подразумевать двоичный $\log_2 K$. Заметим, что выбор основания системы логарифмов здесь не существен, так как в силу известной формулы

$$\log^* K = \log, a \log, K$$

переход от одной системы логарифмов к другой сводится лишь к умножению функции $i(K) = \log K$ на постоянный множитель (модуль перехода $\log i, a$), т. е. равносильен простому изменению единицы измерения степени неопределенности — энтропии.

Итак, получение информации в наиболее общем понимании есть процесс снятия неопределенности сообщений, при котором выделяется именно то сообщение, которое характеризует явление, в действительности имевшее место. Такое понятие получения информации при изучении явлений позволяет абстрагироваться от целого ряда свойств. Так например, произвольное одновременное изменение количественных масштабов рассматриваемых явлений с информационной точки зрения ничего не меняет (если на карте показана одна лишь водная поверхность, то никакой неопределенности, все ясно — информации нет).

Несущественным в информационном плане является также одновременное изменение пространственных и временных масштабов явлений.

Рассмотрим некоторые общие принципы подхода к изучению того или иного вида информации.

Существуют два различных подхода к изучению явлений с информационной точки зрения: непрерывный и дискретный. При непрерывном

подходе все изучаемые явления рассматриваются как переменные векторные поля. Конкретная физическая природа таких векторных полей, а также их количественные, пространственные и временные масштабы считаются при этом несущественными. Получение информации состоит в выборе какого-нибудь определенного (переменного) значения вектора из фиксированной заранее совокупности таких значений. Характерным для непрерывного подхода является то, что все величины векторов, пространственные и временные координаты, описывающие явления, являются вещественными числами и могут изменяться непрерывно.

При дискретном подходе также имеют дело с переменными векторными полями. Однако в отличие от предыдущего случая компоненты векторов, а также пространственные и временные координаты принимают дискретные значения. Наиболее употребительным является случай, когда число значений, принимаемых компонентами векторов и пространственными координатами, конечно (поле задано конечным числом точек). Что же касается временной координаты, то ее область значений при дискретном подходе отождествляют обычно с множеством целых чисел (положительных, отрицательных и нуля). Нулевой момент времени считается при этом начальным, а остальные моменты времени получают названия в соответствии с их номерами: первый, второй, минус первый, минус второй и т. д. При этом чаще всего ограничиваются рассмотрением конечных временных промежутков, начиная с нулевого, либо с первого момента времени.

Получение информации при дискретном подходе сводится таким образом к получению конечных последовательностей дискретных векторных значений.

Вводя для каждого такого значения вектора специальное буквенное обозначение, мы получаем возможность задавать информацию конечными последовательностями букв. Подобный способ задания дискретной информации условились называть алфавитным, совокупность элементарных символов (букв), из которых составляется информация — алфавитом, а конечные последовательности букв алфавита — словами в данном алфавите.

Алфавитный способ употребляется, как известно, при задании лексической (языковой) и числовой информации. В случае лексической информации алфавит совпадает с обычным алфавитом языка, на котором задается информация, а в случае числовой информации алфавитом является совокупность десяти цифр.

Напомним, что понятие слова в алфавите существенно отличается от понятия слова в обычном языке даже в том случае, когда исходный алфавит совпадает, например, с русским алфавитом. В силу принятых выше определений, можно называть словами не только существующие в том или ином языке слова, но также, любые случайные последовательности сочетаний букв.

На практике методы аппроксимации непрерывной функции, как правило, приводят к дискретизации, а также к дискретизации приводят любые естественные или искусственные ограничения тех или иных прием-

ников информации. Собственно, нет особых проблем в сведении непрерывной функции к дискретной и, в конечном счете,— к алфавитной форме задания информации.

Этот вид задания информации представляет особый интерес для цифровой картографии.

Рассмотрим один из вариантов задания картографической информации в дискретной алфавитной форме с целью сопоставления каждому условному знаку карты (исходная информация) названия изображенного объекта (результатирующая информация).

Исходную информацию (изображение карты) разобьем на элементарные квадраты (растр), которые занумеруем в том или ином фиксированном порядке (например, слева направо и сверху вниз). Величину каждого квадрата выберем настолько малой, чтобы глаз человека не различал никаких деталей условных знаков, а различал только степень яркости элементарного участка. Дискретизации подвергнем уровни яркости всех элементов растра, т. е. выберем такое число градаций яркости, которые регистрируются как различные. Предположим, что число таких различий 250. Поскольку имеется ровно $2^8 = 256$ различных слов длины 8 бит в двоичном алфавите, мы вполне можем закодировать яркости элементарных квадратов восьмерками нулей и единиц (т. е. одним байтом) в самых различных комбинациях. Записывая теперь коды яркостей элементарных ячеек в порядке роста их номеров, мы получаем возможность каждый условный знак закодировать рядом нулей и единиц.

Для результирующей информации кодирование может быть выполнено очень просто: достаточно каждой из 32 букв, например, русского алфавита сопоставить возможных слов длины 5 в двоичном алфавите $32 = 2^5$. Например букве А может быть сопоставлен код 00000, букве Б — код 00001 и т. д.

Таким образом задача преобразования информации обычной карты в цифровую форму практически свелась нами к преобразованию нулей и единиц, являющихся кодом условных знаков, в ряд нулей и единиц, представляющих (в закодированной форме) названия изображенных условных знаков. Такая информация карты стала управляемой и доступной многим математическим преобразованиям с использованием современных вычислительных средств.

Следует однако отметить, что растровое представление цифровой картографической информации в ряде случаев требует преобразования ее в линейную (векторную) форму с целью обеспечения более простого доступа к каждому объекту карты при их автоматизированном составлении. Переход от растрового формата к линейному и обратно осуществляется программным путем.

Прежде чем перейти к непосредственному математическому описанию возможной количественной оценки условно-знаковой цифровой картографической информации отметим еще раз, что мы будем определять не смысловое содержание условных знаков и тем более их ПЛО, а количество сообщений (сигналов в битах), необходимых для регистрации и построения по цифровой информации изображений, адекватных

по начертанию графическим аналогам и соответствующих реальному пространственному местоположению отображаемых ими объектов.

4.2.3. Количественная оценка условно-знаковой цифровой картографической информации

Количественный анализ информационных потоков и пропускной способности как технических, так и программных средств создания цифровых карт позволяет определить оптимальную технологию цифрования, обработки, хранения и выдачи потребителям цифровой картографической информации.

Современное состояние развития общей теории коммуникации и ее математической дисциплины информатики создает реальную возможность глубже понять суть цифровых преобразований картографических изображений и дать им не только качественную, но и объективную количественную оценку. Приведем возможный путь решения этой проблемы.

Предположим, что общий фонд создателя карты и ее потребителя содержит $S_1, \dots, S_q$ условных знаков, имеющих вероятность появления на этой карте $P_1, \dots, P_q$, при этом считается, что каждый знак несет различное количество информации, выраженное как $\log(1/P_1), \dots, \log(1/P_q)$ битов, т. е. при появлении знака S_i мы получаем $\log(1/P_i)$ бит количества информации. Усредняя информацию всех знаков, получаем энтропию, т. е. среднюю информацию, приходящуюся на один знак:

$$H = \sum_{i=1}^q P_i \log \frac{1}{P_i} \text{ (бит)}.$$

Отметим, что энтропия здесь является не свойством отдельного знака, а характеризует весь набор $\{S_i\}$ для данного листа карты.

Средняя информативность знака (энтропия набора) принимает максимальное значение в случае равной вероятности появления всех знаков. Тогда $P_i = 1/q$ и $H_{\max} = \log q$. Как правило среднее количество информации в одном символе меньше, чем это позволяет набор. Относительную величину этой разницы в теории информации принято называть избыточностью:

Если знак может быть предсказан на основании предыдущих знаков, то этот знак практически не несет информации, т. е. с увеличением условных вероятностей количество информации уменьшается. Например, вклад второй линии условного знака каналов, шоссе, дорог в информацию равен нулю, так как условная вероятность здесь равна единице (показано достоверное событие). Аналогично, прямолинейность электрических линий высокого напряжения можно рассматривать как последовательность знаков с высокой условной вероятностью, и следовательно с пониженным количеством информации.

Криволинейные контуры содержат на единицу длины больше информации, чем геометрически простые и поэтому легко предсказуемые упорядоченности, например, кварталы населенных пунктов, картографические сетки и т. д. Окраска площадных объектов может рассматриваться как знак с условной вероятностью равной единице, и, следовательно, информация внутри такого контура равна нулю. То же самое можно отметить в отношении площадных объектов, заполняемых различными сетками. Таким образом информация об объектах карты в большей степени сосредоточена в их контурах. Отметим также, что усиление статических связей между элементами объектов снижает энтропию и повышает избыточность.

Сравнивая карту, например, с аэроснимком можно заметить, что карта отличается высокой избыточностью, а снимок большой плотностью информации, но малой избыточностью. Поэтому и легко читается карта.

С позиций теории информации можно считать, что создание карты — это процесс, в котором из чрезмерной полноты информации, а тем самым из хаоса реального мира, путем уменьшения информации (и, следовательно, образования избыточности) получают определенную упорядоченность, которая и позволяет познать действительность.

На понятии термина «избыточность» информации, принятого в теории информатики, необходимо остановиться подробнее, так как слово «избыточность» в повседневном обиходе часто отождествляется с понятием «ненужность».

Теоретически максимальная избыточность, в действительности, ведет к неоправданному уменьшению информации. Однако минимальная ее величина приводит к максимальной энтропии, т. е. исключительно высокой плотности картографической информации, исключающей возможность ее быстрого и точного восприятия и осознания и, следовательно, быстрого и правильного принятия решения.

Оптимальное сочетание избыточности информации и ее энтропии является главной задачей картографической генерализации, обеспечивающей важнейшее свойство образно-знаковой карты — ее «читаемость», т. е. быстрое и точное восприятие человеком ее информации.

Компоненты, образующие избыточность картографической информации, можно назвать одним из выразительных (образных) средств карты, прежде всего обуславливающих ее читаемость. Например, вторые линии шоссейных дорог, цвет площадных и линейных объектов, отмывка и гипсометрическая окраска рельефа, схожесть (пиктографичность) условных знаков по очертаниям и цвету с реальными объектами и т. д. Все это и есть оптимальная избыточность информации карт, которая, не требуя особо больших затрат, обеспечивает одновременно высокую информативность и требуемую читаемость картографических изображений.

В процессе преобразования графических изображений в цифровую форму возможны те или иные утраты информации. Это связано чаще всего с различного рода электрическими, магнитными, оптическими и другими помехами, получившими в технике название «шумов».

Цифровая карта, как и любой другой коммуникативный канал, подвержена возможной утрате полностью или частично цифровой информации.

Высокая избыточность позволяет в ряде случаев восстановить утраченную информацию. Таким образом, избыточность характеризует в количественном аспекте как бы «читаемость» и информационную защищенность карты, которые достигаются за счет разумного увеличения информативной избыточности.

Понятие количества мы определили с учетом конечного набора знаков $\{5, | \} (= 1, 2, \dots, q$. Картографическое же изображение представляет собой непрерывный носитель информации, что может привести к выводу о бесконечности содержащегося в нем количества информации. Однако это неверно, так как соседние элементы карты взаимозависимы и чем они чаще, тем больше их корреляция. Поэтому практически энтропия любого изображения карты всегда конечна.

Рассмотрим возможный метод подсчета энтропии с учетом влияния окружающих условных знаков. Зная соседние (предшествующие) элементы, можно значительно лучше предсказать последующие, чем без учета их. Пусть известна группа из $(v-1)$ элементов изображения карты. Обозначим эту группу через D_v , а условную вероятность того, что следующий v -й элемент примет значение i (при всех $v-1$ элементов группы — через $P_{0i}(i)$). Количество информации, содержащееся в сообщении о том, что v -й элемент принял значение i при известных значениях $(v-1)$ элементов группы D_v , равно $-\log P_{0i}(i)$. Для того чтобы найти энтропию изображения, т. е. среднее количество информации на один элемент с учетом статистических связей, нужно найти среднее значение от $-\log P_{Di}(i)$. Для этого нужно знать вероятность появления группы D_v вместе с принятием v -м элементом значения i :

$$P(D_i, j) = P(D_i) P_{Di}(i).$$

Следовательно, среднее значение величины $-\log P_{0i}(i)$ равно:

$$H_v = -1 > (A, i) \log P_{Di}(i).$$

Ряд $F_1, F_2, F_3, \dots$ также сходится к энтропии изображения H . Экспериментальные данные показали, что F_v резко меняется при переходе v от 1 к 2, т. е. значение предыдущего элемента существенно влияет на значение рядом стоящего, последующие соседи влияют все меньше и меньше.

Как указывалось выше информация элемента изображения карты равна нулю, если значение ее может быть предсказано на основании предыдущих элементов. Следовательно информацию несет лишь величина, отличающая элемент от предсказанного значения, т. е. средняя информативность каждой точки пропорциональна дисперсии этого изображения. Дисперсия же вычисляется на основе анализа спектральной и корреляционной функции изображения. Методы определения этих функций хорошо известны в теории обработки изображений.

Так как подавляющая часть картографической информации заключается в контурах протяженных объектов, внесмасштабных условных

знаках и подписях, то растровое представление карты для оценки ее количества информации совершенно необязательно, так как большинство элементов растра не несут информации. Общее количество информации равно сумме информации всех содержащихся на карте объектов и их характеристик. Напомним, что в это количество не входит информация ПЛО между объектами местности.

Методы подсчета количества информации для различных знаков, очевидно, будут различны, так как знаки имеют особенности в части метрической и семантической информации.

Метрическая информация определяет местоположение объекта на карте (местности): для протяженных объектов это координаты характерных точек осевой линии или контура, для внемасштабных условных знаков и подписей это координаты привязочных точек и ориентация. Характерными точками осевых линий и контура условимся называть концы элементарных отрезков, аппроксимирующих этот контур (линию) с заданной точностью. Элементарный отрезок — прямая конечной длины $(\xi/, \xi L-n) > y$ у которой концевые точки принадлежат контуру K , а все остальные точки в интервале $(\xi/, \xi L-n)$ либо принадлежат также контуру K , либо расположены от него на расстоянии, меньшем наперед заданной величины ϵ , так $|b| < \epsilon$, где b — расстояние между концевыми точками.

Процесс выделения характерных точек, как и всякое дискретное отображение непрерывного объекта, не является однозначным. Следовательно, для одного и того же контура может существовать несколько подмножеств характерных точек, отвечающих сформулированным выше требованиям. Поскольку криволинейный контур может быть аппроксимирован таким подмножеством, поскольку содержащееся в нем количество метрической информации можно заменить количеством информации набора характерных точек.

Координаты привязочных точек внемасштабных условных знаков и подписей, а также их ориентация в определении не нуждаются.

Семантическая информация определяет тип объекта и его характеристики (вид условного знака, ширину, высоту, цвет и т. д.), а также содержание подписей.

Используя ранее изложенные основы теории информации и приведенные выше данные, дадим математическое выражение определения количества метрической и семантической условно-знаковой цифровой картографической информации (УЗ ЦКИ). Прежде всего дадим математическое описание метрической информации карты как наиболее емкой и сложной ее части.

Пусть осевая линия или контур объекта ξ . аппроксимированы ломаной линией с характерными точками $(o, u, \dots, o_n$ - Энтропия ее:

$$H(u) = H(u_o) + H(u, / u_o) + H(u_1 / u_o u_1) + \dots + H(u_n / u_o + u_n -), \quad (4.23)$$

Положение точки ξU , относительно точки ξ / i_1 однозначно определяются азимутом L , и длиной отрезка $/$, соединяющего эти точки, т. е.

$$M(\cdot) = \mathbf{f}_4$$

где l — средняя длина элементарного отрезка; k — средняя плотность точек.

$$M(\log i) = \log \left| \frac{a}{a + 0.43} \right|^{a_{-0.21}} \quad \text{— абсолютная погрешность такой эмпи-}$$

лирической формулы не превышает 0,03 ($1 < a < 11$).

Таким образом энтропия H (/) для элементарных отрезков:

Энтропия H (Л) для азимутов:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i = -\log_2 \left(\sum_{i=1}^n p_i^2 \right) = -\log_2 \left(\frac{1}{n} \right) = \log_2 n.$$

При этом для горизонталей:

$$-M[\log/(J)] = \log [2\pi/o(C) l_{\sim KR}] \ll \log 1,85J;$$

для контуров:

$$-M [\log f(A)] = \log n/2\pi\mathcal{H} \text{ or.}$$

Если взять $\&A = A1/1$, то

$$-M(\log A\Gamma) = \log \frac{T}{D} a - 0,21 + 0,43$$

Следовательно, для горизонталей:

$$H(u, u, -) = H(I) + H(A) = \log [1,85 \text{ И}](a)$$

а для остальных контуров

$$H(u, /u, ^) = H\{1\} + H(A) = \{0\% \quad \pi/2\pi 7 \text{ r})\}(\text{a}) \quad |>$$

где

$$\Gamma^a / a \rightarrow 0,43 \cdot a^{-2}$$

может быть определена по таблице.

Метрическая информация начальной точки контура $H \{1/0\}$ вычисляется аналогично метрической информации привязочной точки немасштабного условного знака. Поэтому соответствующий член формулы (4.23) может быть опущен. Остальные члены $H \{NIA \cdot u, \cdot\}$ в силу своего малого влияния могут быть заменены на $H \{L, L/|\_|\}$. Если длина горизонтали $\mathcal{C}$ равна $\mathcal{H}$, а средняя плотность точек $AG = 1/|\_|\}$, то из формулы (4.23) можно получить:

$$Y(0) = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \right) \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{1}{1,85} \right) \ln^2(a) \right\}$$

$H(L_i) = \log_{256} U_p(a) \cdot$ для остальных контуров.

Для карт и планов масштабов от 1:1000 до 1:50 000 экспериментально установлено:

$$\log_{10} \left(\frac{M}{1000} \right) \cdot \left(\frac{1}{M} \right)^{0.55} \cdot H_{1000}$$

где M — знаменатель масштаба, деленный на 1000.

Таким образом, количество информации в битах будет:
для горизонталей:

$$DL_i \approx 1,85 \cdot 10^5 \cdot (M + 9,5) \quad (\text{бит})$$

и для других контуров:

$$H_{\text{ад}} \approx 10^8 \cdot \left(\frac{1}{M} \right)^{0.55} \cdot H_{1000} \quad (\text{бит})$$

Информация, содержащаяся в привязочной точке состоит из информации, заключенной в каждой ее координате. Таким образом, для всех привязочных точек энтропия $H(C?)$ будет равна энтропии их координат:

$$H(C?) = H_y$$

Для подсчета семантической информации прежде всего разбирают содержание карты по ее составным элементам. Затем в пределах элемента подсчитывают частоту (вероятность) появления каждого условного знака, по ним определяют энтропию одного знака и информацию каждого из них. Например, семантическая информация о населенных пунктах (НП) может состоять из трех независимых компонент: 5) — количество жителей; — тип НП; 5з — административный статус. Энтропия каждой компоненты информации о населенных пунктах будет:

$$H(8_K) = - \sum_{k=1}^K A_k \log_2 P_k$$

Энтропия всех составляющих компонент семантической информации условного знака населенного пункта будет равна:

$$H(5) = - \sum_{k=1}^3 H(B_k) \quad \text{бит/элемент.}$$

В основу вычисления энтропии, например, подписей могут быть положены статистические данные о вероятности появления всех символов алфавита на карте:

$$H = - \sum_{m=1}^M P_m \log_2 P_m$$

где m — длина алфавита; P_m — вероятность получения каждого символа.

Умножая энтропию символа на количество символов в подписи, получим количество информации этой подписи. Аналогично находится семантическая информация любых других элементов содержания карт.

Общее количество метрической и семантической условно-знаковой цифровой картографической информации, например, на топографических, наиболее изученных в этом отношении, картах может составлять от 2-х до 5—7 миллионов бит.

Количественный анализ информационных потоков крайне необходим при определении оптимального состава технических и программных средств при цифровании и обработке картографической информации, при разработке информационно-логической структуры банка картографических данных, а также в процессе решения тех или иных задач потребителями цифровых карт.

Объективная количественная оценка условно-знаковой цифровой картографической информации открывает реальную перспективу решения проблемы картографической генерализации при создании новых, как цифровых так и традиционных, карт автоматическим путем. Необходимо отметить, что полная автоматизация процессов картографической генерализации зависит от разработки мощных матрично-ассоциативных ЭВМ, «интеллектуальных» графических терминалов и программного обеспечения, позволяющего формализовать самые разнообразные виды пространственно-логических отношений объектов местности.

Развитие методов количественной оценки условно-знаковой картографической информации тесно связано с развитием теории и практики автоматического распознавания графических образов, что является также одним из основных факторов повышения степени автоматизации картосоставительских работ.

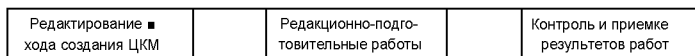
4.3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ КАРТ И ПЛАНОВ

4.3.1. Редакционные работы

Создание цифровых карт и планов местности по картографическим материалам можно разбить на четыре основных технологических этапа (рис. 64):

- I редакционные работы;
- подготовка исходных картографических материалов (ИКМ) к цифрованию;
- преобразование исходных картографических материалов в цифровую форму;
- обработка цифровой картографической информации (ЦКИ) и формирование номенклатурного листа цифровой карты (плана) местности (ЦКМ).

Редакционные работы ведутся на всех этапах создания цифровых карт и включают:



Систематизация исходных
картографических материалов

Изучение физико-
географических
особенностей района

1
Разработка редакционных и ре*
дакционно-технических указаний.
Подготовке исполнителей

Исходные картографические материалы (ИКМ)

X
Издательские оригина-
лы или их дубликаты,
микрофильмы и Т.Д.

I
Составительские ори-
гиналы, полевые бреть
оны, схемы, таблицы

Тиражные оттиски
карт и планов

Справочные
материалы

-4 Обновление исходных картографических материалов

[ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ (ИКМ) К ЦИФРОВАНИЮ]



I
Изготовление оригиналов слу-
жебной информации (ОСИ) и
ведомостей кодирования (ВК)

Приемка и исправление
служебных документов
(ОСЦВЮ)

[ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИСХОДНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ЦИФРОВУЮ ФОРМУ]

I
Создание паратных ммсиаа цифровой
метрической и семантической информации

Получение контрольных графических копий
и листинга семантической информации

I
Контроль и испревление результатов цифрования. Получение
контрольных графических копий исправленных объектов

" : I

ОБРАБОТКА ЦИФРОВОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ
(ЦКИ) И ФОРМИРОВАНИЕ НОМЕНКЛАТУРНОГО ЛИСТА ЦКМ

Сводку сшив-
ку нарезка
ЦКИ

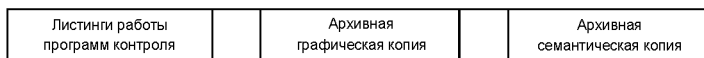
Слияние метри-
ческой и семан-
тической ЦКИ

Сжатие ЦКИ и
формирование
номенклатур*
ного листа ЦКМ

Получение архив-
ных графиче-
ских и семанти-
ческих копий

Учет деформа-
ции и транс-
формирование

I
[приемка ОТК номенклатурного листа ЦКМ]



Тиражирование ЦКМ. Материалы, передаваемые в информационный фонд



редакционно-подготовительные работы;

редактирование в процессе подготовки исходных картографических материалов к цифрованию, преобразование картографической информации в цифровую форму, обработку цифровой картографической информации и формирование номенклатурного листа ЦКМ;

проверку и приемку законченных видов работ и готовой продукции.

Редактирование должно обеспечивать:

- высокое качество ЦКМ;
- экономичность технологии;
- правильное понимание и четкое выполнение всеми исполнителями, участвующими в создании ЦКМ, требований редакционно-технических указаний;
- единый подход к отбору объектов местности и их правильную подготовку к цифрованию.

Редактирование осуществляют редакторы центральных учреждений, выполняющих комплексные работы по созданию ЦКМ. Редакторы центральных учреждений производят анализ и оценку картографических материалов, отрабатывают редакционные указания и осуществляют контроль создания ЦКМ на предприятиях. В результате анализа и оценки картматериалов устанавливается:

- обеспеченность района картами (планами);
- точность, современность и полнота содержания имеющихся карт (планов);
- наличие более современных картографических материалов, объем и характер изменений, вносимых этими материалами в содержание карт и планов.

По результатам изучения изготавливается схема исходных картографических материалов с рекомендациями по их использованию и краткая характеристика района создания ЦКМ.

В редакционных указаниях центральных организаций отражаются:

- краткая характеристика предстоящих работ и района создания ЦКМ;
- характеристика картографических и справочных материалов, рекомендации по их использованию и обновлению;
- порядок сводки ЦКМ, создаваемых разными предприятиями.

Редакторы предприятий на основе изучения задания, редакционных указаний, исходных картографических материалов и физико-географических особенностей района создания ЦКМ отрабатывают редакционно-технические указания по изготовлению ЦКМ, готовят исполнителей к выполнению задания, контролируют их работу и качество продукции на всем протяжении создания цифровых карт местности.

К редакционно-подготовительным работам относятся:

- сбор и систематизация картографических и справочных материалов, необходимых для создания ЦКМ;

Рис. 64. Общая технологическая схема создания цифровых карт и планов

изучение физико-географических особенностей района создания ЦКМ и имеющихся картографических материалов;

отработка редакционных и редакционно-технических указаний, а также образцового листа на район создания ЦКМ;

подготовка исполнителей к выполнению работ.

Сбор и систематизацию исходных картографических материалов и справочных данных, необходимых для создания ЦКМ, проводят заблаговременно, до начала отработки редакционных указаний.

В качестве исходных картографических материалов используют издательские, составительские оригиналы карт и планов. При отсутствии оригиналов (их копий) карт используют тиражные оттиски, микрофильмы карт, а также различные полевые графические материалы или составительские оригиналы карт, получаемые фотограмметрическим путем, и материалы, содержащие дополнительные сведения о характеристиках объектов.

По точности, достоверности и полноте отображения состояния местности все исходные картографические материалы должны отвечать требованиям, предъявляемым к традиционным картам и планам.

Изучение исходных картографических материалов на предприятиях, непосредственно занимающихся созданием цифровых карт местности, выполняется с целью выявления особенностей их содержания и оформления, а также физико-географических условий местности, которые необходимо учитывать при подготовке к цифрованию.

При этом устанавливают;

современность исходных картографических материалов;

полноту и подробность отображения элементов и объектов местности, включаемых в ЦКМ;

наличие сводки с соседними оригиналами по всем элементам и объектам местности, подготавливаемым к цифрованию;

наличие данных для заполнения формуляра ЦКМ;

наличие необходимых количественных и качественных характеристик объектов местности;

элементы и объекты местности, наиболее характерные для данного района, на которые следует обратить внимание при подготовке и в процессе цифрования;

наличие элементов и объектов местности, типичных для данного района.

Данные, полученные в результате изучения картографических материалов и физико-географических особенностей, используют при отработке редакционно-технических указаний на район создания ЦКМ.

Редакционно-технические указания, разработанные редактором предприятия на основании изучения редакционных указаний (заданий), являются руководящим документом для исполнителей, выполняющих работы по созданию цифровых карт. Указания должны быть краткими, конкретными и разработаны до начала работ по подготовке картографических материалов к цифрованию. В них излагают:

краткую характеристику предстоящих работ;

характеристику района создания цифровых карт местности с освещением в ней основных черт и особенностей местности, определяющих содержание создаваемых ЦКМ;

характеристику исходных картографических материалов и качественную оценку с выводом о степени их использования;

указания по заполнению формуляра ЦКМ;

рекомендации по подготовке исходных данных для преобразования метрической информации в задаваемую систему координат и учета деформации исходного картографического материала;

особенности изготовления и использования специальных оригиналов;

особенности подготовки и цифрования каждого из элементов содержания карт (сегментов);

порядок изготовления оригиналов служебной информации с учетом использования для цифрования элементов содержания расчлененных и совмещенных оригиналов (диапозитивов);

количество изготавливаемых оригиналов служебной информации;

указания по использованию оригинала изменений;

критерии отбора элементов и объектов местности, а также степень их обобщения при цифровании;

особенности подготовки к цифрованию объектов местности, порядок использования их количественных и качественных характеристик, имеющихся на исходном картографическом материале и в справочных данных;

указания по заполнению таблицы исходных данных формуляра и ведомостей кодирования;

порядок сводки оригиналов служебной информации и ведомостей кодирования;

указания по контролю качества и приемке законченных этапов (видов) работ и готовой продукции.

В дополнение к текстовой части редакционно-технических указаний составляют схему исходных картографических материалов с указанием их характеристик (современность, высота сечения рельефа горизонталями, наличие сводок и т. д.), список имеющихся дополнительных материалов и рекомендации по их использованию, а также приводят информацию об особенностях дополнительных материалов.

Подготовка исполнителей к выполнению работ является одним из важных условий высокого качества создаваемых ЦКМ и должна обеспечивать правильное и единообразное понимание требований редакционно-технических указаний по подготовке исходных картографических материалов к цифрованию.

Основными методами подготовки исполнителей является проведение с ними инструкторско-методических занятий, на которых ведущий редактор района на конкретных примерах разъясняет и показывает особенности подготовки к цифрованию и цифрования картографических материалов. В дальнейшем составители самостоятельно изучают редакционные документы и, включая в их план работ листы карт, уясняют особенности их содержания и оформления, выписывают из редакционно-техни-

ческих указаний в формуляр цифровой карты местности установки, касающиеся определенных номенклатурных листов.

Редактор предприятия обязан проверить знания исполнителей, правильность и полноту записей в формуляре ЦКМ, подписать их и дать разрешение на изготовление оригиналов служебной информации и заполнение ведомостей кодирования.

Подготовка исходных картографических материалов к цифрованию заключается в изготовлении специальных графических (оригиналы служебной информации) и текстово-табличных (формуляр ЦКМ, ведомости кодирования) документов, регламентирующих работу операторов в ходе цифрования метрической и семантической информации.

4.3.2. Цифрование, обработка и контроль качества цифровых карт

На этапе преобразования картографической информации в цифровую форму выполняются:

- автоматизированное отслеживание (считывание) метрической информации и преобразование ее в цифровую форму;

- создание массивов семантической информации и их контроль;

- получение контрольных графических копий, которые являются графическим отображением цифровой информации о точечных, линейных и площадных объектах местности, включаемых в состав ЦКМ, и служат для контроля полноты и точности цифрования метрической информации и правильности выбора направления отслеживания линейных и площадных объектов;

- исправление ошибочной цифровой картографической информации.

Контрольная графическая копия может быть получена непосредственно и в ходе цифрования или по его окончании.

На этапе обработки цифровой картографической информации и формирования номенклатурного листа ЦКМ выполняются:

- слияние метрической и семантической цифровой информации;

- сглаживание и сжатие метрической цифровой информации;

- учет деформации исходных картографических материалов и трансформирование информации в заданную систему координат;

- автоматическая сводка соседних номенклатурных листов (участков) ЦКМ;

- автоматическая нарезка цифровой картографической информации, считанной с тиражных оттисков иностранного издания, и ее сшивка;

- преобразование информации в структуру хранения;

- расчет статистических характеристик;

- нарезка цифровой информации в рамки номенклатурных листов ЦКМ.

На данном технологическом этапе осуществляются программный контроль замыкания и выхода объектов на рамку листа карты, взаимного соответствия метрики и семантики и правильности структур представления информации о данном классе объектов, а также исправление

обнаруженных ошибок. Кроме того формируется массив цифровых данных для получения архивной графической копии и производится вывод архивной семантической копии. Архивная графическая копия является средством контроля качества обработки метрической (условно-знаковой) информации и полноты ее представления в ЦКМ. Архивная семантическая копия является средством визуального контроля качества выходной семантической (смысловой) информации. Наряду с этим на данном этапе реализуются программные методы логического контроля качества цифровой картографической информации.

Использование программных средств контроля позволяет повысить как его быстродействие, так и надежность. Теоретической основой создания программных средств контроля является использование избыточности цифровой картографической информации (ЦКИ), выделение и формализация априорной информации об особенностях содержания и формы представления цифровых карт.

Набор контрольных процедур определяется двумя противоречивыми требованиями: он должен быть наиболее полным и должен обеспечивать максимальную эффективность функционирования, т. е. должен выполняться за минимальное время при существующих ограничениях на ресурсы ЭВМ. Поэтому номенклатура контрольных функций, выполняемых автоматически, основана на принятии компромиссного решения.

Состав контрольных процедур, выполняемых программными средствами, следующий:

- проверка структуры ЦКИ;

- контроль полноты ЦКИ;

- контроль содержания: метрической информации, семантической информации, служебно-справочной информации, рельефа.

Программные средства контроля обеспечивают обнаружение, регистрацию и исправление ошибок ЦКИ.

Обнаружение ошибок полноты и структуры ЦКИ осуществляется с помощью ее считывания с внешних запоминающих устройств и сопоставления со справочными данными. Для обнаружения ошибок содержания метрической информации используется следующая априорная информация:

- боковые стороны и диагонали рамки должны быть попарно равны между собой. Длины сторон и диагоналей рамки, ее площадь должны быть равны соответствующим значениям, записанным в паспорте ЦКМ;

- все объекты карты должны располагаться внутри рамки, а выходы их на рамку в семантической и метрической информации должны быть согласованы;

- объекты, обозначенные в семантической информации как замкнутые или площадные, должны иметь одинаковые координаты начальной и конечной точки;

- направление цифрования метрической информации выбирают таким, чтоб слева от контура находился объект с большей высотой;

- объем метрической информации должен соответствовать характеру локализации объекта;

каждый подобъект должен быть расположен внутри своего объекта, недопустимы пересечения контуров подобъектов и самопересечения контуров объектов;

в пределах одного элемента содержания не может быть контуров, совпадающих полностью или частично в начале или конце метрической информации;

рельеф, изображаемый горизонталями и отметками высот, носит непрерывный характер, каждой береговой линии, имеющей абсолютную высоту, должна соответствовать горизонталь с аналогичной высотой. При контроле семантической ЦКИ априорная информация сконцентрирована в библиотеке кодов и характеристик, в соответствии с которой устанавливается допустимость того или иного кода для обрабатываемого элемента содержания, допустимость характера локализации, кодов характеристик и их значений для обрабатываемого кода, наличие обязательных характеристик. Обнаружение ошибок в служебно-справочной информации также основано на проверке допустимости значений характеристик, наличия обязательных полей и перевычислении некоторых из них.

Форма регистрации ошибок определяется их характером. Ошибки регистрируются как на экране видеотерминала, так и в соответствующих протоколах и файлах на МД.

Программные средства контроля выполняют коррекцию тех дефектов ЦКИ, ликвидация которых не может вызвать неоднозначного толкования.

Программный контроль может осуществляться как в процессе выполнения основных технологических операций, так и в виде специализированных программ. При обработке ЦКИ автоматически выполняется контроль ее структуры представления, наличия необходимых файлов, форматов ввода управляющих воздействий оператора, контроль готовности устройств и т. п. Но содержание ЦКИ при этом не оценивается ввиду трудоемкости этой процедуры, которая не может быть выполнена в режиме реального времени, не снижая быстродействия основного процесса. Поэтому основной формой реализации содержательного контроля является специализированный комплекс программ.

Следует отметить, что повышение оперативности контроля путем приближения контрольных операций к контролируемым процессам способствует сокращению маршрутов ошибочной информации и, следовательно, повышению производительности технологического процесса.

Применение программных средств контроля ЦКИ не исключает, а облегчает использование графических и семантических копий для обнаружения ошибок, так как они значительно сокращают количество незначительных ошибок, которые корректируются автоматически и способствуют локализации и идентификации ошибок обнаруженных программно.

4.4. ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ К ЦИФРОВАНИЮ

4.4.1. Изготовление оригиналов служебной информации

В настоящее время наиболее распространенным и достаточно хорошо проверенным методом цифрования картографических материалов в практике является метод автоматической регистрации координат линий (точек) картографического изображения, отслеживаемого вручную оператором на специальных устройствах — цифрователях (кодировщиках). Этот метод обязывает строго выдерживать последовательности цифрования элементов содержания карты, очередность ввода числовых значений кодов объектов и их характеристик, выдерживать установленное направление цифрования линейных объектов и т. д. Все это требует специальной подготовки исходных картографических материалов до начала процесса цифрования.

Подготовка исходных картографических материалов (ИКМ) — обеспечение необходимой последовательности и повышения эффективности работ при цифровании и обработке метрической, семантической и служебно-справочной информации. Для этого на протяжении всего процесса создания ЦКМ ведут формуляр на каждый номенклатурный лист цифровой карты. В формуляр вносят редакционно-технические указания применительно к создаваемой ЦКМ, дают схему расположения исходных картографических материалов, данные для преобразования исходной информации в задаваемую систему координат и учета деформации ИКМ. Указывают также размеры и точностные параметры исходных картографических материалов.

Однако главной работой до цифрования ИКМ является изготовление квалифицированными специалистами оригиналов служебной информации (ОСИ) и ведомостей кодирования (ВК). Оригиналы служебной информации предназначают для обеспечения определенной последовательности в работе оператора при цифровании исходного картографического материала. Количество изготавливаемых оригиналов служебной информации для каждого номенклатурного листа ЦКМ (ЦПМ) может быть различным. Как правило, при подготовке к цифрованию готовят ОСИ на следующие совокупности объектов карты — сегменты:

сегмент 1 — элементы математической и планово-высотной основ;

сегмент 2 — рельеф суши. Оригиналы служебной информации готовятся на одной или двух основах. При подготовке на двух основах первая предназначается для цифрования горизонталей, а вторая — форм рельефа, не выражающихся горизонталями;

сегмент 3 — гидрография и гидротехнические сооружения;

сегмент 4 — населенные пункты;

сегмент 5 — промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты;

сегмент 6 — дорожная сеть и дорожные сооружения;

сегмент 7 — растительный покров и грунты;

сегмент 8 — границы, ограждения и отдельные природные явления.

На несложные по содержанию листы карт и планов рекомендуют объединять несколько сегментов (разными цветами) в один ОСИ.

Ведомости кодирования (ВК) предназначают для числовой записи кодов семантической информации об объектах с целью ее цифрования и последующей обработки совместно с метрической.

В формуляр вносят среднюю квадратическую ошибку взаимного положения твердых контуров в плане, вычисляемую по формуле

$$m_{в.п.} = \pm \sqrt{2(m_{и.к.м.}^2 + m_{ц.о.}^2)},$$

где $m_{и.к.м.}$ — средняя квадратическая ошибка исходного картографического материала; $m_{ц.о.}$ — средняя квадратическая ошибка цифрования и обработки картографической информации.

Ошибку ИКМ определяют на основании руководящих документов, в соответствии с которыми он был изготовлен. Средняя ошибка ($M_{ср.}$) связана со средней квадратической следующим соотношением

$$m = 1,25 M_{ср.}$$

Среднюю квадратическую ошибку цифрования и обработки, в свою очередь, вычисляют по формуле

$$m_{ц.о.} = \pm \sqrt{m_{оп}^2 + m_{т}^2 + m_{с}^2 + m_{д}^2}$$

где $m_{оп}$ — средняя квадратическая ошибка, вносимая оператором при цифровании; $m_{т}$ — средняя квадратическая ошибка технических средств цифрования; $m_{с}$ — средняя квадратическая ошибка сжатия метрики ЦКМ; $m_{д}$ — средняя квадратическая ошибка учета деформации исходного картографического материала.

Исходными данными для преобразования метрической информации в заданную систему координат и учета деформации являются прямоугольные и геодезические координаты опорных точек.

Для карт на малодеформирующихся основах (пленках, пластиках) общую деформацию учитывают одновременно с преобразованием метрической информации в заданную систему координат с использованием прямоугольных координат вершин углов рамки.

Вершины углов рамки карты, плана нумеруют в формуляре на схеме и на ОСИ сегмента 1 в последовательности: юго-западный, северо-западный, северо-восточный, юго-восточный углы.

Для учета локальной деформации тиражных оттисков выбирают 20—25 опорных точек на каждом листе. На участках с большой деформацией плотность опорных точек увеличивается.

Обязательным правилом выбора опорных точек для учета локальной деформации является представление их в виде матрицы, т. е. такое их размещение на листе карты, когда точки располагаются по столбцам и строкам. Крайние столбцы и строки матрицы при этом должны располагаться на внутренней рамке листа карты.

Опорные точки для учета локальной деформации обводят на оригинале служебной информации, предназначенном для подготовки к цифрованию объектов математической основы, кружками диаметром 4—5 мм и подписывают.

В качестве опорных точек для учета деформации картографического материала можно использовать точки пересечения линий километровой сетки. Прямоугольные координаты для точек записывают в таблицы исходных данных формуляра. При этом точкам, расположенным на рамке карты, вместо неизвестной координаты дается ссылка на ту сторону рамки, к которой эта точка принадлежит: юг, север, запад или восток.

При использовании для учета деформации не только вершин углов рамки листа, но и других опорных точек на схеме в формуляре строят сеть неперекрывающихся треугольников, вершинами которых являются опорные точки. Если ЦКМ расположена на двух и более листах исходных карт, то точки для учета локальной деформации выбирают на северной и южной рамках ЦКМ в местах пересечения линий сетки меридианов и параллелей. При расположении номенклатурного листа ЦКМ в пределах одного листа карты точки для учета деформации выбирают во всех местах пересечения линий меридианов и параллелей.

Точки, выбранные для учета деформации, отмечают на исходном картографическом материале штрихами синего цвета и мягким карандашом подписывают их номера.

Если подготовку к цифрованию выполняют в рамках исходного картографического материала с последующей программной нарезкой на номенклатурные листы ЦКМ, то точки для учета деформации выбирают в углах рамки и в местах пересечений сетки меридианов и параллелей.

Если исходный картографический материал имеет размеры рамок более 15' по долготе, то для учета деформации обязательно должны быть использованы также и точки излома сторон рамки.

Оригиналы служебной информации (ОСИ) изготавливают на чертёжном пластике тушью, обеспечивающей надежное закрепление на нем рисунка. Прежде всего наносят углы внутренней рамки листа карты, которые отмечают крестами размером 10 мм с толщиной линий 0,1 мм. В середине крестов необходимо предусмотреть разрыв, обеспечивающий точное наведение визирного устройства цифрователя на вершины углов внутренней рамки исходного картографического материала.

Все объекты карты и плана делят по характеру локализации на три группы: точечные, линейные и площадные.

Цифрование площадных объектов проводят по их контурам. Если изображение площадного объекта пересекается рамкой листа карты, то за его границу принимают отрезок рамки на этом участке. Площадные объекты, изображенные на карте без оконтуривания, цифруют по линии, которую наносят на оригинал служебной информации синим цветом по внешнему контуру рисунка условных знаков этих объектов. На оригинал служебной информации также переносят объекты, относящиеся к подготавливаемому сегменту, но изображенные на других

оригиналах (например, соляные разработки в сегменте 5, изображаемые на оригинале гидрографии).

Точечные объекты выделяют на оригиналах служебной информации окружностями синего цвета диаметром 2—3 мм с разрывом в месте подписи высоты. Выделенные точечные объекты нумеруют, начиная с северо-западного угла листа карты слева направо и сверху вниз вдоль линии километровой сетки. Номера объектов подписывают черным цветом.

Объект исходной карты, состоящий из участков с различными характеристиками, при подготовке разделяют на объекты местности так, чтобы в пределах каждого из них характеристики были постоянными. В качестве границы между такими объектами принимают середину отрезка, заключенного между подписями, содержащими различные характеристики.

4.4.2. Подготовка к цифрованию линейных и площадных объектов карты

На данном этапе выполняют следующие виды работ:

- определяют направление цифрования подготавливаемого объекта, наносят и нумеруют точку начала цифрования (для площадных и замкнутых линейных объектов точка начала цифрования является одновременно точкой окончания цифрования);

- в местах, где направление цифрования не может быть однозначно установлено оператором (например, замкнутый объект), рядом с начальной точкой на оригинал служебной информации наносят стрелку, указывающую это направление;

- проводят прослеживание объекта (контура площадного объекта) на исходном картографическом материале и места разрывов и сложных пересечений изображения объекта поднимают на оригинале служебной информации синим цветом;

- определяют и наносят точку конца цифрования объекта.

Основным требованием к выбору последовательности нумерации объектов является обеспечение минимальных затрат времени оператором на поиск последующего для цифрования объекта.

Выбор направления цифрования линейных и площадных объектов определяют следующими правилами:

- при прослеживании контура площадного объекта сам объект должен находиться слева;

- начальные точки цифрования площадных и линейных объектов, выходящих на рамку, выбирают на рамке таким образом, чтобы цифрование проводилось от рамки;

- при считывании линейных объектов рельефа (горизонтالي, обрывы, карьеры и т. п.) справа высота земной поверхности должна быть меньше;

- при считывании береговой линии водная поверхность должна находиться справа;

линейные объекты гидрографии (в том числе и временные водостоки) должны цифроваться от истока к устью.

В общем случае система нумерации объектов предусматривает порядок, при котором сначала нумеруют выходящие на рамку и разомкнутые линейные объекты, затем, начиная с северо-западного угла листа карты, слева направо и сверху вниз — замкнутые линейные, не выходящие на рамку площадные и точечные объекты.

В связи с тем, что в технологии изготовления цифровых карт местности предусмотрена возможность дублирования метрической информации для объектов одного или разных сегментов, имеющих одинаковые координатное описание и направление отслеживания, подготовка таких объектов к цифрованию имеет свои особенности. Такие объекты подготавливают только один раз в соответствующем сегменте. Номера объектов, повторяющих метрику подготовленного объекта, дают рядом в скобках зеленым цветом. Если объект, повторяющий метрику, принадлежит другому сегменту и подготавливается на другом оригинале служебной информации, в соответствующем его положении месте зеленым цветом дают только его номер. Изображение объекта, а также его начальная и конечная точки цифрования на данном оригинале не дают. Нумерацию таких объектов проводят в последнюю очередь.

Под южной стороной рамки оригинала служебной информации записывают черным цветом количество пронумерованных объектов и зеленым цветом в скобках — номер последнего объекта с повторяющейся метрикой.

Оригиналы служебной информации должны быть сведены по всем сторонам рамки с оригиналами служебной информации смежных листов. В этом случае на полях по сторонам рамки указывают с каким материалом проведена сводка, его номенклатуру, дату выполнения сводки и подпись исполнителя.

Материалами для сводки служат смежные листы ИКМ, оригиналы изменений (если они использовались при подготовке исходных картографических материалов к цифрованию), оригиналы служебной информации и ведомости кодирования. При невозможности получить эти материалы (смежные листы подготавливаются к цифрованию на другом предприятии) для сводки используют выкопировки, изготавливаемые вдоль сторон рамки картографического материала или их фотокопии.

Сводка должна обеспечивать правильный выбор направления цифрования линейных и площадных объектов, совмещение границ площадных объектов, не имеющих четкого контура на карте и выходящих на рамку, а также согласованность их семантики.

Исполнитель, выполнивший подготовку карты к цифрованию, отвечает за правильность сводки по всем сторонам рамки. Как правило, сам он проводит сводку по южной и восточной сторонам рамки. Для сводки по северной и западной сторонам рамки материалы передают исполнителям смежных листов. Если оригиналы служебной информации и ведомости кодирования на смежные листы еще не подготовлены, то сводку проводят с исходным картографическим материалом. Если

масштаб соседних листов карты отличается от масштаба сводимого листа, то для сводки с соседних листов (а при необходимости и с оригиналов изменений) изготавливают фотокопии в масштабе сводимой карты.

Сводка считается свободной, если создание цифровой карты местности на смежный лист не проводят.

Выкопировки, высылаемые в другие предприятия, должны содержать всю необходимую для сводки информацию. Как правило их изготавливают на каждый сегмент. На несложные по содержанию листы рекомендуют изготавливать одну выкопировку на несколько сегментов, если они подготовлены на одном оригинале служебной информации. Служебную информацию, относящуюся к различным сегментам, выделяют цветом.

На выкопировке показывают: сторону рамки листа карты, по которой проводят сводку; номенклатуры сводимых листов карты; номер сегмента (сегментов); геодезические координаты вершин углов рамки; выходы линии, делящей исходный картографический материал на участки, соответствующие масштабу ЦКМ. При необходимости могут вычерчивать 3—5 одновременных выходов прямоугольной сетки, расположенных равномерно вдоль смежной рамки.

На выкопировке в полосе шириной 2 см условными знаками, применяемыми на карте, показывают объекты, включаемые в цифровую карту местности, и указывают направление их отслеживания.

При нанесении площадных объектов используют фоновую окраску. Для отдельных объектов (растительный покров, автомобильные дороги и т. п.) допускают применение упрощенных условных знаков, которые поясняются в зарамочном оформлении. За рамкой у выхода каждого объекта дают его семантическую информацию, которая необходима для сводки ведомостей кодирования.

Выкопировки для сводки изготавливают и высылают в соответствующие предприятия сразу после подготовки исходных картографических материалов к цифрованию. Выкопировки, полученные из других предприятий, проверяют и результаты проверки сообщают этим предприятиям.

4.4.3. Разрядка горизонталей. Обновление исходной информации

Разрядку горизонталей при цифровании целесообразно применять на листах карт с высокогорным, горным и предгорным рельефом. Для равнинных, пересеченных и всхолмленных районов с преобладающими углами наклона до 6° разрядку допускают только на отдельных крутых склонах больших долин.

К крутым склонам относят склоны, которые изображают сливающимися горизонталями (заложения менее 0,3 мм), близко отстоящими горизонталями (заложения 0,3 мм — 1,5 мм), а также условным знаком скал (осыпей).

Для листов карт, на которых заложения между горизонталями на склонах составляют 1,5 мм и более, обязательно сплошное цифрование всех горизонталей.

Разрядка горизонталей предполагает цифрование горизонталей листа карты только на равномерных склонах.

Все горизонтالي или их участки, которые подлежат цифрованию с использованием разрядки, называют опорными. О п о р н ы е г о р и з о н т а л и являются границами между двумя участками равномерных склонов, имеющих разную крутизну, т. е. отражают перегибы склонов и формы рельефа.

В зависимости от характера рельефа разрядка горизонталей может осуществляться двумя способами: регулярно и нерегулярно.

Регулярная разрядка заключается в цифровании опорных горизонталей через определенную постоянную величину сечения.

Нерегулярная разрядка заключается в цифровании опорных горизонталей только на перегибах склонов. Оба способа могут применяться самостоятельно, а также совместно на одном листе, как в разных ареалах, так и в сочетании — в одном ареале.

Слабопересеченный рельеф в основном соответствует равнинному пересеченному и всхолмленному рельефу с преобладающими углами наклона до 6° , среднепересеченный рельеф — предгорному и горному (низкогорному) рельефу с абсолютными высотами менее 1000 м, сильнопересеченный рельеф включает среднегорья и высокогорья с абсолютными высотами свыше 1000 м.

В зависимости от типа рельефа рекомендуют следующие способы разрядки.

На листах карт с предгорным и низкогорным (среднепересеченным) рельефом целесообразно применять нерегулярную разрядку горизонталей. Регулярную разрядку горизонталей в этом типе рельефа применяют только на участках скал и крутых склонов с заложениями менее 0,3 мм. При этом, как правило, подлежат цифрованию утолщенные горизонтали.

На листах карт с высокогорным и среднегорным (сильнопересеченным) рельефом целесообразно проводить регулярную разрядку с дополнительным выбором отдельных опорных горизонталей на вершинах, в долинах и на характерных перегибах склонов. В таком сочетании допустимо цифрование через 1, 2, 3 и 4 горизонтали, при этом наиболее удобно цифровать утолщенные горизонтали и опорные на перегибах склонов.

На крутых склонах больших долин в равнинных, пересеченных и всхолмленных районах с преобладающими углами наклона до 6° возможно применение как регулярной, так и нерегулярной разрядки в зависимости от конкретной формы склона: для склонов, однородных по крутизне, используют регулярную разрядку, для ступенчатых склонов — нерегулярную разрядку.

На участках скал (осыпей) цифруют только утолщенные горизонтали. В зависимости от величины заложения ($l' \geq 0,5$ мм) могут проводиться все утолщенные горизонтали или через одну (при $l' < 0,5$ мм), т. е. с разрядкой.

При разрядке в горных долинах обязательно цифруют опорные горизонтали, отражающие подножие склона, все перегибы ската по днищу долины с неравномерным уклоном, разветвления и повороты долины.

В узких долинах разрядку горизонталей проводят по днищу долины, если величина заложения при равномерном уклоне не более 1,5 см.

В широких долинах с разрядкой по днищу долины цифруют горизонтالي, заложения между которыми при равномерном уклоне не более 0,5 см.

На крупных искусственных формах рельефа (терриконах, отвалах, карьерах) допускают проведение разрядки горизонталей, если относительная высота (глубина) их: более 50 м при высоте сечения рельефа горизонталями 10 м или более 100 м при высоте сечения — 20 м. В таких случаях цифруют горизонтали, определяющие вершину и подножие формы, и все утолщенные горизонтали.

Вдоль рамок листа нерегулярную разрядку горизонталей проводят только на склонах, пересекаемых рамкой под прямым или близким к прямому ($90-60^\circ$) углом. На склонах, пересекаемых рамкой под острым углом (менее 60°), горизонтали цифруют без разрядки.

При подготовке исходного картографического материала к цифрованию рельефа с разрядкой горизонталей предусматривают следующую последовательность работ:

- оценка равномерности склонов, выбор способа разрядки и конкретных опорных горизонталей (в карандаше);

- изготовление оригинала служебной информации;

- контроль оригинала служебной информации и приемка работ.

Оценку равномерности склонов и выбор опорных горизонталей в зависимости от технологии проводят на копии диапозитива рельефа, изготовленной на матированном пластике или пластинке с гравировальным слоем. При этом в качестве справочного материала можно использовать тиражный оттиск топографической карты.

Оценка равномерности склонов включает два этапа. На первом этапе выполняют предварительную визуальную оценку рельефа листа карты, в результате которой выбирают способ разрядки горизонталей: регулярную или нерегулярную. На втором этапе проводят детальную оценку равномерности склонов и намечают конкретные опорные горизонтали.

Для детальной оценки равномерности склонов площадь подготавливаемого к цифрованию номенклатурного листа предварительно делят на шесть равных по площади квадратов (прямоугольников). Сетку квадратов вычерчивают зеленой тушью линиями толщиной 0,15 мм.

Просмотр рельефа листа проводят последовательно по квадратам, начиная с северо-западного угла рамки, слева направо и сверху вниз. Выбираемые опорные горизонтали отмечают в карандаше для последующей нумерации на оригинале служебной информации: начало (точкой), конец (точкой) и направление цифрования (стрелкой у начальной точки). Таким образом составляют схему разрядки горизонталей в карандаше.

При использовании для оценки рельефа копии на гравировальной основе выбранные опорные горизонтали (или участки горизонталей) гравировуют на этом оригинале строго по следу без обобщения. Толщина линии (резца) — 0,1 мм. Отклонение в плане гравированной горизонта-

ли от следа не должно превышать $\pm 0,2$ мм. Просмотр склона при оценке равномерности проводят по линии, перпендикулярной к горизонталям. При ^регулярной разрядке прослеживается последовательно весь пояс между горизонталями, которые будут цифроваться. При нерегулярной разрядке прослеживается весь склон в пределах участка разрядки от самой высокой точки до подножия. На вершине и у подножия обязательно выделяют опорные горизонтالي.

При цифровании в качестве опорных утолщенных горизонталей средний угол наклона (а) можно определять по графику заложений между утолщенными горизонталями, помещаемому в зарамочном оформлении карты. Горизонталь (или их участки), являющиеся границей смены крутизны склона, т. е. изменения величины заложения, исполнитель выделяет как опорные. При регулярной разрядке они выделяются только на участке неравномерного склона там, где они будут цифроваться. При наличии на одной горизонтали нескольких участков, целесообразно соединить мелкие участки в один крупный или выделить всю горизонталь как опорную.

При заложениях менее 0,5 мм между утолщенными горизонталями на скалах утолщенные горизонтальи цифруют с разрядкой через одну.

Оригинал служебной информации при разрядке горизонталей можно изготавливать на коричневой копии диапозитива рельефа, на которой в карандаше предварительно составлена схема разрядки горизонталей или на коричневой копии с отгравированной схемой разрядки.

При разрядке нумеруют сначала все цифруемые горизонтальи, пересекающие рамку, а затем, все замкнутые и незамкнутые горизонтальи, цифруемые внутри листа. Нумерацию горизонталей, не пересекающих рамку, начинают с северо-западного угла рамки карты и аналогично подготовке оригинала служебной информации на листы, цифруемые без разрядки горизонталей, проводят последовательно слева направо и сверху вниз в пределах каждого квадрата сетки, нанесенной на оригинал зеленой тушью. Последовательность отработки квадратов — также слева направо от западной до восточной рамки, а затем переход, вновь к западной рамке в ряд квадратов, примыкающий к южной рамке.

Номера, присвоенные опорным горизонталям в пределах квадрата, выписывают около квадрата на полях оригинала служебной информации зеленой тушью.

При подготовке исходного картографического материала к цифрованию с разрядкой горизонталей оригиналы служебной информации обязательно должны быть сведены по всем сторонам рамки с оригиналами служебной информации смежных листов. Сводятся цифруемые горизонтальи одинаковой высоты по плановому положению выходов на рамку и направлению цифрования. Окончательно сводку по рамкам номенклатурного листа проводят и контролируют после завершения нумерации горизонталей на оригинале служебной информации.

Особенностью корректуры является то, что кроме проверки нумерации горизонталей, при разрядке проводят контроль равномерности склонов на участках разрядки и сводок по рамкам.

При этом контроль правильности выбора опорных горизонталей на гравированном оригинале и исправление последнего проводят до его передачи на изготовление светоконии для оригинала служебной информации.

Проверка наличия и последовательности номеров опорных горизонталей, не пересекающих рамку при нерегулярной разрядке, выполняют последовательно по квадратам сетки, нанесенной предварительно. Прослеживание проводят по всей опорной горизонтали от начальной до конечной точки.

При контроле сводки по рамке проверяют совпадения: выходов горизонталей в плане, одноименности их высотной характеристики, направления цифрования каждой горизонтали при переходе через рамку. Смещение планового положения одноименных оцифрованных горизонталей, подходящих к рамке на разных номенклатурных листах ЦКМ, не должно превышать 0,3 мм.

При исправлении замечаний все пропущенные и выделенные дополнительно опорные горизонталы нумеруют на оригинале служебной информации тушью красного цвета, продолжая номера ранее занумерованных горизонталей. Для горизонталей, не выходящих на рамку при нерегулярной разрядке, номера размещают по квадратам сетки последовательно слева направо и сверху вниз. На полях к подписи номеров, относящихся к каждому квадрату, через запятую добавляют красной тушью пропущенные номера. Общее количество пронумерованных горизонталей, подписанное в зарамочном оформлении, исправляют.

Обновление исходной картографической информации выполняется в случае несоответствия ее современному состоянию местности до начала работ по подготовке ИК.М к цифрованию и заключается в создании для каждого листа ЦКМ оригинала изменений. Оригиналы изменений могут изготавливать непосредственно на чистом пластике или на светокониях с основного картографического материала.

Изготовление оригинала изменений на чистом пластике выполняется, если картографическое изображение характеризуется низкой графической нагрузкой и количество изменений не превышает 20—30%.

В некоторых случаях (при наличии достаточного количества тиражных оттисков или по особому указанию) результаты обновления могут быть отражены непосредственно на тиражном оттиске.

На оригинале изменений отображают вновь появившиеся объекты (части объектов), отмечают утраченные, а также дают характеристики объектов, отсутствующие на исходном картографическом материале, но необходимые для создания ЦКМ.

Оригинал изменений изготавливают в рамках исходного картографического материала в применяемых на нем условных знаках и системе мер. На оригинал изменений наносят внутреннюю рамку обновляемого картографического материала, выходы меридианов и параллелей по рамке, а также их пересечения внутри листа карты. Размеры сторон рамки оригинала изменений не должны отличаться от фактических размеров рамки обновляемого листа карты более чем на 0,2 мм.

Над северной стороной рамки оригинала изменений, слева дается подпись «Оригинал изменений», а справа — номенклатура исходного картографического материала. Под южной стороной рамки слева дается

подпись «Изменения внесены с использованием материалов на 19 год», а справа — подписи исполнителей.

Кроме того, в зарамочном оформлении указывается:

средняя квадратическая ошибка (в метрах) взаимного планового положения вновь нанесенных объектов; высота растительного покрова; условные знаки, применяемые на оригинале изменений и отличающиеся от принятых на тиражном оттиске.

Изготовленные оригиналы изменений должны быть сведены по рамке.

При подготовке исходного картографического материала к цифрованию на каждый из оригиналов служебной информации в условных знаках, принятых для оригинала изменений, переносятся все относящиеся к данному оригиналу служебной информации изменения. При наличии несовмещений в углах рамки оригинала служебной информации и оригинала изменений выкопировка изменений на оригинал служебной информации выполняется по участкам в пределах выходов (перекрестий) картографической сетки, наносимых на оригинал служебной информации и имеющих на оригинале изменений. Утраченные объекты, отмеченные на оригинале изменений, к цифрованию не готовят и на оригинале служебной информации перечеркивают крестами красного цвета. Оригиналы служебной информации для сегментов, подвергшихся значительным изменениям, могут готовиться на копиях, полученных с оригинала изменений.

При заполнении формуляра ЦКМ в разделе «Редакционно-технические указания» дают указания об использовании оригинала изменений, и на схеме расположения исходных картографических материалов отмечают его наличие. Указываются данные о современности основных материалов, использованных при подготовке оригинала изменений, записывается средняя квадратическая ошибка взаимного планового положения вновь нанесенных объектов.

4.4.4. Изготовление ведомостей кодирования.

Редактирование и корректура

Ведомость кодирования заполняется, как правило, тем же исполнителем, который готовил оригинал служебной информации.

В ведомости кодирования вносят данные о масштабе исходного картографического материала, номенклатуру листа ЦКМ, а также номер оригинала служебной информации, характеристики объектов которого даются в данной ведомости.

Заполнение ведомостей кодирования проводят в порядке номеров объектов, подписанных на оригинале служебной информации. Номера объектов, имеющих одинаковую семантику (код, характер локализации и другие характеристики), записывают в одной строке.

При заполнении ведомостей кодирования для получения необходимых характеристик наряду с исходным картографическим материалом и

оригиналами служебной информации дополнительно могут использоваться формуляр карты и другие источники (справочники, схемы и т. д.). Коды объектов, характеристик и их значений дают в соответствии с единой системой классификации и кодирования картографической информации. Для линейных объектов, кроме того, записывают признак замкнутости и выхода на рамку.

Для объектов, номера которых на оригинале служебной информации дают зеленым цветом, записывают код признака дублирования метрической информации.

Заполненные, проверенные и подписанные исполнителем ведомости кодирования вместе с исходным картографическим материалом, оригиналами служебной информации и формуляром ЦКМ передают на корректуру. В процессе корректуры ведомостей кодирования проводят полную и тщательную проверку правильности и полноты их заполнения. Особое внимание обращают на правильность записи высотных характеристик объектов. Обнаруженные ошибки отмечают карандашом на полях ведомости и исправляют. При этом ошибочную цифру (запись) зачеркивают и над ней записывают правильное значение. Все исправления заверяют подписью исполнителя.

Редактирование в процессе подготовки исходного картографического материала к цифрованию осуществляют путем постоянного руководства работой исполнителей по изготовлению оригиналов служебной информации, заполнению формуляров цифровых карт, ведомостей кодирования, редакционной проверки изготавливаемых документов, а также проверки качества выполняемых работ. Редактирование должно обеспечивать:

достоверность и полноту данных, записанных в формуляр ЦКМ, ведомости кодирования;

графическую точность изготовления оригиналов служебной информации и их единообразие графическое оформление;

правильный и полный отбор элементов и объектов местности, подготавливаемых к цифрованию;

полное использование всех имеющихся дополнительных материалов;

сводку оригиналов служебной информации и ведомостей кодирования;

одинаковый подход всех исполнителей в вопросах подготовки исходного картографического материала к цифрованию.

В процессе подготовки исходного картографического материала к цифрованию редактор систематически проверяет правильность и качество выполняемых работ, конкретизирует отдельные положения редакционно-технических указаний и в необходимых случаях показывает отдельные приемы и способы выполнения работ.

При проверке изготовленных документов главное внимание обращается на достоверность и полноту данных, включаемых в цифровую карту местности, четкость записей, и качество выполнения графических работ.

При изготовлении ЦКМ каждый законченный процесс (вид работ) должен быть проверен, а готовая продукция — принята с обязательной оценкой ее качества.

Исполнитель по завершении определенного вида работ обязан тщательно проверить ее законченность и качество с тем, чтобы убедиться в соответствии результатов требованиям редакционно-технических указаний на район создания ЦКМ и нормативным документам по технологии их изготовления.

Проверка подготовки к цифрованию исходного картографического материала проводится путем корректуры:

- данных, записанных в таблицы формуляра ЦКМ;
- оригинала служебной информации;
- ведомостей кодирования.

Корректурa является наиболее всесторонним видом проверки законченных работ, выполняется наиболее подготовленными инженерами и заключается в полной и тщательной проверке результатов работ. Особое внимание при этом обращается на выполнение требований по точности, достоверности и полноте содержания, предъявляемых к данным материалам. Выполнение корректуры обязательно сопровождается подписями исполнителей в формуляре цифровой карты.

Откорректированные материалы предъявляют редактору на приемку, во время которой обязательно проверяется:

- комплектность материалов;
- монтаж исходного картографического материала, если он проводился;
- достоверность и полнота данных формуляра цифровой карты,
- оригиналов служебной информации и ведомостей кодирования;
- качество корректуры (контролируется полной или выборочной проверкой материалов).

По результатам приемки подготовленные к цифрованию материалы (оригиналы служебной информации, ведомости кодирования, формуляр ЦКМ) могут быть возвращены исполнителям на исправление или переделку, если материалы по содержанию или качеству графического исполнения не соответствуют предъявляемым требованиям.

После устранения замечаний, данных во время приемки, редактор должен оценить качество подготовленных материалов и сделать об этом запись в формуляре ЦКМ.

Проверенные, исправленные и подписанные исполнителем, корректором и соответствующим руководителем материалы подготовки к цифрованию передают для приемки в ОТК. Принятые ОТК материалы направляют на цифрование.

4.5. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ЦИФРОВАНИЯ, РЕДАКТИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

4.5.1. Состав автоматизированного рабочего места (АРМ) картографа

В качестве технического средства цифрования, редактирования и обработки картографической информации, как показывает практика, может использоваться разработанный в СССР комплекс АРМ (автоматизированное рабочее место) конструктора-проектировщика.

АРМ может работать как в автономном режиме, так и в качестве проблемно-ориентированного комплекса в составе крупных автоматизированных систем, построенных на базе ЕС ЭВМ и семейства малых ЭВМ. Эффективность применения комплекса АРМ обеспечивается использованием возможностей интерактивного (диалогового) режима, выполнением работ в реальном масштабе времени и в мультипрограммном режиме.

Комплекс АРМ построен как агрегатная система средств, в которой обмен информацией между устройствами осуществляется через одношинный магистральный интерфейс. Использование единого для всех устройств метода связи позволяет иметь общий для всего комплекса алгоритм связи и, следовательно, унифицированную аппаратуру сопряжения.

Для преобразования в цифровую форму графической информации чертежей, планов, карт и любых других изображений в АРМ имеется специальное устройство — полуавтомат кодирования графической информации (оптический) ПКГИО. На столе (планшете) этого устройства оператор вручную, с помощью специального визира, отслеживает линии или отдельные точки изображения. Текущие координаты линий (с заданным дискретом) или отдельно фиксируемые координаты точек автоматически записываются на МЛ (МД) и вводятся для обработки на ЭВМ.

При сложных графических изображениях делают увеличенные копии, с целью обеспечения требуемой точности выходной цифровой информации. Однако эта длительная операция встречается при цифровании карт и планов нечасто.

Кроме регистрации координат линий и отдельных точек, ПКГИО позволяет выполнить следующие операции:

- кодирование графического изображения с указанием вида линии, которой вычерчен элемент, типа элемента (вектор, дуга и т. д.);

- кодирование символов русского или латинского алфавита, специальных символов;

- кодирование прослеживаемых произвольных кривых линий с разрядкой;

- введение специальных команд с целью организации массивов цифровых данных и др.

Основные технические характеристики ПКГИО

Размеры рабочего поля планшета, мм.....	850Х618
Разрешающая способность, мм.....	0,15
Повторяемость считывания координат, мм	±0,15
Абсолютная погрешность считывания координат, мм ±0,15—0,2	

В АРМ входит графический интеллектуальный терминал «Графит», предназначенный для визуализации цифровой информации и организации режима интерактивного взаимодействия оператора с ЭВМ в процессе редактирования. Эти возможности реализуются большим набором технических средств, облегчающих ввод, отображение,

идентификацию и преобразование элементов изображения. В состав терминала входят две микроЭВМ «Электроника-60», устройство отображения на базе ЭЛТ, дисплейный планшет, световое перо, функциональная клавиатура, клавиатура символов и фотосчитыватель. Устройство используется для работы как в автономном режиме, так и в качестве терминальной рабочей станции в составе комплекса АРМ. Круг решаемых задач определяется возможностями программного обеспечения.

Основные технические характеристики устройства «Графит»

Размеры рабочего поля экрана, мм.....	420Х430
Разрешающая способность, мм.....	0,5
Количество символов в наборе.....	92
Информационная емкость:	
векторов длиной до 32 мм.....	до 1100
векторов длиной более 256 мм.....	до 250
символов.....	до 2000
Размеры рабочего поля дисплейного планшета, мм 340Х460	
Разрешающая способность, мм.....	0,125
Точность считывания, мм.....	0,25

В состав АРМ входит графопостроитель АП-7251, предназначенный для получения картографического изображения (контрольных и архивных графических копий) на листе бумаги (пластика) по цифровым данным, поступающим от ЭВМ в виде приращений координат и другой управляющей информации.

Основные технические характеристики АП-7251

Размеры рабочего поля планшета, мм.....	1189Х841
Минимальный шаг приращений, мм.....	0,025
Повторяемость, мм.....	0,2
Максимальная скорость вычерчивания прямых линий, мм/с.....	100
Скорость вычерчивания произвольных кривых, мм/с	25
Количество пишущих устройств.....	3

Комплекс АРМ организован как открытая система с заложенными возможностями развития технических и программных средств.

Программное обеспечение комплекса АРМ включает: базовое программное обеспечение и комплекс программ технического обслуживания. В состав базового программного обеспечения входят операционная система и пакеты вспомогательных программ. Операционная система в зависимости от класса решаемых задач организует работу прикладных программ в режимах мультипрограммирования, монопольном, пакетном или разделения времени и осуществляет выполнение операций ввода — вывода, регистрацию, реорганизацию и накопление данных. Монитор операционной системы обеспечивает выполнение набора команд, с помощью которых оператор управляет работой системы и прохождением проблемных программ. Комплекс программ технического обслуживания предназначен для контроля работоспособности устройств комплекса АРМ при проведении профилактических работ и диагностике неисправностей.

Архитектурные и вычислительные особенности комплекса АРМ определяются характеристиками базового вычислительного комплекса, в качестве которого может быть использован управляющий вычислительный комплекс (УВК) СМ-4.

В состав УВК СМ-4 входят: процессор СМ-4П, оперативное запоминающее устройство, устройство внешней памяти на магнитной ленте, устройство внешней памяти на магнитных дисках, алфавитно-цифровой видеотерминал, перфоленточное устройство ввода — вывода, алфавитно-цифровое печатающее устройство, блок расширения системы, устройство сопряжения вычислительных систем.

Процессор СМ-4П является центральной частью УВК СМ-4 и служит для выполнения программ, использующих базовую систему команд, а также полную систему команд комплекса. Процессор выполняет также приоритетный обмен информацией с оперативной памятью, организует работу всех устройств комплекса и связь оператора с ними. В задачу процессора входит обнаружение некоторых ошибок и нарушения режима питания.

Основные технические характеристики процессора СМ-4П

Форматы обрабатываемой информации, разряды:

чисел с фиксированной запятой..... 8 или 16

чисел с плавающей запятой..... 32

Число универсальных регистров..... 8

Время выполнения команд с фиксированной запятой:

типа регистр — регистр, мкс..... 1,2

типа память — память, мкс..... 3,9

Оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) предназначено для приема, хранения и выдачи двоичной информации. Для повышения надежности применяется метод записи — считывания с использованием избыточных разрядов.

Основные технические характеристики устройства ОЗУ

Время выборки, мкс..... не более 0,71

Наименьшее время цикла обращения, мкс не более 1,0

Разрядность данных, бит..... 16

Сохранность информации при отключении питания,

мин..... не более 10

Устройство внешней памяти на магнитной ленте используется в составе внешнего запоминающего устройства с последовательным доступом для записи, хранения и воспроизведения информации. Устройство подключается к УВК СМ-4 при помощи контроллера (устройства управления). Один контроллер может управлять работой четырех накопителей.

Основные технические характеристики устройства внешней памяти на магнитной ленте

Информационная емкость, бит..... 2-10⁸

Скорость обмена данными, Кбайт/с 20

Плотность записи, бит/мм..... 32

Число дорожек..... 9

Диаметр катушки, мм..... 267

Устройство внешней памяти на магнитных дисках предназначено для использования в качестве накопителя с произвольным доступом к информации. В накопителе используют два диска, один из которых конструктивно оформлен в виде сменной кассеты, другой — постоянно закреплен. Устройство подключают при помощи контроллера, который может управлять работой до четырех накопителей.

*Основные технические характеристики устройства
внешней памяти на МД*

Информационная емкость, Мбайт.....2X2,4
Скорость обмена данными, Мбайт/с 2 , 5

А л ф а в и т н о - ц и ф р о в о й в и д е о т е р м и н а л предназначен для оперативного обмена информацией с ЭВМ. Он используется в зависимости от характера выполняемых работ в качестве пульта программиста или пульта оператора. Устройство обеспечивает выполнение следующих функций:

- отображение информации в буквенно-цифровом виде;
- набор и редактирование символьной информации;
- прием текстовой и управляющей информации от процессора;
- передачу информации в процессор;
- передачу текстовой информации устройству печати;
- передачу текстовой информации, набираемой оператором на клавиатуре, в процессор и одновременный прием и отображение информации, поступающей из процессора.

*Основные технические характеристики
алфавитно-цифрового видеотерминала*

Число символов в строке..... 80
Число строк..... 24
Набор символов..... 96
Скорость обмена данными с ЭВМ, зн./с ... 72 600

Пер ф о л е н т о ч н о е у с т р о й с т в о в в о д а — в ы в о д а предназначено для считывания информации с перфоленты и ввода ее в устройства УВК СМ-4, а также для вывода информации из устройств комплекса на перфоленту. В состав устройства входят фотосчитыватель и перфоратор.

*Основные технические характеристики перфоленточного
устройства*

Скорость считывания, строк/с..... 1000
Скорость перфорирования, строк/с 5 0

А л ф а в и т н о - ц и ф р о в о е п е ч а т а ю щ е е у с т р о й с т в о (А Ц П У) обеспечивает вывод текстовой информации на бумагу из УВК СМ-4. Для формирования символов устройство используют знакосинтезирующий механизм на основе точечной матрицы.

Основные технические характеристики А Ц П У

Число символов в наборе..... 128
Скорость печатания, зн./с..... 180
Ширина перфорированной бумаги (носителя информации), мм..... 420

Блок расширения системы предназначен для подключения к компьютеру дополнительных периферийных устройств, расширяющих его функциональные возможности в случае, когда исчерпаны возможности основного интерфейса.

Устройство сопряжения вычислительных систем служит для организации многомашинных иерархических структур базе модуля М4030 в качестве управляющей машины и УВК СМ-4 (к периферийной). Устройство обеспечивает подключение к каналу ЕС ЭВМ,

Основные технические характеристики устройства сопряжения

Скорость передачи данных в режимах, байт/с:

программного прерывания..... 40 000

прямого доступа к памяти..... 800 000

Удаленность сопрягаемых ЭВМ, м..... не более 10

4.5.2. Комплексирование ЭВМ и периферийных устройств

При разработке автоматизированных картографических комплексов (АКК), как показывает опыт, могут успешно использоваться отечественные средства в рамках единой системы электронно-вычислительных машин (ЕС ЭВМ), которые имеют общий для всех моделей состав периферийных устройств, обеспечивающих ввод и вывод цифровых данных на перфокартах, перфолентах, магнитных лентах (МЛ), магнитных дисках (МД) и магнитных барабанах (МБ). Связь с периферийными устройствами осуществляется с помощью стандартного комплекса технических средств связи — интерфейса, позволяющего видоизменять состав устройств (обновлять, увеличивать и т. д.).

Все устройства ввода — вывода подключаются с помощью специальных средств обмена, так называемых каналов: электронного и мультиплексного. Первый выполняет обмен данными поочередно только с одним устройством ввода — вывода. Второй — с несколькими устройствами, но с меньшей скоростью передачи данных (с перфоленточными, перфокарточными, печатными, например, АЦПУ ЕС-7032, СМ-6302).

Мультиплексный канал обеспечивает работу со 176 внешними устройствами при объеме оперативной памяти в 65 536 байт, в нем могут быть использовано групповое управление внешними устройствами. Во всех моделях ЕС ЭВМ структурной единицей является восьмибитовая кодовая группа — байт. Все остальные форматы данных кратны этой величине и определяются как полуслово — 2 байта, слово — 4 байта, двойное слово — 8 байтов, поле переменной длины — до 256 байт. В ЕС ЭВМ принята побайтная адресация при 24-битовом адресе, позволяющая адресовать память с емкостью 16,8 Мбайт.

Команды ЕС ЭВМ имеют пять форматов, коды которых используют разные способы адресации: непосредственную, относительную и косвенную. Команды могут быть безадресными, одно-, двух- и трехадресными. Полный набор содержит 144 команды для арифметических действий над числами с фиксированной запятой, с плавающей запятой, команд логических операций управления и обмена, десятичной арифметики

и логических операций с данными переменной длины. В серии ЕС ЭВМ имеется система прерывания, которая позволяет прекратить работу той или иной программы и перейти к обработке новой. При этом состояние прерванной программы запоминается и работа с ней может быть возобновлена сразу же после обработки новой программы.

Возможны следующие классы прерываний: ввода — вывода, программные, внешние, от схем контроля, по управляющей программе (супервизору). С помощью системы прерывания организуется одновременная работа центральных и периферийных устройств, автоматическое проведение многопрограммной обработки, автоматизируется процесс отладки программ, создаются удобства общения пользователя прерывания, синхронизируется вычислительный процесс с текущим временем с помощью таймера и в любой момент позволяет вмешиваться оператору в работу ЭВМ, что имеет также большое значение.

Важным достоинством ЕС ЭВМ для использования в АКК является возможность на базе входящих в нее технических средств строить многопроцессорные и многомашинные системы. В этом случае связь между отдельными ЭВМ может быть организована на трех уровнях. Минимальный по быстродействию уровень будет при использовании, например, накопителей на диске. Более высокая скорость обмена может быть получена при непосредственной связи каналов двух ЕС ЭВМ. Имеется возможность работы нескольких ЕС ЭВМ на общем поле оперативной памяти. Эти возможности увеличиваются при использовании средств прямого управления для передачи данных от одного процессора к другому, или пуска одного процессора другим с целью одновременного решения совместной сложной задачи.

В последних выпусках ЕС ЭВМ (Ряда-2), например, ЕС 1035, ЕС 1045 такие возможности уже реализованы. Они имеют встроенный многоадресный транслятор, быстродействующую память на интегральных схемах, а ЕС-1060, ЕС-1065 имеют кроме того, повышенную пропускную способность мультиплексных и селекторных каналов.

В АКК могут использоваться базовые миниЭВМ (СМ ЭВМ). Они оснащаются необходимым периферийным оборудованием и современным математическим обеспечением. Такие ЭВМ могут присоединяться к одному быстродействующему каналу (шине) передачи данных. Это позволяет передавать потоки цифровой информации в широком диапазоне скоростей, выбирая в зависимости от требуемой скорости, соотношения программных и аппаратурных средств управления потоками, устанавливать прямую связь внешних устройств между собой и с памятью без участия процессора, легко модифицировать и расширять систему, компоновать многопроцессорные комплексы. В многофункциональных АКК возможно применение микроЭВМ. Повышение степени интеграции и аппаратная реализация на кристалле средств операционной системы (ОС) и трансляторов с языков высокого уровня обуславливает быстрый рост функциональных возможностей микроЭВМ.

Современные миниЭВМ и микроЭВМ оснащены печатающими устройствами, накопителями на магнитных дисках, телетайпом, экранными

пультами с электронно-лучевыми трубками для ввода и вывода графической и символьной информации, развитым математическим обеспечением, включающим операционную систему реального времени (ОСРВ) и дисковую операционную систему (ДОС).

Для ЕС ЭВМ разработана система программного обеспечения, включающая комплекс программ технического обслуживания, операционные системы, трансляторы с алгоритмических языков различного уровня и пакеты прикладных программ. Совместимость программирования, стандартные команды и коды, принятые на ЕС ЭВМ, обуславливают широкое применение этих машин в различных областях, в том числе в картографии.

4.5.3. Взаимодействие оператора-картографа с ЭВМ

Особенность задач автоматизации технологий создания традиционных и цифровых карт состоит прежде всего в том, чтобы дать единую формализованную модель карты с полным математическим описанием всех этапов ее создания, что исключительно сложно, а в ряде случаев практически невозможно. Картограф, создающий ту или иную карту, самостоятельно доопределяет эту задачу, опираясь на свой опыт, интуицию и логику. Это обстоятельство привносит итерационный характер решений в процесс автоматизации картосоставления, требующий многочисленной инвариантности постановки задач и контроля их исполнения. Таким образом процедуры картосоставления носят алгоритмический и эвристический характер и в настоящее время подобного рода задачи могут пока решаться только с помощью системы «человек — машина», под которой понимается системная организация технических средств и методов ввода, обработки и вывода информации, подчиненных человеку со знаниями, умением и навыками работ на современных средствах вычислительной техники.

При разработке состава технических и программных средств АКК необходимо учитывать следующую особенность работы оператора-картографа с ЭВМ.

Оператору должны быть предоставлены возможности просмотра большого объема информации и автоматического разбиения сложных графических изображений на независимые части, при этом его решения должны во всех аналогичных ситуациях воспроизводиться автоматически.

Диалог оператора с ЭВМ может быть ускорен, если количество получаемой на его запрос информации будет переменным, т. е. может изменяться по его требованию, а также тщательно будет отработана система прерываний решения основной задачи для решения дополнительных задач. Учитывая, что смысловые неформальные ошибки человек находит намного быстрее, чем ЭВМ, для обнаружения таких ошибок необходимо преобразование информации в наглядную графическую (лучше в многоцветную) форму с последующей быстрой автоматической корректурой.

Емкость памяти ЭВМ намного превосходит емкость памяти мозга человека. Организация памяти в ЭВМ формализована и ее сохранность

может не зависеть от времени. Учитывая, что память человека обладает интуитивной неформальной логикой, необходимо предусмотреть быстрый вызов информации из ЭВМ по удобным для оператора-картографа языкам.

Язык взаимодействия оператора-картографа с ЭВМ должен обладать, прежде всего, проблемной ориентацией, т. е. в нем должны быть привычными для картографа языковые конструкции и понятия. Он должен обладать максимальной выразительностью и вместе с тем должен обладать, естественно, многими качествами, присущими универсальным языкам программирования.

Под языком принято понимать знаковую систему, описание которой задается алфавитом, словарем и синтаксисом, с помощью которых выражается входная информация. Обычно используют алфавит, состоящий из цифр, букв, знаков препинания, логических и арифметических операций.

Перечень используемых в языке слов и правил их построения получил названия словаря.

Слово представляет собой набор символов из алфавита, а набор правил объединения слов в предложения назван синтаксисом.

Семантика языка (набор правил) позволяет ЭВМ правильно оценивать смысл анализируемого предложения, а грамматика языка (набор правил) устанавливает связь между входным текстом и состоянием элементов технического комплекса.

Язык взаимодействия картографа с ЭВМ можно представить тремя взаимосвязанными языками:

- описания структуры и входных данных, имеющего в словаре имена всех компонентов объекта вместе с описанием их атрибутов;

- управления вычислительным процессом, т. е. описания всех действий ЭВМ для решения картографических задач;

- сообщений АКС с помощью которых картограф-оператор получит сведения о результатах работы и возможных режимах использования АКС.

Для описания картографических объектов используется иерархический многоуровневый принцип моделирования. Каждой модели свойственна определенная система детализации, связанная с назначением элементов структурного базиса (минимальных неделимых единиц), в терминах которых представлена структура объекта.

В тех случаях, когда математические модели формируются автоматически, описание картографического объекта сводится к заданию его структуры, т. е. формированию информации о составляющих картографический объект элементах и способе их соединения. Такой способ описания позволяет применять его инженерам-картографам даже без какого-либо дополнительного обучения, поскольку строится на понятиях, привычных картографу; семантика языка базируется на картографических понятиях с охватом всех возможных вариантов их структурного решения и взаимодействия с ЭВМ в привычной для картографа форме с использованием схем, макетов, графиков, таблиц и т. д.

4.6. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

4.6.1. Структура автоматизированных картографических систем

Вопросы автоматизации картографических технологий все более сливаются с фундаментальными исследованиями по «компьютерной графике» и «системам автоматизированного проектирования». Результаты этих исследований все чаще используют в разработках автоматизированных картографических систем (АКС) и комплексов.

Все современные АКС в свою основу включают типовые технологические модули, создаваемые с использованием цифровых интерактивных вычислительных комплексов, функциональная адаптация которых обеспечивается благодаря широко развитым средствам дисплейной и графической периферии, а также специализированного информационного и программного обеспечения. Объединение таких модулей в качестве подсистем АКС, способной накапливать, хранить, обновлять и обрабатывать цифровые картографические данные, позволяет создать оперативно перестраиваемое (гибкое) картографическое производство, обеспечивающее широкий круг потребителей разнообразной картографической продукции как в традиционном графическом, так и в цифровом виде. При этом в качестве исходных материалов используются самые различные графические оригиналы (диапозитивы, тиражные оттиски, микрофильмы и т. д.), а также данные дистанционного зондирования местности (в различных спектральных диапазонах) в виде космических или аэрофотоснимков, записей телеметрической информации, принятой по радиоканалу и т. д.

Для всех АКС, независимо от их целевого назначения и мощности, ведомственной принадлежности, должно обеспечиваться строгое соответствие структуры цифровой формы представления исходных материалов в единой системе классификации и кодирования информации о местности (ЕСККИ). Нарушение данного условия приводит к необходимости проведения большого объема работ по перекодировке и адаптации информации (при ее обмене, контроле, обновлении и т. д.), что снижает эффективность АКС. Поэтому вся цифровая информация, циркулирующая в АКС (особенно на ее входе и выходе), должна соответствовать ЕСККИ, которая в ряде стран возводится в степень государственного стандарта с соответствующими органами надзора и контроля.

Техническую идеологию с позиций системного подхода к объединению в АКС новейших интерактивных комплексов можно проследить на основе обобщенной структурной схемы (рис. 65), смоделированной с учетом реально существующих технических средств, в которой многоцелевое назначение системы обеспечивается ее построением из ряда подсистем, замыкающихся в организационном, техническом и технологическом отношениях на банк картографических данных (БКД).

Подсистема цифрового преобразования аэро-космических фотоснимков предназначена для цифрового кодиро-



Рис. 65. Структурная схема автоматизированной картографической системы

вания объектов местности с использованием плановых и панорамных (перспективных) фотоснимков; зональных черно-белых и цветных изображений, синтезированных по многозональным сканерным снимкам; спектрзональных снимков и т. п. Эта подсистема организуется на базе нескольких аналитических устройств сканирующего типа, регистрирующих (в интерактивном режиме) результаты цифрового представления фотоизображений, а также интерактивных станций графического распознавания, редактирования и системного управления, обеспечивающих коррекцию получаемой цифровой информации и ее стыковку с массивами, хранимыми в БКД.

Подсистема цифрового преобразования графических оригиналов и тиражных оттисков карт выполняет цифровую дискретизацию их содержания, идентификацию, классификацию и редактирование отобранных данных, преобразование результатов цифрования в векторный формат, редактирование в векторном формате и другие функции. Такая подсистема создается с использованием интерактивных комплексов, реализующих различные операции (сканирования, стереомоделирования, речевого ввода семантики и команд управления, исправления отдельных результатов цифрования и т. д.) в режиме реального времени и мультипрограммной организации работы цифрователей, «интеллектуальных» графических терминалов, накопителей на магнитных носителях и других устройств.

Подсистема обновления и составления карт различных масштабов и назначений определяет полноту, достоверность, точность и разнообразие картографических форм хранимой в БКД информации. Это достигается с использованием периодического или оперативного обновления цифровых данных по материалам

дистанционной или аэрофотосъемки. При этом информация, обработанная подсистемой цифрового преобразования фотоснимков и переданная в цифровом виде в БКД, пересылается из него в рассматриваемую подсистему и сравнивается на комплексах графического редактирования с обновляемыми данными карт базового масштаба или исходными данными составляемых карт производных масштабов различного назначения (тематических, аэронавигационных, топографических и др.). Основными особенностями подсистемы является реализация таких функций, как корректировка результатов математико-картографического моделирования, стыковка исправленных данных с остальной частью цифрового массива, интерактивная генерализация трудноформализуемых задач картосоставления, оптимизация выбора оформления карт и т. д.

Подсистема графического контроля предназначена для оперативного редакционного просмотра и корректуры цифровой информации, поступающей от подсистем (графические цветные или черно-белые копии могут изготавливаться на бумаге или пластике). Эта подсистема может состоять из быстродействующего барабанного графопостроителя и буквенно-цифрового терминала, обеспечивающего интерактивное сопряжение графопостроителя с управляющими миниЭВМ других подсистем.

Подсистема цифрового преобразования микрофильмов и микрофиш служит для избирательного цифрования (в векторном формате) содержания карт с использованием микрокопий их оригиналов на пленочных материалах. Средством технического обеспечения подсистем является лазерный интерактивный комплекс, интегрирующий выполнение таких функций, как автоматическое отслеживание (в режиме локального сканирования) линейной информации, сжатие отобранных данных в ходе их цифрования, отображение процесса цифрования на большом видеоэкране (например, проекционного типа), выделение крупным планом и интерактивное редактирование отдельных объектов при помощи цветного графического дисплея (растрового типа или на ЗЭЛТ), архивное документирование цифровой информации в графическом виде (на микрофильме или оптическом диске) и т. д.

Подсистема создания картографических оригиналов обеспечивает автоматическое создание (по цифровой информации, получаемой из БКД) издательских оригиналов карт на прозрачных основах (расчлененных по цветам) с последующим автоматизированным изготовлением печатных форм и печатью тиража карт существующими способами. Комплекс автоматизированного создания издательских оригиналов может быть реализован на базе механических прецизионных графопостроителей, предназначенных для вычерчивания или гравирования оригиналов, либо более перспективных растровых устройств вывода с использованием принципов экспонирования электронным или лазерным лучом.

Подсистема формирования и выдачи цифровых карт (моделей) местности на машинных носителях, предназначенных для решения задач, связанных с проектированием железно-

дорожных магистралей и шоссейных дорог, газо- и нефтепроводов, линий электропередач; при освоении новых территориально-производственных комплексов; при учете лесных и земельных угодий, водных ресурсов; в системах автоматизированной навигации летательных аппаратов, морских и речных судов и т. д.

4.6.2. База цифровых картографических данных

ЦКМ хранятся в базе цифровых картографических данных (БЦКД) и выдаются по запросам потребителей в самых различных форматах внешнего представления цифровых записей.

Задачи, решаемые БЦКД, состоят в формировании и ведении специализированных массивов цифровых данных, упорядоченных по масштабам, назначению, форматам представления и другим параметрам. Эти специализированные массивы образуют цифровой фонд картографических данных (ЦФКД), находящийся под оперативным контролем системы управления базой данных (СУБД), которая должна обеспечивать: информационный обмен между подсистемами АКС, поддержание сохранности информации и ее восстановление в случае утраты, независимость структур представления данных от прикладного программного обеспечения, возможность модификации структур внешнего представления, надежную защиту информации от несанкционированного доступа, а также некоторые другие функциональные возможности.

Чем универсальнее ЦФКД, тем большее количество потребителей будет удовлетворено его информацией. Звеньями организации информационных массивов ЦФКД, обеспечивающими их взаимную совместимость, служат классификационные модели объектов местности, отражающие графические и семантические характеристики условных знаков карты. От выбора классификационных элементов зависит характер логико-семантических преобразований картографируемых явлений, форма причинно-следственных и структурно-функциональных связей при отображении объектов в цифровом виде. В связи с этим возрастает значение систематизации и стандартизации классификационных признаков и их категорий, а также унификации форматов и структур цифрового представления картографических данных, как главных условий повышения эффективности информационного обмена и АКС в целом.

Цифровые массивы могут быть структурированы по степени обработки, детальности и завершенности редактирования. Формой структурной организации может являться двухмерный граф, у которого узлы — точки пересечения или конечные точки линейных объектов, а ветви — метрика линейных объектов. В этом случае точечные объекты будут рассматриваться как вырожденные линейные, а площадные объекты — характеризоваться как области, ограниченные линейными объектами.

Возможны структурные построения, где в виде узла представлен каждый объект карты, логическое описание которого (запись) содержит наборы признаков и их категорий, наиболее полно характеризующие

данный объект. При этом логические взаимосвязи между однородными объектами организуются в виде древовидной иерархии, а между неоднородными объектами они имеют характер сетевой структуры. Программное обеспечение управления массивами с такой структурой позволяет осуществлять выбор объектов по качественному признаку принадлежности к «окну», определяемому диагональными потоками, а также по геометрическим и топографическим свойствам классификационных признаков.

Особого внимания заслуживает задача организационного построения наиболее эффективных сверхбольших ЦФКД, формируемых для иерархических конфигураций АКС, в которых потоки данных распределяются между мощными матричными ЭВМ, мониЭВМ и микроЭВМ. Для таких ЦФКД пользователю АКС не нужно знать место физического размещения информации, он будет работать только с ее логическим описанием, но при этом ему надо уметь оперировать абстрактными структурами со сложным построением. Такое умение может быть выработано, например, с использованием математического аппарата логической экспертизы картографических структур и формализации структурных отношений на основе теории гиперграфов, в которых информация рассматривается или как правило действий, учитывающее пространственно-логические связи объектов местности, либо как фактографические данные. Однако этот математический аппарат требует очень большой вычислительной мощности и, например, реализовать его можно только с использованием сети ассоциативных процессоров.

Следует подчеркнуть, что создание программного обеспечения, удовлетворяющего перспективным требованиям автоматизации в картографии, наиболее сложная проблема при проектировании АКС. Отметим некоторые научно-методические мероприятия, способствующие его более эффективной разработке. К таким мероприятиям можно отнести:

- совместимость программных средств решения многочисленных видов картографических задач;

- унификацию программного управления различными массивами данных, предусматривающую информационный взаимообмен между ними;

- автоматизацию проектирования прикладного программного обеспечения с заданными показателями качества;

- адаптацию создаваемых программ к ЭВМ всех классов: от микроЭВМ до больших мультипроцессорных комплексов;

- реализацию аппаратурно-микропрограммным способом алгоритмов ядра операционной системы (алгоритмов интерпретации прерываний, управления сегментацией, планирования и синхронизации и т. д.), а также наиболее часто повторяемых операций (цветоделения, распознавания образов, фильтрации, структурных преобразований и т. д.) технологии формирования ЦФКД.

Стандартизация и унификация программного обеспечения позволит перемещать программные модули между различными комплексами с одного пакета прикладных программ на другой. Такая «мобильность» замедлит моральное старение программ, создаст условия для их восста-

новления в составе программных средств последующих поколений комплексов АКС.

На основании изложенного системного подхода, предусматривающего комплексное использование различных средств создания и обновления ЦФКД, а также средств изготовления и доведения конечной продукции до потребителя в цифровом или графическом виде, можно выделить следующие основные направления комплексной программы развития автоматизации в картографии:

дальнейшую оптимизацию иерархического построения АКС на базе параллельной, конвейерной, сетевой и других внутренних архитектур интерактивных комплексов, объединяющих совокупности управляющих миниЭВМ, прецизионных периферийных устройств и специализированных микропроцессоров, наиболее хорошо приспособленных к обработке конкретных видов структурно-сложной картографической информации;

создание высокорентабельных, многоцелевых БКД, предназначенных для обслуживания широкого круга потребителей;

разработку и внедрение в комплексы АКС высокопроизводительных технических средств (например, матрично-ассоциативных процессоров, «интеллектуальных» графических терминалов и т. п.) и соответствующего программного обеспечения, позволяющих формализовать все виды пространственно-логических связей объектов местности и учитывать их при формировании (ведении) сверхбольших со сложным структурным построением ЦФКД, обеспечивающих выдачу пользователям проблемно-ориентированных ЦКМ, ЦММ самого различного назначения;

широкое использование в техническом обеспечении комплексов АКС сверхбольших интегральных схем, микропроцессорных наборов, однокристалльных микроЭВМ, микроблоков специального назначения, рациональных схем резервирования, аппаратных и программных средств контроля и тестирования, рестарта, автозапуска, реконфигурации системных средств и прочих современных достижений вычислительной техники;

стандартизацию и унификацию программного обеспечения АКС, а также форматов создания, хранения и внешнего представления цифровой картографической информации;

реализацию в технологическом процессе формирования и ведения ЦФКД мультипрограммной операционной среды мгновенного доступа и моделей «послойной» растрово-матричной организации памяти оперативного запоминающего устройства;

применение носителей информации на оптических дисках, обеспечивающих долговременное хранение картографических данных в цифровом либо графическом виде;

организацию диалога картографа с ЭВМ на естественном (формализованном) человеческом языке с использованием устройств речевого ввода—вывода (электронных анализаторов и синтезаторов речи).

Реализация рассмотренной программы комплексной автоматизации картографического производства позволит не только поднять его гибкость и эффективность, но и повысить качество карт.

4.6.3. Автоматизированный фотонаборный комплекс «Каскад»

С целью автоматизированного изготовления оригиналов названий и внесмасштабных (дискретных) условных знаков для топографических и специальных карт, позитивов, откорректированных построчно сверстаных полос текстовой продукции (руководств, пособий, каталогов и т. д.), а также для автоматизации процесса переиздания набираемой текстовой продукции в картографическом производстве может быть использован комплекс фотонаборного оборудования «Каскад».

Эти задачи эффективно решаются на оборудовании комплекса «Каскад» в сопряжении с ЭВМ СМ-1420 и автоматизированным рабочим местом картографа АРМ.

Состав оборудования комплекса «Каскад»: наборно-программирующий аппарат с фотопечатающим выводом (ФПВ-1000), машина фотонаборная ФА-1000, машина фотонаборная крупнокегельная Ф-156К, установка для обработки фото пленки Ф025П, устройство для корректуры и монтажа позитивов ФКМ, устройство сопряжения.

Технические характеристики комплекса «Каскад» следующие.

Наборно-программирующий аппарат ФПВ-1000:

Число знаков для одновременного набора:

основных.....	1 043
дополнительных.....	35

Размерные показатели набора, кегль, пункт..... От 5 до 36

Формат, цидеро..... До 40 включительно с интервалом 1/12 (один пункт)

Машина фотонаборная ФА-1000:

Кегль набора, пункт..... От 4 до 36

Формат набора, цидеро..... От 0 до 40 с интервалом 1/12

Максимальное число знаков для одновременного набора для базового кегля 6 пунктов:

основных.....	1 043
дополнительных.....	35

Применяемая пленка (рулонная) ФТ-41

Максимальная скорость фотографирования (простой текст одного начертания кеглем 5 пунктов), зн./с..... 21

Эксплуатационная рабочая скорость (при наборе кеглем 10 пунктов, формат набора 28 цидеро), зн./ч..... 50 000

Машина фотонаборная крупнокегельная Ф-156К:

Кегль набора, пункт:

текстовыми шрифтами.....	От 10 до 18
крупнокегельный набор.....	От 14 до 72
афишный набор.....	От 78 до 150

Формат набора:

выключенных строк, цидеро	До 62
невключенных строк, пункт.....	До 4

Применяемый фотоматериал..... Рулонная пленка ФТ-41

Размеры фотоматериала, см:	
ширина кеглем до 72 пунктов.....	35
ширина кеглем выше 72 пунктов.....	70
Максимальная скорость фотографирования экз./с.....	До 10

Установка для обработки фотопленки Ф025П:

Скорость транспортирования фотопленки,	м/мин:	0,48—0,30
Продолжительность обработки фотопленки, мин:		
в каждой секции.....		0,8—4,8
в установке.....		4,0—24,0
Рабочий объем ванн, л.....		7,0
Обрабатываемая фотопленка.....	Рулонная и форматная типов	
	ФТ-41, ФТ-41П,	
	ФТ-41М, ФТ-ФН	
Размеры рулонной пленки, мм:		
ширина.....		40—230
длина.....		100—5000
Размер форматной фотопленки, мм.....		240X300
Толщина фотопленки, мм.....		0,08—0,18
Поддержание рабочих свойств растворов.....	Полуавтоматическое	
	ское	
Регулирование температуры растворов.....	Автоматическое	

4.6.4. Автоматизированные картографические системы Рав^ак и БагеЙгак

Для улучшения параметров, характеризующих точность, и повышения быстродействия периферийных средств интерактивных картографических комплексов используются достижения лазерной техники. Высокая монохроматичность излучения лазеров позволяет сфокусировать световое пятно размером до 10 мкм и менее с высокой освещенностью, что обеспечивает получение очень высокого разрешения. При работе с лазерами легко решаются вопросы фокусировки луча, управления от ЭВМ и получения растровых точек с высокой и равномерной оптической плотностью и резким краем.

Как пример успешного применения лазерной техники для автоматизации картографических работ можно рассмотреть систему цифрования Рав^ак, разработанную английской фирмой «Лазер-Скан Лабораториес».

Система Рав^ак предназначена для создания цифровых массивов картографической информации. По существу это лазерно-фотохромная система отображения с запоминанием данных, в которой основным элементом памяти является светочувствительный фотохромный слой, способный принимать два состояния — прозрачное или непрозрачное.

Фотохромные материалы — органические красители, которые становятся непрозрачными при облучении их ультрафиолетовым светом и возвращаются в прозрачное состояние (запись стирается) при воздействии на них инфракрасного облучения или тепла.

Используемые в системе фотохромные пленки обладают важными свойствами:

они обеспечивают обратимые процессы, в результате чего становится возможным стирание изображения и многократное использование пленки;

процессы в пленках самопротекающие, поэтому не требуются специальные материалы для обработки;

пленки малочувствительны к окружающему свету, благодаря чему с ними можно работать в освещенном помещении.

Дискретно отклоняемый ультрафиолетовый луч лазера обеспечивает запись изображения на фотохромном материале с высокой разрешающей способностью, так как от лазерного луча может быть получено пятно размером от 10 до 20 мкм, а разрешение фотохромных слоев превышает 2000 лин/мм.

Обычно время сохранения изображения на фотохромных материалах, используемых в системах отображения, достигает 10—15 мин (при проецировании на экран). Без проецирования на экран это время составляет 2 ч и более.

В системе Раз^ак сканирование осуществляется путем последовательного наложения каждого вектора. Луч лазера, проходящий через прозрачные участки негатива, фиксируется в виде точек, образующих непрерывную линию. Развертка проводится в интервалах 10—15 мкм с частотой 500 строк/с. Сканирующий вектор может содержать 25 строк и более. В результате прослеживания линий формируется и накапливается по частям в памяти ЭВМ соответствующая последовательность сканирующих векторов. Такой способ сканирования является наиболее эффективным.

На программное обеспечение возлагаются управление работой системы и осуществление взаимодействия с ней оператора. Комплекс программ включает операционную систему, предназначенную для ограничения процессов цифрования и воспроизведения данных, а также для контроля; прикладные программы (специальное математическое обеспечение) и систему программирования, позволяющую повысить эффективность взаимодействия оператора и системы.

Дальнейшим развитием системы Раз^ак является комплекс Бахе^так (Великобритания). Его отличительными особенностями являются наличие более мощной управляющей миниЭВМ UAX 11/70 (Великобритания), регенерации на экране дисплея проекционного типа не только метки курсора, но и символьной информации, применение языка более высокого уровня — Фортран-77, совместимость с другими интерактивными комплексами, более развитый пакет прикладных программ (на основе модульной структуры).

В моделированной системе Раз^ак работа построена на принципе экспонирования изображения с экрана растрового типа на пленку через специальную оптическую систему. Круглый растровый экран диаметром 364 мм обеспечивает вывод изображений в формате А4 (210X297 мм). Число адресуемых точек по всему экрану 6,7 млрд., по диаметру могут разместиться 32 768 точек (32 К). Число различных точек на 1 мм — 180, что позволяет добиться разрешающей способности микроизображения 150 лин/мм. Скорость отображения линейной информации составляет

100 м/с. Скорость отображения символьной информации колеблется (в зависимости от сложности рисунка знаков) от 8 до 40 тыс. символов/с.

Вывод картографического изображения на ЭВМ (американской фирмы «Имэйдж Грэфикс») с использованием электронного луча реализуется в высокоскоростной прецизионной системе ЕВИ (США — Великобритания).

На базе системы ЕВ13 разработана технологическая схема автоматизированного изготовления топографических карт, включающая следующие процессы:

- подготовка на ЭВМ магнитной ленты с информацией;
- изготовление посредством системы ЕВИ изображений оригиналов контура, гидрографии, рельефа и других элементов, а также надписей и внемасштабных условных знаков;
- получение печатных форм;
- печатаение тиража карт.

Система ЕВИ применяется также для обеспечения аэронавигационными данными. Она считается наиболее перспективной. В связи со сложностью решения проблемы автоматического распознавания картографических образов, из-за чего цифровое преобразование содержания карт осуществляется путем раздельного кодирования метрики и пространственно-логических отношений объектов, важное значение имеет повышение оперативности ввода семантических кодов. Для этого используются специальные «меню», представляющие собой регистры графических символов, с помощью которых система условных знаков разбивается на элементарные поля, где каждому знаку ставится в соответствие его цифровой код. Однако большее быстродействие обеспечат устройства ввода данных на естественном языке, построенные по принципу извлечения из речевого сигнала спектральных и фонемных характеристик и их сравнения с эталонами, хранящимися в форме матриц параметров произносимых слов. Современные устройства речевого ввода-вывода представляют собой интерактивный терминал на базе микроЭВМ, в состав которого входят модули распознавания и синтеза речи и запоминающее устройство на гибком магнитном диске, предназначенное для хранения словарей, прикладных программ.

В области записи и хранения цифровой картографической информации наиболее перспективным техническим решением, которое найдет широкое применение, следует считать создание оптических дисков. Основными преимуществами их являются большая емкость памяти (до 10^9 бит), продолжительный срок службы (не менее 10 лет), быстрый доступ к информации, контроль доступа под управлением ЭВМ.

Емкость современных накопителей на дисках обычно измеряется числом отдельных кадров информации, соответствующих одному обороту диска, и средним числом бит на кадр. Оптические диски для коммерчески оправданных систем имеют емкость порядка 54 000 кадров информации на одной стороне диска и в среднем порядка $0,3 \cdot 10^6$ бит на кадр.

Современная техника допускает скорости считывания до 200 Мбит/с

для последовательно записанной информации и среднего времени доступа к кадрам, равного 2—3 с (при непоследовательно записанных кадрах).

Экспериментально подтверждена возможность создания на базе оптических дисков так называемых видеокарт, т. е. телевизионной записи картографической информации на оптический диск (свыше 400 листов топографических карт в масштабе 1:50 000), ее считывания с диска и воспроизведения на дисплее с большим экраном, имеющим высокое разрешение. Целесообразно подчеркнуть, что атлас видеокарт намного эффективнее самого обширного обычного атласа, поскольку доступ к информации будет осуществляться не путем страничного перебора карт, а непосредственно по специальному ключевому слову, записанному на видеодиске. При этом пользователь будет иметь возможность получить оперативный доступ к большому количеству детальных карт любой страны мира.

Оптические диски также обеспечивают возможность последовательной записи условных знаков карт в порядке строго определенных приоритетов (например, сначала шоссе и дороги, затем железнодорожная сеть, далее реки и т. п.). Такой способ записи позволяет выводить информацию по элементам содержания карты. При электронной регулировке цветовоспроизведения можно добиться более наглядного выделения и отображения более важных (или требуемых) элементов.

4.6.5. Принципы классификации и кодирования картографической информации

Основной задачей классификации и кодирования картографической информации (КИ) является обеспечение автоматизированного сбора, хранения, поиска, обработки и выдачи информации о местности в цифровой и традиционно-графической формах.

Единые требования классификации и кодирования КИ позволяют вести разработку банков картографических данных (БКД) с высоким универсальным запросно-ответным уровнем, являющимся обязательным условием развития высокоэффективных автоматизированных информационных технологий, отвечающих современному научно-техническому прогрессу.

Наиболее полно информация о местности содержится на топографических картах, имеющих единый системный подход к математической основе, картографической символике, генерализации КИ, точностным параметрам и номенклатуре. Все это облегчает разработку единой системы классификации и кодирования КИ всего масштабного ряда топографических карт.

Основными принципами построения системы классификации информации топографических карт являются:

деление на классификационные группы (КГ) всех объектов и явлений, отображаемых на топографических картах, по одному признаку

или по строго определенному сочетанию признаков, имеющих логическую связь;

распределение объектов по КГ, обеспечивающее логическую стройность системы;

автономность КГ на всех ступенях классификации;

минимальная сложность установления смысловых связей между КГ;

универсальность системы классификации, т. е. обеспечение возможности решения как можно более широкого круга научно-практических задач;

гибкость системы, т. е. возможность включения новых КГ без нарушения логических структур системы в целом.

С общей логической структурой системы классификации связана и система кодирования КИ, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

при разработке системы кодирования должен осуществляться системный подход как по всему множеству объектов, так и по отдельным его совокупностям;

длина и структура кода должны обеспечить решение всего комплекса задач по запросам потребителя, однозначную идентификацию каждого объекта (явления), а также возможность расширения системы кодов при появлении новых объектов, т. е. присвоения каждому объекту в пределах всего множества только одного кодового обозначения;

алфавит кода для всех объектов КИ должен быть одинаков по составу и длине;

в систему кодирования должны включаться только те признаки, которые определены в качестве признаков в системе классификации;

система кодирования должна соответствовать техническим и программным средствам с учетом их наиболее эффективного использования.

В основе любой иерархической классификации, рассматриваемой как семантическая система и предназначенной для поиска информации, лежит представление о том, что вся совокупность данных должна быть разделена на взаимоисключающие друг друга группы по классификационным признакам до самого нижнего уровня. Выбор признака классификации (или сочетание признаков) и определение порядка их следования являются наиболее существенной частью разработки системы классификации, определяющей ее работоспособность. Процесс анализа признаков объектов имеет сложный характер и включает в себя выделение информативных признаков из их совокупности (выступающих как признаки классификации), вероятное распределение признаков с учетом их весовых характеристик, исходя из назначения системы и характера решаемых задач и т. д.

Поскольку формальная логика не дает строгого ответа, в каком порядке следует располагать классы в системе при разработке классификатора картографической информации о местности, была взята традиционная последовательность элементов содержания топографических карт в соответствии с существующими руководящими документами по их созданию. Исходя из этого, вся КИ на высшем уровне делится

на восемь классификационных групп со следующими кодовыми обозначениями:

математические элементы, элементы плановой и высотной основы (10 000 000); рельеф суши (20 000 000); гидрография и гидротехнические сооружения (30 000 000); населенные пункты (40 000 000); промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты (50 000 000); дорожная сеть и дорожные сооружения (60 000 000); растительный покров и грунты (70 000 000); границы, ограждения и отдельные природные явления (80 000 000).

В силу того, что объекты, относящиеся к различным классам, имеют признаки существенно отличающиеся друг от друга, набор этих признаков и порядок следования различен для каждого элемента содержания карты. В связи с этим различным может быть развитие иерархической классификации каждого класса как в глубину (класс — подкласс, целое — частное), так и в ширину (самостоятельные КГ, не состоящие в отношениях целое — частное).

При всех возможных различиях в развитии классификации КИ для рассматриваемой системы обоснованы следующие предельные значения:

максимальное число уровней (глубина) — 8;

максимальное число КГ на одном уровне (ширина) — 9.

Критерием объединения объектов классификации в отдельные группы служит степень связности информационных показателей — признаков, характеризующих объекты. Такой подход обеспечивает возможность размещения каждого объекта в соответствии с его значением на определенном уровне в общей логической структуре.

Классифицируемые объекты на каждом уровне иерархии располагаются в последовательности, соответствующей их приоритету с точки зрения важности, масштабной живучести и т. д.

На нижней ступени классификации каждого элемента содержания находится совокупность однотипных элементарных объектов (ЭОК), являющихся минимальной единицей КИ и обеспечивающей эффективное функционирование всех подсистем комплекса на различных этапах обработки. Каждый ЭОК содержит определенный набор характеризующих его признаков, которые не использовались в системе КИ в качестве признаков классификации. Число этих признаков и их смысловое значение различны и зависят от типа объектов.

В общем случае все признаки, характеризующие ЭОК, могут быть разделены на две основные группы:

признаки, содержащие метрическую информацию об объектах;

признаки, обеспечивающие получение смысловой (семантической) информации.

К первой группе следует отнести плановые положения объекта (геодезические и прямоугольные координаты, которые заносят из каталогов или получают непосредственно при цифровании КИ). Вторая группа признаков может быть дополнительно разделена на две подгруппы.

Первую подгруппу составляют признаки, используемые для расчета

статистических характеристик, включаемых в состав ЦКМ, к которым относятся характер локализации объекта на местности, длина и площадь соответственно для линейных и площадных ЭОК и др.

К линейным ЭОК в принятой классификации отнесены линейно-протяженные объекты (дороги, улицы, линии связи и т. д.), ширина которых не выражается в масштабе картографического материала. Плановое положение линейных ЭОК определяется координатами последовательно расположенных точек.

К площадным ЭОК отнесены объекты, площадь или ширина которых выражается в масштабе картографического материала. Плановое положение площадного ЭОК определяется координатами замкнутой линии, являющейся его границей.

К точечным ЭОК отнесены объекты, площадь которых не выражается в масштабе картографического материала. Плановое положение точечного ЭОК определяется, как правило, одной парой координат.

Вторую подгруппу составляют признаки, характеризующие свойства данного объекта. К данной подгруппе относятся непосредственно количественные и качественные признаки, составляющие основной набор семантической информации об объекте.

В процессе кодирования КИ решаются три основные задачи:
однозначное обозначение (идентификация) каждого объекта;
кодирование укрупненных позиций (классификационных групп объектов);

кодирование свойств (признаков), которыми обладает каждый объект.

Решение перечисленных задач обусловлено тем, что в процессе обработки КИ возникает необходимость выборки отдельных объектов по их идентификатору, поиск объектов, обладающих определенным свойством или совокупностью свойств, а также объектов, относящихся к определенному классу, и, наконец, оперирование с группами объектов, а не с конкретными объектами.

В рассматриваемой иерархической системе выбран последовательный метод кодирования, при котором кодовое обозначение объекта зависит от положения этого объекта в общей системе классификации. В качестве алфавита кода используются десятичные цифры с основанием кода, равным 10. Каждое кодовое обозначение представляет собой последовательность восьми однозначных разрядов, каждый из которых соответствует определенной ступени классификации. Значимость разрядов понижается слева направо.

Каждая цифра старшего разряда указывает на принадлежность объекта (или КГ) к определенному элементу содержания. Вторая цифра обозначает порядковый номер КГ второй ступени и т. д. до самой последней ступени. В тех случаях, когда деление на единичные объекты происходит на более высоких уровнях классификации, в оставшихся младших разрядах кодового обозначения записываются нули. По наличию нулей, их количеству и местоположению в кодовом обозначении можно установить, на каком уровне иерархии находится искомый объект. Так как в иерархической классификации в каждой ветви используется своя

система признаков, однозначное кодирование каждого объекта достигается указанием не только номера разряда и значения цифры на этом разряде, но и значениями цифр во всех предыдущих разрядах.

Следует однако учитывать, что код объекта, принятый в данной системе кодирования, однозначно идентифицирует определенную совокупность ЭОК данного типа (реки, мосты, леса и т. д.). Выделение из этой совокупности конкретного элементарного объекта возможно на основе анализа метрической информации о данном объекте или семантической информации, позволяющей однозначно определить любой объект в массиве картографической информации.

Кроме того, в качестве дополнительной идентификации ЭОК, позволяющей осуществлять быстрый поиск объекта на носителе информации, может быть использован номер объекта, который будет определяться на этапе подготовки исходного материала к цифрованию. Данный номер в совокупности с кодом образует кодовое сочетание и может использоваться как один из признаков, способствующих выделению конкретного объекта среди однотипных.

При кодировании свойств объектов, в основном, используется метод порядковой регистрации (дескрипторный метод), т. е. перечень свойств в этом случае рассматривается как словарь дескрипторов. Этот словарь представляет собой систематизированный перечень слов — характеристик объектов:

Для кодирования смысловых значений характеристик используются методы как порядковой, так и серийно-порядковой регистрации. Согласно методу серийно-порядковой регистрации, множество значений, включаемых в словарь дескрипторов, разделяется на ряд подмножеств, и для кодирования значений каждого подмножества выделяется серия номеров. Выбор данных методов кодирования смысловых значений характеристик объектов обусловлен простотой кодирования новых значений.

В случаях, когда какой-либо из признаков, характеризующих качественную сторону объекта, может принимать одновременно два и более значений, для кодирования всей совокупности смысловых значений характеристики выделяется соответствующее количество разрядов, в каждом из которых записывается информация о наличии или отсутствии одного из значений.

Аналогичный метод кодирования применяется и при кодировании некоторых характеристик служебно-справочной информации, включаемой в паспорт НЛ ЦКМ. Преимущество данного способа кодирования в этих случаях заключается в большой информационной содержательности кодовой комбинации, которая несет информацию одновременно о различных значениях признака.

Особым способом осуществляется кодирование признака, характеризующего внутреннюю структуру населенного пункта. В данном случае, идентификация типа элемента внутренней структуры (квартал, улица, площадь, часть населенного пункта) осуществляется в пределах идентификационного кода населенного пункта, которому соответствует этот

элемент внутренней структуры, т. е. каждое кодовое значение элемента внутренней структуры заполняется в соответствии с кодом населенного пункта, к которому принадлежит элемент внутренней структуры.

Особенности классификации и кодирования картографической информации по элементам содержания

Система классификации объектов элемента содержания *математические элементы, элементы плановой и высотной основы* представляет собой трехуровневую структуру, содержащую все объекты данного класса. Вторая ступень классификации этого элемента содержания содержит три КГ по признаку, относящему объекты к одному из конкретных типов. В свою очередь, КГ *опорные пункты* разделена в соответствии с методом определения планового и высотного положения объектов. Результат этого деления определяет третий уровень классификации.

Общее количество объектов классификации, находящихся на нижнем уровне иерархии, равно 5. Каждый объект описывается определенным набором характеристик, раскрывающих те или иные его свойства. Общее число этих характеристик для всей совокупности объектов равно 12. Особенностью объектов данного класса является то, что плановое положение некоторых объектов определяется одной или несколькими характеристиками (прямоугольные координаты в основной и смежной (L^AY) зонах и географические координаты (ϕ, A), значения которых могут быть получены как путем цифрования метрической информации, так и путем преобразования текстово-табличной информации об объекте). При цифровании метрической информации по топографическим картам определяются прямоугольные координаты (XU) только для астрономических пунктов, пунктов нивелирной сети и отметок высот. Данные по остальным признакам, характеризующим плановое положение, а также прямоугольные координаты (XU) объектов, не указанных выше, определяются по дополнительным источникам (каталогам, таблицам и т. д.). К признакам, значения которых определяются с привлечением дополнительных материалов, относятся также тип наружных знаков на пунктах государственной геодезической сети (ГГС) и точках съемочной сети и относительная высота этих знаков. В признаке *географические координаты* указываются значения астрономических координат (ϕ и A), для астрономических пунктов и геодезических координат (B, C для углов внутренней рамки листа).

Система классификации объектов элемента содержания *рельеф* представляет собой пятиуровневую структуру, включающую все объекты данного класса. Признаком классификации, определяющим второй уровень, является способ передачи на исходных материалах различных форм рельефа. Классификационная группа *рельеф, выраженный горизонтальными*, разделена на третьей ступени иерархии по способу передачи вертикальной расчлененности рельефа. Признаками для выделения остальных классификационных групп данной ступени классификации

послужили морфологические особенности различных типов рельефа. Четвертый уровень данной классификации содержит как непосредственно объекты, так и различные классификационные группы, результат деления которых образует пятый уровень иерархии. Общее число объектов, находящихся на нижнем уровне классификации данного элемента содержания равно 32. Максимальное число характеристик, описывающих эти объекты — 8. Для оврагов и промоин в характеристике *ширина* указываются максимальные значения, свойственные определенной части объекта. Для сухих русел значения характеристики *ширина* определяется по принятой для отображения этих объектов на топографических картах шкале, в зависимости от изображения их в одну или две линии.

Система классификации объектов элемента содержания *гидрография и гидротехнические сооружения* основана на представлении информации в виде иерархической структуры, содержащей пять уровней.

Второй уровень системы содержит две классификационные группы, объединяющие объекты, относящиеся к гидрографии или гидротехническим сооружениям. Классификационная группа *гидрография* разделена на третьей ступени, в соответствии с типом объектов, на шесть КГ. Наличие КГ *характеристик, выделяемых как самостоятельные объекты*, обусловлено строгой локализацией признаков, включенных в эту КГ и характеризующих объекты гидрографии.

Каждая из КГ третьей ступени классификации имеет дальнейшее деление в глубину до пятого уровня.

Аналогичный принцип выделения объектов положен и в классификационной группе *гидротехнические сооружения*. Максимальное число ступеней классификации для этой КГ равно четырем. Общее число объектов классификации, отходящих на последних ступенях иерархии для данной системы классификации, равна 68. Каждый из этих объектов характеризуется определенной совокупностью характеристик, раскрывающих его конкретные свойства. Для объектов КГ *водотоки* ширина может быть выражена как конкретным числовым значением, так и по определенной шкале, принятой для характеристики рек, каналов и канав. Общее количество характеристик, описывающих данный элемент содержания, равно 24.

Система классификации объектов элемента содержания *населенные пункты* имеет трехуровневую структуру. Второй уровень классификации выделен по принципу деления населенных пунктов по одному из важнейших и стабильных признаков — типу поселения, на отдельные КГ. Каждая классификационная группа разделена на третьем уровне классификации на определенные категории населенных пунктов, составляющих непосредственно объекты классификации. Общее число этих объектов равно 9.

В особую КГ *отдельные строения* выделены все строения и сооружения, которые в соответствии с характеризующим признаком *функциональное назначение* не могут быть отнесены к классу *промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты* или их назначе-

ние неизвестно. В эту КГ включены также все строения, расположенные в населенных пунктах или различных промышленных, сельскохозяйственных или социально-культурных объектах, отображенных на исходном картографическом материале в виде комплексов строений и сооружений.

Основной особенностью классификации данного элемента содержания является то, что представление населенного пункта в виде комплексного объекта, содержащего объекты всех остальных классов (элементов содержания) пока сложно для реализации в БКД. Учитывая это положение, в систему классификации включены только те объекты и их характеристики, которые не могут быть отнесены ни к одному из остальных классов. Таким образом на нижнем уровне классификации населенный пункт представляется в виде элементарного объекта, имеющего определенный набор характеристик. В общем случае данный набор характеристик может быть разделен на две части.

Первая часть набора включает признаки, которые дают общую характеристику населенного пункта: количество жителей; максимальную высоту (без учета отдельных выдающихся высотных зданий и сооружений); политико-административное значение, преобладающий характер застройки, состояние, социально-культурную принадлежность, собственное название, характер огнестойкости, наличие пунктов связи.

Вторая часть объединяет признаки, характеризующие элементы внутренней структуры населенного пункта, которые также могут быть отнесены только к данному элементу содержания: тип элемента (квартал, улица, площадь, часть населенного пункта); плотность застройки, характер огнестойкости, состояние, тип улицы, собственные названия (улиц, площадей, части населенного пункта).

Плановое положение элементов внутренней структуры определяет: для кварталов — внешний контур или его ось; для улиц — ось проезжей части; для площадей — центральную точку площади; для части населенного пункта — внешний контур или центральную его точку. При отсутствии данных непосредственно в числовом выражении в характеристике *количество жителей* может быть указано количество жителей по косвенным признакам (в соответствии с принятой для топографических карт шкалой).

Данные о наличии пунктов связи приводятся при характеристике населенных пунктов сельского типа, расположенных в малообжитых районах.

Система классификации объектов элемента содержания *промышленные, сельскохозяйственные и социально-культурные объекты* представляет собой шестиуровневую структуру, объединяющую все объекты, включенные в данный класс.

Исходя из назначения объектов, вся их совокупность на втором уровне классификации разделена на различные классификационные группы. Все эти классификационные группы имеют определенное развитие в глубину. Например, деление КГ *промышленные объекты* заканчивается на шестом уровне, при этом признаками классификации данной

ветви является роль объектов в промышленном производстве, их типы, назначение и характер построек, а классификационная группа *сельскохозяйственные объекты* разделена непосредственно на объекты классификации, образующие третий уровень иерархии.

Общее число объектов данного элемента содержания, находящихся на нижнем уровне классификации, равно 60. Объекты, расположенные на нижнем уровне классификации, характеризуются конкретным набором характеристик. Общее число характеристик, описывающих объекты данного класса — 10. Наличие характеристики *внутренняя структура объекта* обусловлено спецификой отображения площадных объектов данного элемента содержания, которые могут иметь вид как отдельного строения, так и комплексного объекта, внутреннюю структуру которого составляют другие объекты (здания, сооружения, склады и т. д.). Кроме того, характеристика *функциональное назначение объекта* определяет данные о специализации заводов, фабрик, назначение складов, трубопроводов, различных учреждений и других промышленных, сельскохозяйственных и социально-культурных объектов.

Система классификации объектов элемента содержания *дорожная сеть и дорожные сооружения* представляет собой пятиуровневую структуру. На втором уровне система содержит две классификационные группы, объединяющие объекты классификации, относящиеся к дорожной сети и дорожным сооружениям.

Каждая из этих КГ делится в свою очередь на третьем уровне классификации по признаку типа объектов на различные классификационные группы или объекты классификации, для которых третий уровень системы является последним.

Четвертый уровень иерархической системы содержит как непосредственно объекты, так и КГ. Признаками классификации, служащими для выделения объектов на четвертой ступени, является класс дорожной сети или вид дорожных сооружений. Классификационные группы четвертого уровня объединяют конкретные объекты классификации, стоящие на пятом уровне данной системы. Образование этого уровня связано с делением: железных дорог по одному из основных характеризующих признаков — ширине колеи; станций и остановочных пунктов — на конкретные виды объектов этой группы; мостов — по конструкции.

Данная система классификации содержит 53 объекта, находящихся на последних ступенях иерархии. Каждый из этих объектов характеризуется определенной совокупностью признаков, раскрывающих присущие им свойства. Общее количество характеристик, описывающих данный элемент содержания, равно 20.

Смысловое значение признака, характеризующего ширину объектов дорожной сети, различно для определенных объектов и содержит данные:

о ширине всей дороги (от кювета до кювета), усовершенствованных шоссе и шоссе; о ширине проезжей части улучшенных грунтовых дорог; о ширине одной полосы дороги для автострад; о ширине колеи для железных дорог.

Кроме того, наряду с общей характеристикой ширины, сведения

о дорогах, имеющих твердое покрытие, содержат значение ширины покрытий части дороги.

Система классификации элемента содержания *растительный покров и грунты* имеет семь уровней. Деление всех объектов данного класса на втором уровне классификации произведено по принципу принадлежности объектов классификации к одной из двух основных группировок: *растительный покров, грунты*.

Признаками классификации объектов на третьем и последующих уровнях являются жизненные формы растительности, происхождение объектов, классификации, их типы и состояние. Непосредственно объекты классификации для каждой ветви иерархической классификации данного элемента содержания находятся на различных ступенях. Наибольшим развитием в глубину характеризуется КГ *растительный покров*, что обусловлено спецификой представления объектов данного типа на топографических картах и значительным объемом информации об этих объектах, подлежащей включению в БКД.

Общее число объектов классификации, находящихся на нижнем уровне, для данного класса составляет 56. Общее число характеристик, описывающих объекты равно 10. Признак, указывающий на характер локализации объекта на местности, в данном случае, наряду с данными для статистических характеристик, несет дополнительное смысловое значение. Так для растительного покрова под линейными объектами следует понимать узкие полосы леса, кустарников, живые изгороди и защитные лесонасаждения, а точечные объекты представляют собой небольшие площади леса, отдельные группы кустов и т. д. Для КГ *грунты* такие объекты представляют узкие полосы болот и солончаков, отдельные мокрые лужки (мочажинки) и другие аналогичные объекты.

Система классификации объектов элемента содержания границы, ограждения и отдельные природные явления представляет собой трехуровневую структуру. Деление всех объектов данного элемента содержания и образование второго уровня классификации зависит от принадлежности классифицируемых объектов к конкретной классификационной группе (*границы, ограждения, полярные круги, тропики, аэронавигационные данные*). Третья и четвертая КГ дальнейшего развития в глубину не имеют. Остальные КГ делятся на конкретные объекты классификации, образующие последнюю ступень иерархии. Выделение на втором уровне данной системы классификации КГ *компактно расположенные объекты* обусловлено необходимостью решения специальных задач по обеспечению потребителей. Общее количество объектов классификации, находящихся на нижней ступени, равно 12. Все объекты имеют характеризующие их признаки. Общий набор характеристик, описывающих данный класс объектов, равен 8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Баканова В. В.** Крупномасштабные топографические съемки.— М.: Недра, 1983.
2. **Баскакова О. Е., Тимофеев А. Н.** Микропроцессорный регистратор информации РИМ — Т.— Геодезия и картография, 1990, № 1, с. 45—49.
3. **Батраков Ю. Г.** Геодезические сети сгущения.— М.: Недра, 1987. 255 с.
4. **Бойко А. В.** Методы и средства автоматизации топографических съемок.— М.: Недра, 1980.
5. **Бойко А. В.** Информационно-поисковая система топографо-геодезического назначения.— Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка», 1983, № 5, с. 31—34.
6. **Большаков В. Д., Маркузе Ю. И.** Городская полигонометрия (уравнивание и основы проектирования).— М.: Недра, 1979.
7. **Большаков В. Д., Деймлих Ф., Голубев А. Н.** Радио-геодезические и электро-оптические измерения.— М.: Недра, 1985.
8. **Ганьшин В. Н., Косыков Б. И., Хренов Л. С.** Справочное руководство по крупномасштабным съемкам.— М.: Недра, 1977.
9. **Гусев Ю. С.** Опыт топографической съемки электронным тахеометром.— Геодезия и картография, 1986, № 6, с. 37—39.
10. **Инструкция** по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500/ГУГК СССР.— М.: Недра, 1985.
- И. **Инструкция** по нивелированию I, II, III и IV классов/ГУГК СССР.— М.: Недра, 1990.
12. **Инструкция** по топографической съемке в масштабах 1:10 000 и 1:25 000/ГУГК СССР.— М.: Недра, 1978.
13. **Кравченко Ю. А., Гусев А. В.** Моделирование рельефа в автоматизированной системе крупномасштабного картографирования.— Труды НИИПГ.— М.: 1982, вып. 6, с. 117—128.
14. **Кузнецов П. Н., Васютинский И. Ю., Ямбаев Х. К.** Геодезическое инструментоведение.— М.: Недра, 1984.
15. **Лазерная** система для автоматизации топографической съемки местности/ В. С. Голов, Ю. М. Десятых, А. С. Федоров и др.— Геодезия и картография, 1986, № 10, с. 38—41.
16. **Лебедев Н. Н.** Курс инженерной геодезии.— М.: Недра, 1974.
17. **Левчук Г. П., Новак В. Е., Конусов В. Г.** Прикладная геодезия.— М.: Недра, 1981.
18. **Мартыненко А. И.** Организация фондов для автоматизированной картографии.— В сб.: Картография, 1978, т. 8, с. 37—57.
19. **Маслов А. В., Гордеев А. В., Батраков Ю. Г.** Геодезия.— М.: Недра, 1980.
20. **Машимов М. М.** Уравнивание геодезических сетей.— М.: Недра, 1979.
21. **Неумывакин Ю. К.** Обоснование точности топографических съемок для проектирования.— М.: Недра, 1976.
22. **Неумывакин Ю. К., Смирнов А. С.** Практикум по геодезии.— М.: Недра, 1985.
23. **Основные** положения по выбору масштаба и высоты сечения рельефа топографических съемок населенных мест/ГУГК СССР.— М.: Недра, 1980.
24. **Практикум** по высшей геодезии/Под ред. Н. В. Яковлева.— М.: Недра, 1982.
25. **Практикум** по курсу прикладной геодезии/Под ред. Н. Н. Лебедева.— М.: Недра, 1977.
26. **Рытое А. В., Спиридонов А. И.** Геодезические приборы для крупномасштабных топографических съемок.— М.: Недра, 1977.
27. **Сборник** научных трудов ЦНИИГАиК — М.: 1985, вып. 239.

28. Селиханович В. Г. Геодезия.— М.: Недра, 1981.
29. Спиридонов А. И., Кулагин Ю. Н., Кузьмин М. В. Поверка геодезических приборов.— М.: Недра, 1981.
30. Спиридонов А. И., Кулагин Ю. Н., Крюков Г. С. Справочник-каталог геодезических приборов.— М.: Недра, 1984.
31. Справочник геодезиста: В 2 кн./Под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука.— М.: Недра, 1985.— Кн. 2.
32. Татаренко М. Т. Технология идентификации элементов цифровой топографической информации при ее сборе.— Труды НИИПГ.— М.: ЦНИИГАиК, 1982, вып. 6, с. 56.
33. Тревога И. С., Шевчук П. М. Городская полигонометрия.— М.: Недра, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Геодезические сети сгущения.....	3
1.1. Полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов.....	3
1.1.1. Составление проекта кода и сети полигонометрии, оценка проекта	4
1.1.2. Рекогносцировка и закрепление пунктов полигонометрии.....	9
1.1.3. Измерение углов на пунктах полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов 10	
1.1.4. Измерение линий светодальномерами.....	29
1.1.5. Измерение линий инварными проволоками.....	42
1.1.6. Измерение линий в полигонометрии параллактическими методами и точными оптическими дальномерами.....	50
1.1.7. Уравнивание полигонометрии.....	53
1.1.8. Привязочные работы в полигонометрии.....	59
1.2. Триангуляция 1 и 2 разрядов.....	66
1.2.1. Общие положения. Проектирование и полевые работы.....	66
1.2.2. Обработка и уравнивание триангуляции 1 и 2 разрядов.....	69
1.3. Нивелирование III и IV классов .	71
1.3.1. Общие положения и требования.....	71
1.3.2. Проектирование, рекогносцировка ходов, закладка реперов и марок 72	
1.3.3. Особенности конструкций современных точных и технических нивели- ров, их основные характеристики	73
1.3.4. Поверки и исследования нивелиров.....	74
1.3.5. Нивелирные рейки, их исследования и поверки.....	74
1.3.6. Основные источники ошибок в нивелировании III и IV классов, меры по ослаблению их влияния. Расчет точности.....	75
1.3.7. Нивелирование III и IV классов.....	76
1.3.8. Уравнивание и оценка точности результатов измерений в нивелирных сетях сгущения.....	77
1.3.9. Барометрическое нивелирование.....	83
2. Топографические съемки.....	89
2.1. Общая часть.....	89
2.1.1. Топографические карты и планы.....	89
2.1.2. Методы создания топографических карт и планов.....	92
2.1.3. Назначение топографических карт и планов.....	94
2.1.4. Содержание и точность топографических карт и планов.....	95
2.1.5. Технический проект топографо-геодезических работ.....	97
2.1.6. Обоснование выбора масштабов и высот сечения рельефа топогра- фических съемок.....	98
2.2. Съёмочная геодезическая сеть.....	103
2.2.1. Общая часть.....	103
2.2.2. Развитие плановых съёмочных сетей теодолитными ходами	1 0 6

2.2.3. Развитие плановых съёмочных сетей методом триангуляции	124
2.2.4. Высотная съёмочная сеть.....	131
2.3. Методы топографических съёмок.....	135
2.3.1. Стереотопографический метод съёмки.....	135
2.3.2. Комбинированный аэрофототопографический метод съёмки	144
2.3.3. Наземный фототопографический метод съёмки.....	145
2.3.4. Мензульная съёмка.....	147
2.3.5. Тахеометрическая съёмка.....	154
2.3.6. Теодолитная съёмка.....	160
2.3.7. Нивелирование территорий.....	161
3. Автоматизация топографических съёмок.....	163
3.1. Цифровые модели местности.....	163
3.2. Приборы и инструменты, используемые для автоматизации процесса составления планов и крупномасштабных карт.....	164
3.2.1. Электронные тахеометры.....	164
3.2.2. Автоматические координатографы.....	167
3.2.3. Преобразователи аналоговой информации в цифровую.....	174
3.3. Технологии, автоматизирующие процесс топографических съёмок .	181
3.3.1. Системы сбора и первичной обработки топографо-геодезической информации	181
3.3.2. Топографические системы крупномасштабного картографирования	185
3.3.3. Системы сбора и обработки топографо-геодезической информации за рубежом.....	205
3.3.4. Автоматизация процесса воспроизведения рельефа.....	209
3.4. Принципы построения сети автоматизированных интегрированных систем топографо-геодезического назначения.....	214
3.4.1. Общие положения.....	214
3.4.2. ИПЯ топографо-геодезического назначения.....	217
3.4.3. Структура информационных массивов.....	222
3.5. Принципы построения информационно-поисковой системы картографи- ческого назначения.....	226
3.5.1. Структура ИПЯ КН.....	226
3.5.2. Структура информационных массивов.....	227
4. Цифровые карты и планы.....	237
4.1. Содержание и свойства цифровых карт и планов.....	237
4.1.1. Картографическая информация. Общие понятия.....	237
4.1.2. Требования к цифровым картам.....	239
4.1.3. Информация пространственно-логических отношений объектов мест- ности. Взаимообратимость цифровой и образно-знаковой информации карт	241
4.2. Основы информатики в цифровой картографии.....	243
4.2.1. Карта — как канал технической информации.....	243
4.2.2. Энтропия — количественная мера информации. Аксиомы. Свойства	246

4.2.3. Количественная оценка условно-знаковой цифровой картографической информации	256
4.3. Технологические основы создания цифровых карт и планов.....	263
4.3.1. Редакционные работы.....	263
4.3.2. Цифрование, обработка и контроль качества цифровых карт	268
4.4. Подготовка исходных картографических материалов к цифрованию	271
4.4.1. Изготовление оригиналов служебной информации.....	271
4.4.2. Подготовка к цифрованию линейных и площадных объектов карты	274
4.4.3. Разрядка горизонталей. Обновление исходной информации	276
4.4.4. Изготовление ведомостей кодирования. Редактирование и корректура	281
4.5. Технические средства цифрования, редактирования и обработки картографической информации.....	283
4.5.1. Состав автоматизированного рабочего места (АРМ) картографа	283
4.5.2. Комплектование ЭВМ и периферийных устройств.....	288
4.5.3. Взаимодействие оператора-картографа с ЭВМ.....	290
4.6. Автоматизированные картографические системы и комплексы	292
4.6.1. Структура автоматизированных картографических систем.....	292
4.6.2. База цифровых картографических данных.....	295
4.6.3. Автоматизированный фотонаборный комплекс «Каскад».....	298
4.6.4. Автоматизированные картографические системы Разкак и Багет\гак	299
4.6.5. Принципы классификации и кодирования картографической информации	302
Список литературы.....	312

Г 35 Ю. К. Неумывакин, Е. И. Халугин, П. Н. Кузнецов и
А. В. Бойко — М.: Недра, 1991.— 317 с.: ил.
15ВЫ 5-247-01251-8

Изложены методы съёмки плановой и высотной геодезической основы для производства топографических съёмок. Особое внимание уделено полигонометрии, триангуляции и высотной сети съёмки — нивелированию. Рассмотрены топографические съёмки, даны рекомендации по обоснованию выбора их масштабов и высот сечения рельефа. Приведена технология обновления картографических материалов. Описаны технические средства и методы создания крупномасштабных карт и планов. Показано применение автоматизированных систем при сборе и обработке топографической информации. Даны основы создания цифровых карт и планов.

Для специалистов — топографов, геодезистов, картографов, земле-устроителей, выполняющих топографические съёмки.

Неумывакин Юрий Кириллович,
Халугин Евгений Иванович,
Кузнецов Павел Никитич,
Бойко Алексей Викторович

ГЕОДЕЗИЯ. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Заведующий редакцией *О. И. Паркани*
Редактор издательства *Н. Т. Куприна*
Технические редакторы *Н. П. Старостина, А. А. Бровкина, Г. В. Лехова*
Корректор *К. И. Савенкова*

ИБ № 7949

Сдано в набор 28.08.90. Подписано в печать 07.05.91. Формат 60X88/в- Бумага офсетная № 1. Гарнитура Литературная. Печать офсетная. Уел. печ. л. 19,6. Уел. кр.-отг. 19,6. Уч.-изд. л. 20,43. Тираж 6400 экз. Заказ 644 /2067-2. Цена Гр. 40 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 125047, Москва, Тверская застава, 3.

Набрано в Ленинградской типографии № 2 головного предприятия ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгения Соколовой Государственного комитета СССР по печати. 198052, Ленинград, Л-52, Измайловский пр., 29.

Отпечатано в Ленинградской типографии № 4 Государственного комитета СССР по печати. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

ВНИМАНИЮ НАУЧНЫХ
И ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ,
АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ!

***В издательстве «Недра»
готовятся к выпуску
в 1992 г. книги***

Мозжухин О. А.
«СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ФИЗИЧЕСКИХ РЕДУКЦИЙ
В ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ»

Автор монографии — канд. техн. наук О. А. Мозжухин около 30 лет занимается проблемой учета влияния атмосферы на результаты геодезических измерений. Им опубликовано 2 монографии и 70 научных статей в периодических изданиях, получено 3 авторских свидетельства на способ определения поправок за счет влияния рефракции и показателя преломления.

В монографии изложены методы учета вертикальной рефракции и показателя преломления при геодезических измерениях в приземном слое атмосферы, основанные на применении теории подобия и моделирования. Рассмотрены способы определения поправок в результаты одно- и двустороннего тригонометрического нивелирования, высокоточного геометрического нивелирования, при определении расстояний свето- и радиодальномерами, а также оптическими дальномерами с вертикальной базой.



Книга предназначена для специалистов, выполняющих высокоточные геодезические измерения. Она будет полезна для студентов и аспирантов.

Виноградов В. В.
«ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРЫ
НА ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»

В книге рассмотрено влияние атмосферы на геодезические измерения. Изложены методы определения и учета рефракции, турбулентности при измерениях зенитных расстояний, геометрическом нивелировании, а также при определении расстояний светодальномерами. Приведены рекомендации по повышению точности угловых, линейных и высотных измерений. Дана оценка влияния турбулентности атмосферы и рефракции на измерения.

Книга предназначена для научных работников, занятых в области геодезии.

Если Вас заинтересовали предложенные книги, рекомендуем Вам оформить предварительный заказ в магазинах, распространяющих научно-техническую литературу.



Своевременно оформленный заказ гарантирует приобретение нужной Вам книги.



Адреса опорных магазинов издательства «Недра»

*117334 Москва, Ленинский проспект, 40, магазин №115
«Дом научно-технической книги»*

*199178 Ленинград, В. О.,
Средний проспект, 61, магазин №17 «Недра»*