


JOHN. W. WALKER. AUTHOR OF "THE HISTORY OF THE UNITED STATES."

**Ю.К.НЕУМЫВАКИН
А.С.СМИРНОВ**

ПРАКТИКУМ ПО ГЕОДЕЗИИ



**ВЫСШЕЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**

**Ю.К.НЕУМЫВАКИН
А.С.СМИРНОВ**

ПРАКТИКУМ ПО ГЕОДЕЗИИ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебного пособия для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальности «Землеустройство»



МОСКВА „НЕДРА” 1985

УДК 528.3(076.5)

Неумывакин Ю.К., Смирнов А. С. Практикум по геодезии. Учеб. пособие для вузов.— М.: Недра, 1985.— 200 с., ил.

Излагаются научно-методические основы современной технологии топографических съемок для землеустройства, работы с топографическими планами и картами по определению положения точек местности и площадей земельных угодий, а также сведения о геодезических приборах, методах измерений и математической обработке их результатов с применением современных вычислительных средств.

Для студентов сельскохозяйственных высших учебных заведений.

Табл. 63, ил. 86, список лит. — 14 назв.

Рецензенты: *кафедра* геодезии Харьковского сельскохозяйственного института и *Ю. Ю. Рандяев*, канд. техн. наук (Эстонская сельскохозяйственная академия)

**ЮРИЙ КИРИЛЛОВИЧ НЕУМЫВАКИН,
АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ СМИРНОВ**

ПРАКТИКУМ ПО ГЕОДЕЗИИ

Редактор издательства *Н. Т. Куприна*
Обложка художника *А. Е. Чучканова*
Художественный редактор *В. В. Шутько*
Технический редактор *А. В. Трофимов*
Корректор *С. В. Зимица*

ИБ № 6140

Сдано в набор 10.04.85. Подписано в печать 19.11.85. Т-22520. Формат 60×90^{1/16}.
Бумага кн. журнальная. Гарнитура «Литературная». Печать высокая. Усл.-печ. л. 12,5.
Усл. кр.-отт. 12,75. Уч.-изд. л. 13,58. Тираж 15 000 экз. Заказ 333/372—15. Цена 45 коп.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103533, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
103051, Москва, Цветной бульвар, 26.

1902020000—525
Н _____ 8—85
043(01)—85

© Издательство «Недра», 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данное учебное пособие составлено в соответствии с действующей программой курса «Геодезия», утвержденной Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Минсельхоза СССР для специальности «Землеустройство». Его основное назначение — закрепление теоретического курса и приобретение практических навыков студентами очных и заочных землеустроительных факультетов при самостоятельном выполнении лабораторных работ и прохождении учебной геодезической практики. Изложение материала в пособии отражает накопленный учебно-методический опыт преподавания этой дисциплины на кафедре геодезии Московского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров землеустройства. Главное внимание в содержании книги уделено работе с топографическими картами и планами, поверкам и юстировкам современных геодезических приборов, методам измерения расстояний светодальномерами, последовательному описанию отдельных процессов технологии выполнения топографических съемок, а также вопросам вычислительной обработки результатов измерений.

Применению практикума для указанных целей должно предшествовать изучение соответствующих разделов учебного пособия «Геодезия» (авторы А. В. Маслов, А. В. Гордеев, Ю. Г. Батраков), изданного в 1980 г.

Главы 1—6 написаны А. С. Смирновым, главы 7—9 — Ю. К. Неумывакиным.

Авторы благодарят Ю. Г. Батракова и А. В. Гордееву за советы по вопросам уравнивания геодезических сетей и применения светодальномеров на учебной практике, а также А. Б. Беликова за помощь, оказанную при составлении глав 1 и 3.

Глава I

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ИХ ТОЧНОСТЬ

Решение основных задач геодезической науки и практики связано с проведением измерений и различных геометрических построений на земной поверхности или на готовых планово-картографических материалах. При измерениях определяют размеры отдельных физических величин (отрезка линии, угла между направлениями линий и др.) и выражают их в виде некоторого числа принятых единиц, которое называют значением физической величины или результатом измерения. Таким образом, *геодезическое измерение есть процесс нахождения значения заданной физической величины с помощью технических средств.*

Простейшим видом является прямое измерение, выполняемое непосредственным сравнением измеряемой величины с другой однородной ей величиной, принятой за единицу измерения (например, измерение расстояния на местности с помощью мерной ленты или рулетки; измерение отрезка линии на плане по миллиметровой шкале линейки; измерение угла между прочерченными на карте направлениями с помощью транспортира и т. д.).

Однако прямые измерения не всегда возможны и целесообразны, поэтому при решении отдельных геодезических задач применяют косвенные измерения, основанные на использовании известной зависимости между определяемой величиной и другими величинами, подвергаемыми прямым измерениям (например, измерение расстояния на местности с помощью электромагнитных или оптических дальномеров, определение превышений между точками местности и др.).

Процесс измерения включает следующие обязательные элементы:

объект, свойство которого (например, размер) характеризует результат измерения;

техническое средство, позволяющее получать результат в заданных единицах измерения;

метод измерений — совокупность обоснованных теорией практических действий и приемов использования технических средств;

исполнителя измерения или регистрирующее устройство, воспринимающее результат;

внешнюю среду, в которой происходит процесс измерения.

Совокупность этих элементов, взаимодействуя между собой, образует *условия измерений*, которые непосредственно определяют окончательный результат и его точность.

Любой процесс измерений, в каких бы условиях он не протекал, сопровождается *погрешностями*, т. е. отклонениями результата измерений от истинного значения измеряемой величины *. Причиной этих отклонений является несовершенство технических средств и методов измерений, изменчивость внешней среды и количественных свойств самого объекта, индивидуальные особенности исполнителя и другие факторы, определяющие в целом условия измерений.

Если несколько измерений выполняются при одних и тех же условиях, то их результаты называют *равноточными*.

Если хотя бы один из элементов, составляющих совокупность условий, меняется, то результаты измерений являются *неравноточными*.

Точность геодезических измерений

Под точностью измерения понимают степень приближения его результата к истинному значению измеряемой величины. Отклонение результата измерения от истинного значения называют погрешностью измерения (высокая точность измерений соответствует малым погрешностям, и наоборот, большие погрешности характеризуют невысокую точность).

Абсолютная погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины, в принципе определяется формулой

$$\varepsilon = x_{\text{изм}} - X, \quad (1)$$

где $x_{\text{изм}}$ — значение, полученное при измерении; X — истинное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность выражается отношением абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой величины, т. е.

$$C = \varepsilon/X. \quad (2)$$

Относительные погрешности выражают аликвотной дробью вида $\frac{1}{n}$ или в процентах. Например, если для линии длиной 400 м абсолютная погрешность равна 0,20 м, то относительная погрешность $C = \frac{0,20}{400} = \frac{1}{2000}$, или 0,05 %.

Абсолютная погрешность ε является следствием совместного влияния множества факторов, каждый из которых оказывает различное по величине и направленности воздействие на конечный результат, а следовательно, и на его погрешность. Поэтому упрощенно можно считать, что общая погрешность измерения порождается источниками, заложенными в отдельных элементах совокупности условий, т. е.

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{об}} \cup \varepsilon_{\text{ин}} \cup \varepsilon_{\text{м}} \cup \varepsilon_{\text{л}} \cup \varepsilon_{\text{вн}}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{\text{об}}$ — часть общей погрешности, связанная с особенностями

* Под истинным подразумевают такое значение измеряемой величины, которое идеальным образом отражало бы количественное свойство данного объекта.

объекта измерения; $\epsilon_{ин}$ — инструментальная погрешность, порождаемая несовершенством технического средства; $\epsilon_{м}$ — методическая погрешность, связанная со способом практического осуществления процесса измерений и его теоретической основой; $\epsilon_{л}$ — личная погрешность, зависящая от индивидуальных особенностей и квалификации исполнителя; $\epsilon_{вн}$ — погрешность, порождаемая влиянием внешней среды, в которой выполняется измерение.

Каждая из этих погрешностей вызывается целым рядом различных причин, которые могут возникать с неизбежностью (систематически), а могут — случайно. В связи с этим погрешности измерений по своим свойствам подразделяют на *систематические* и *случайные*. Кроме того, результаты измерений могут содержать *грубые ошибки*.

Грубыми считают ошибки, существенно превышающие ожидаемые погрешности для данных условий измерений. Они являются результатом промахов (просчетов), возникающих вследствие невнимания или недостаточной квалификации исполнителя, незамеченных неисправностей технических средств измерений и других причин. Грубые ошибки выявляют в процессе контроля измерений и исключают из дальнейшей обработки. С этой целью *все геодезические измерения и вычисления необходимо выполнять с контролем*.

Если результат измерений не содержит грубых ошибок, то в нем одновременно присутствуют систематические и случайные погрешности, что позволяет представить величину ϵ в формуле (1) как бы состоящей из двух частей, а именно

$$\epsilon = \theta + \Delta,$$

где θ — систематическая составляющая часть общей погрешности; Δ — случайная составляющая часть общей погрешности.

Систематической называют составляющую часть погрешности, которая остается постоянной или закономерно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины. Систематические погрешности могут сопутствовать каждому из элементов совокупности условий измерений, в связи с чем их обычно подразделяют на инструментальные, методические, личные, вызванные влиянием внешней среды.

Инструментальные систематические погрешности нередко возникают вследствие несоответствия фактической величины меры, с помощью которой выполняют измерения, ее номинальному значению.

Примеры.

1. Если фактическая длина мерной ленты отличается от ее номинального значения на какую-то величину ϕ , то в процессе измерений эта погрешность с неизбежностью (систематически) будет возникать при каждом уложении ленты, а общий результат измерения линии будет содержать систематическую часть погрешности $\theta = n\phi$, где n — число уложений ленты. Вместе с тем при многократном измерении этой линии той же лентой каждый повторный результат будет содержать постоянную систематическую погрешность θ .

2. Расстояние, определяемое нитяным дальномером теодолита ТЗ0, вычисляют по формуле $d = 100 l$, где 100 — коэффициент дальномера, l — дальномер-

ный отсчет по рейке. Если действительное значение коэффициента не 100, а, например, 99,7, то результат каждого измерения с неизбежностью будет уменьшен на величину $\phi_i = 0,3 l_i$. Однако $l_1 = 50$ см систематическая часть погрешности $\phi_1 = 15$ см, а при $l_2 = 150$ см величина погрешности $\phi_2 = 45$ см.

Если изучены природа возникновения или закономерности воздействия систематических погрешностей, то величину их влияния исключают из результатов измерений путем введения соответствующих поправок. Несмотря на это, полностью исключить влияние систематических погрешностей невозможно, поэтому погрешность ϵ всегда в той или иной мере содержит систематическую составляющую. Однако существуют критерии, позволяющие определить ее практическую незначимость по сравнению со случайной составляющей и тем самым упростить обработку результатов измерений и оценку их точности.

Когда результаты измерений практически не содержат систематических погрешностей, то их отклонение от истинного значения в основном определяется величиной случайной составляющей, так что

$$\Delta \approx x_{\text{изм}} - X. \quad (5)$$

Случайной погрешностью измерения называют составляющую часть общей погрешности, изменяющуюся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Такая изменчивость случайной составляющей обусловлена суммарным воздействием на результат измерения множества неконтролируемых факторов (например, округление результата при отсчитывании показаний измерительного средства, случайные колебания температуры и др.). Поэтому при проведении повторных измерений в одинаковых условиях каждая из многих возможных, но незначительных причин случайных изменений результатов может или появиться или не появиться. В итоге случайные изменения, сопутствующие всем повторным измерениям, могут быть разными как по величине, так и по знаку, вследствие чего *случайные погрешности проявляют свои свойства только во множестве бесконечно большого числа измерений и подчиняются статистическим закономерностям**. Поэтому при одном измерении единственный результат x и его отклонение Δ от истинного значения X не дают представления об общей величине случайной составляющей, присущей данным условиям измерений. Действительное суждение о размере случайной составляющей дает лишь полная совокупность разностей $\Delta_1 = x_1 - X$, $\Delta_2 = x_2 - X$, ..., $\Delta_n = x_n - X$, охватывающая множество всех возможных значений Δ_i (генеральная совокупность).

Числовые характеристики случайных погрешностей измерений

Поскольку полная совокупность Δ_i представляет собой случайную величину с математическим ожиданием 0 и дисперсией

* Свойства случайных погрешностей рассмотрены в § 116 учебного пособия [8].

$D\{\Delta_i\}$, теоретической числовой характеристикой случайной погрешности является *среднее квадратическое отклонение результатов измерений* *

$$\sigma = \sqrt{D\{\Delta_i\}}. \quad (6)$$

Величина σ характеризует средний разброс значений x_i вокруг истинного X во всей генеральной совокупности. Для неизменных условий измерений величина σ является постоянной, однако ее числовое значение неизвестно, так как фактическое число измерений n всегда ограничено. Поэтому практически для характеристики точности измерений используют *приближенную оценку* среднего квадратического отклонения, которую называют *средней квадратической погрешностью* и вычисляют по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta_i^2]}{n}}, \quad (7)$$

где n — число измерений.

Согласно свойствам случайных погрешностей их абсолютная величина для конкретных условий измерений не должна превышать определенного предельного значения. Такое значение, характеризующее наибольшую погрешность, при которой результат измерения может быть признан годным, называют *предельной случайной погрешностью* и рассчитывают по формуле

$$\Delta_{\text{пр}} = \tau m, \quad (8)$$

где τ — коэффициент, значение которого принимают равным 3 или 2,5 или 2 (при условии нормального распределения величин Δ_i).

По предельным погрешностям $\Delta_{\text{пр}}$ устанавливают допускаемые отклонения результатов измерений, причем коэффициент τ выбирают, исходя из практических, экономических и других соображений, обосновывающих допуски.

Если отклонение результата измерения превышает допустимую величину, то такой результат бракуют и измерение выполняют заново.

Глава II

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

§ 1. ОБЩИЕ ПРАВИЛА

Для вычислительной обработки результатов геодезических измерений используют различные *средства*: таблицы, логарифмические линейки, электронные клавишные вычислительные машины (ЭКВМ), программируемые ЭКВМ (ПЭКВМ), а также электронные цифровые вычислительные машины (ЭЦВМ).

* Понятие о случайной величине и параметрах ее распределения дано в § 115 учебного пособия [8].

В зависимости от объема и условий проведения вычислительных работ (полевые или камеральные) выбирают наиболее целесообразные средства и способы, которые требуют наименьших затрат при обеспечении заданной точности.

Поскольку точность вычисленных результатов не может быть выше точности исходных данных, *рекомендуется заранее определять достаточную, но не излишнюю точность вычислительных действий.* Простые вычисления с небольшим количеством цифр следует выполнять с помощью *устного счета*, позволяющего быстро и надежно получить окончательный результат.

Для этого необходимо научиться устно складывать и вычитать числа, содержащие 1—3 цифры. Не следует пользоваться счетными машинами при умножении и делении на такие простые числа, как два, четыре, пять.

При устном счете допускается округлять исходные данные в соответствии с требуемой точностью результата.

Примеры.

1. Пусть требуется вычислить (до сотых долей метра) значение абсолютной предельной погрешности длины линии $D=118,56$ м, измеренной стальной лентой с предельной относительной погрешностью $1/1500$.

Для устного вычисления по формуле $\Delta_{\text{пред}}=D/1500$ значение длины достаточно принять 120 м; тогда $\Delta_{\text{пред}} \approx 120/15 \cdot 10^{-2} = 8 \cdot 10^{-2} = 0,08$ м. Если использовать измеренное значение длины 118,56 м и выполнить вычисление на счетной машине, то полученный с заданной точностью результат будет тот же, однако устно такая задача решается быстрее.

2. Пусть требуется вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения площади $P=82,46$ га по формуле $m_p = 0,01 \sqrt{P}$, получив результат до сотых долей га. Для устного счета значение площади можно принять 81 га и извлечь квадратный корень, равный 9. Тогда $m_p \approx 0,09$ га. Решение задачи на счетной машине с извлечением корня из числа 82,46 даст тот же конечный результат.

Для использования устного счета полезно заучить на память значения квадратов и квадратных корней чисел от 1 до 100.

При возведении в степень чисел, оканчивающихся на 0, их удобно представлять в такой форме: $500^2 = (5 \cdot 10^2)^2 = 25 \cdot 10^4$; $140^2 = (14 \cdot 10)^2 = 196 \cdot 10^2$.

Устным счетом следует также пользоваться при приближенном контроле вычислений, подставляя в формулы округленные значения исходных данных.

Для решения геодезических задач, содержащих числа с большим количеством цифр, следует использовать вычислительные средства, позволяющие выполнять арифметические действия с минимальной затратой времени и по возможности без записи промежуточных результатов. Чтобы не оперировать с лишними цифрами, которые не соответствуют точности исходных аргументов, *при записях и вводе данных в счетные машины значения чисел надо округлять согласно принятым правилам* (см. § 3).

Для записей результатов вычислений *необходимо пользоваться специальными схемами, бланками и ведомостями*, определяющими последовательность вычислений без лишних действий и обеспечивающими промежуточный и общий контроль.

В процессе вычислений *цифры следует писать четко и аккуратно*, используя принятый вычислительный шрифт. Все записи необходимо вести так, чтобы в них мог свободно разобраться любой другой исполнитель.

При записях столбцов чисел в вычислительных схемах *цифры одинаковых разрядов следует располагать одну под другой*. При этом дробную часть числа отделяют запятой; многоразрядные числа желательно записывать с интервалами, например, 3 750 117,52.

Записи вычислений следует вести чернилами, *ошибочные результаты аккуратно перечеркивать и сверху писать исправленные значения*.

Все вычисления необходимо выполнять с контролем. Контроль осуществляют, используя другой ход решения данной задачи, или путем независимого повторного вычисления (в «две руки»). Перед вычислениями должны быть тщательно проверены все исходные данные.

При вычислениях нельзя пользоваться черновиками, так как переписывание цифрового материала требует лишних затрат и нередко сопровождается ошибками в записях.

В процессе геодезических вычислений, как правило, используют исходные данные, которые отражают не точные, а приближенные значения измеренных величин, т. е. являются приближенными числами. Арифметические действия с приближенными числами имеют ряд особенностей, которые необходимо знать и учитывать, чтобы рационализировать вычислительные процессы при решении геодезических задач.

§ 2. ЧИСЛА ТОЧНЫЕ И ПРИБЛИЖЕННЫЕ

Точные числа выражают безошибочное значение каких-либо величин и обычно имеют математическое происхождение.

Примерами таких чисел являются:

количественные натуральные числа (2; 5; 18; 129 и т. д.), полученные как результат счета предметов или их места в ряду (например, число углов в полигоне; количество повторных измерений и т. п.);

отвлеченные числа, отражающие эталонную совокупность условных единиц, принятых как аксиома (например, $1 \text{ м} = 100 \text{ см}$; $1 \text{ га} = 10\,000 \text{ м}^2$; $1^\circ = 60'$ и т. п.);

заранее установленные значения численных масштабов планов и карт (1 : 5000; 1 : 25 000) или высоты сечения рельефа (2 м; 5 м) и т. п.;

некоторые постоянные коэффициенты в теоретических формулах (например, площадь треугольника равна $0,5 \cdot ah$, где 0,5 — точное число);

численные значения, отражающие теоретические закономерности; например, сумма углов плоского многоугольника равна $180^\circ(n-2)$; число диагоналей в четырехугольнике — 2, пятиугольнике — 5, шестиугольнике — 9.

Приближенные числа выражают значение какой-либо величины, полученное с погрешностями, возникающими в результате измерений, вычислений или округлений. Чаще всего приближенное число выражает отвлеченное отношение какой-нибудь величины к другой величине того же рода, принятой за единицу.

Примерами приближенных чисел являются:

округленные значения некоторых иррациональных математических величин (например, $\pi \approx 3,14$; $\rho^\circ \approx 57,3^\circ$; $\sqrt{2} \approx 1,4$ и др.);

коэффициенты формул, полученные опытным путем (эмпирические), или коэффициенты, значения которых округлены для практического удобства использования формул (например, коэффициенты нитяных дальнометров современных зрительных труб принимают равными 100, в то время как их действительное значение может несколько отклоняться от этой величины);

результаты измерений различных физических величин с помощью соответствующих технических средств.

Так как в геодезии непосредственно или косвенно измеряют физические величины (углы, длины линий, площади фигур и др.), а процесс измерений по своей природе случаен и сопровождается погрешностями, то *результаты геодезических измерений всегда являются приближенными числами.*

Числа (точные и приближенные) бывают целыми или дробными и состоят из разрядов. Так, в числе, выраженном десятичной дробью, влево от запятой последовательно расположены разряды единиц, десятков, сотен, тысяч, десятков тысяч и т. д., а вправо от запятой — разряды десятых, сотых, тысячных долей единицы и т. д. Например, в числе 1802,36 цифра 1 находится в разряде тысяч, цифра 8 — в разряде сотен, цифра 0 — в разряде десятков, цифра 2 — в разряде единиц, цифра 3 — в разряде десятых, а цифра 6 — в разряде сотых долей единицы.

Точность приближенных чисел

Точность приближенного числа, являющегося результатом измерения, зависит от величины его погрешности*.

В числовых значениях результатов измерений обычно записывают такое количество цифр, которое позволяет получить отсчетное устройство соответствующего средства измерений.

Примеры.

Если угломерный прибор позволяет отсчитывать целые минуты, то отсчет записывают $35^\circ 00'$, а не 35° и не $35^\circ 00' 00''$;

результат измерения отрезка линии на плане по миллиметровой шкале линейки, позволяющей отсчитывать сотые доли сантиметра, должен быть записан 14,00 см, а не 14 см.

Однако в числовом значении результата, полученном с помощью технического средства, не всегда все цифры являются верными, так как погрешность округления может быть меньше общей

* Понятие о погрешностях измерений см. в гл. 1.

погрешности измерения. Если величина погрешности (средней квадратической или предельной) известна, то результат можно представить в виде интервальной оценки истинного значения измеренной величины. Например, для линии $D=440,53$ м известно значение предельной погрешности $\Delta_D=0,21$ м. Тогда результат измерения можно записать в виде $D=440,53\pm 0,21$ м. Это означает, что истинное значение длины линии находится в интервале от 440,32 до 440,74 м.

В большинстве случаев значение погрешности конкретного измерения неизвестно, а следовательно, и неизвестно точное значение измеренной величины. Однако в геодезической практике почти всегда бывает установлена предельная погрешность (абсолютная или относительная) для определенных условий измерений (объекта измерения, технического средства, метода и т. д.). По этим значениям предельных погрешностей можно вычислить интервальную оценку приближенного числа, выражающего результат измерения.

Если известна не абсолютная, а относительная предельная погрешность, то на основе формулы (2) можно вычислить приближенное значение абсолютной предельной погрешности. Например, длина линии $D=109,25$ м получена с предельной относительной погрешностью измерения $1/1000$. Тогда с учетом абсолютной предельной погрешности результат измерения $D=109,25\pm 0,11$ м.

Десятичные знаки

Результаты геодезических измерений чаще всего выражают десятичными дробями. Все *цифры десятичной дроби, расположенные справа от запятой, называют десятичными знаками*. Например, приближенное число 123,17 имеет два десятичных знака, а число 1,53420 — пять десятичных знаков.

Значащие цифры

Значащие цифры — это все цифры числа от первой слева, не равной нулю, до последней записанной цифры справа. При этом нули справа не считаются значащими цифрами, когда они заменяют неизвестные нам цифры или поставлены вместо других цифр при округлении данного числа.

Так, например, известно, что радиус Земли приближенно равен 6371 км. В этом числе 4 значащие цифры. Однако для некоторых инженерных расчетов значение радиуса достаточно округлять до $6400=64\cdot 10^2$ км. Такое приближенное число имеет только две значащие цифры, поскольку в результате округления на место десятков и единиц числа записаны нули, заменившие известные нам цифры.

Примеры.

Число 12,0 имеет три значащие цифры.

Число 40 имеет две значащие цифры.

Число $120\cdot 10^3$ имеет три значащие цифры.

Число $0,514 \cdot 10^4$ имеет три значащие цифры.

Число $0,0056 = 56 \cdot 10^{-4}$ имеет две значащие цифры.

Задачи для самостоятельного решения

1. В каком разряде находится цифра 6 приближенного числа 3,1416?

2. Написать приближенные значения постоянных π и ρ' , заполнив цифрами по 4 разряда.

3. Длина линии $D = 206,23$ м измерена стальной лентой с относительной предельной погрешностью $1/2000$. Рассчитать величину абсолютной предельной погрешности и записать результат измерения с учетом этой величины.

4. Сколько десятичных знаков и значащих цифр имеют приближенные числа: 0,802; 25,20; $249 \cdot 10^2$; 0,04030?

5. Как правильно записать приближенное число 1401,2, если в нем верны только две значащие цифры?

§ 3. ПРАВИЛА АРИФМЕТИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ С ПРИБЛИЖЕННЫМИ ЧИСЛАМИ

Округление чисел

Чтобы не оперировать с лишними цифрами, затрудняющими вычисления, но не характеризующими требуемую точность, отдельные числовые значения исходных данных следует округлять. Правила округления одинаковы для целых и дробных чисел.

Округление числа представляет собой отбрасывание цифр справа до определенного разряда с возможным изменением цифры этого разряда.

Пример. Округление числа 132,584 до сотых долей единицы (до второго разряда десятичных знаков) даст результат 132,58. Округление этого же числа до десятых долей единицы (до первого разряда десятичных знаков) даст результат 132,6; округление данного числа до целого (до разряда единиц) даст результат 133; округление до разряда десятков даст результат $13 \cdot 10$ или $1,3 \cdot 10^2$.

При геодезических вычислениях применяют следующие правила округления:

1. Если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) меньше 5, то последняя сохраняемая цифра не меняется.

Примеры.

Округление числа 12,23 до первого десятичного знака даст результат 12,2.

Округление числа 0,02499 до второго десятичного знака даст результат 0,02.

Округление числа 8449 до разряда сотен даст результат $84 \cdot 10^2$.

Округление числа 12 456 до разряда тысяч даст результат $12 \cdot 10^3$.

2. Если первая из отбрасываемых цифр (считая слева направо) больше 5, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу.

Примеры.

Округление числа 24,6 до целых единиц даст результат 25. Округление числа 0,2361 до сотых долей (до второго разряда десятичных знаков) даст результат 0,24.

Округление числа 1483 до целых сотен даст результат $15 \cdot 10^2$.

Округление числа 0,00375 до тысячных долей единицы даст результат $0,004$ или $4 \cdot 10^{-3}$.

3. Когда отбрасываемая часть числа *ровно 5*, то последнюю сохраняемую цифру увеличивают на единицу, если она нечетная,

и оставляют без изменения, если она четная (т. е. цифра разряда, до которого округляют число, в данном случае всегда должна быть четной).

Примеры.

Округление числа 4,55 до десятых долей даст результат 4,6.

Округление числа 122,5 до целых единиц даст результат 122.

Округление числа 0,0695 до тысячных долей единицы (до третьего разряда десятичных знаков) даст результат 0,070 или $70 \cdot 10^{-3}$.

4. Особо следует выделить положение, когда отбрасываемая цифра 5 образовалась в результате предварительного округления цифр в последующих за ней разрядах. В этом случае необходимо действовать согласно следующим правилам:

если отбрасываемая цифра 5 получилась в результате предыдущего округления в большую сторону, то последняя цифра разряда, до которого округляют число, сохраняется; например, округление до первого десятичного знака числа 0,15, полученного после округления до двух десятичных знаков числа 0,1499, даст результат 0,1;

если отбрасываемая цифра 5 получилась в результате предыдущего округления в меньшую сторону, то последнюю цифру разряда, до которого округляют число, увеличивают на единицу; например, округление до одного десятичного знака числа 0,25, полученного в результате предыдущего округления числа 0,2501, даст результат 0,3.

В связи с этим *округление приближенных чисел необходимо выполнять сразу до требуемого разряда*, а не по этапам. Так, например, округление числа 565,46 до разряда целых единиц непосредственно дает результат 565 (правильный). Округление по этапам могло бы привести к ошибке, а именно: 1-й этап округления числа 565,46 до десятых долей дал бы результат 565,5; 2-й этап округления числа 565,5 до целых единиц дал бы результат 566 (неправильный).

Следует отметить, что предельная погрешность округления во всех случаях не превышает половины единицы последнего сохраняемого разряда числа, т. е. $\Delta_{\text{пред}} = 0,5$ единицы последнего знака, а средняя квадратическая погрешность округления $m_{\text{ок}} \approx \frac{\Delta_{\text{пред}}}{\sqrt{3}} = 0,5 : \sqrt{3}$, т. е. приближенно равна 0,3 единицы последнего сохраняемого разряда.

С этих позиций *необходимо различать записи приближенных чисел по количеству значащих цифр*.

Примеры.

1. Следует различать числа 3,4 и 3,40. Запись 3,4 означает, что верны только цифры в разрядах единиц и десятых долей, а истинное значение числа может быть, например, 3,45 и 3,35. Запись 3,40 означает, что верны и сотые доли числа, а истинное значение может быть 3,405 и 3,395, но, например, не 3,409 и не 3,394.

2. Запись 385 означает, что все цифры данного числа верны; если же за последнюю цифру ручаться нельзя, то число должно быть записано $3,8 \cdot 10^2$.

3. Если в числе 3740 верны лишь две первые цифры, оно должно быть записано $37 \cdot 10^2$ или $3,7 \cdot 10^3$.

Сложение и вычитание приближенных чисел

При сложении и вычитании приближенных чисел *в окончательном результате следует сохранять столько десятичных знаков, сколько их имеется в слагаемом (или вычитаемом), содержащем наименьшее количество десятичных знаков.* Поэтому перед сложением (вычитанием) приближенные числа необходимо округлить, оставив в них на один десятичный знак больше, чем в слагаемом (вычитаемом), имеющем наименьшее количество десятичных знаков. После сложения (вычитания) чисел окончательный результат округляют согласно вышеуказанному правилу.

Пример. Сложить приближенные числа $215,635 + 1,2 + 26,18 + 24,997$. Наименьшее количество десятичных знаков имеет число 1,2. Поэтому, согласно правилам, следует складывать числа: $215,64 + 1,2 + 26,18 + 25,00 = 268,02 \approx 268,0$.

Умножение, деление, возведение в степень

Точность окончательного результата умножения, деления и возведения в степень приближенных чисел зависит от количества значащих цифр в исходных данных, в связи с чем необходимо соблюдать следующие правила.

1. При умножении и делении приближенных чисел *в окончательном результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их имеется в числе (в сомножителе, делимом, делителе) с наименьшим количеством значащих цифр.*

Поэтому при умножении или делении чисел с разным количеством значащих цифр их округляют, оставляя на одну значащую цифру больше, чем в числе с наименьшим количеством значащих цифр. После выполнения арифметических действий окончательный результат округляют согласно указанному выше правилу.

Пример. Вычислить произведение приближенных чисел $106,504 \times 1,3 \times 0,3085$. Округлив сомножители, получим: $107 \times 1,3 \times 0,308 = 42,8428 \approx 43$.

При возведении приближенного числа в степень *в окончательном результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их содержится в основании данного числа.*

Примеры.
 $1,6^2 \approx 2,6$; $13,44^2 \approx 180,6$; $0,123^2 \approx 0,0151 = 1,5 \cdot 10^{-2}$; $0,3^3 \approx 0,03 = 3 \cdot 10^{-2}$; $0,7^2 \approx 0,5$.

При извлечении корня *в окончательном результате следует сохранять столько значащих цифр, сколько их имеется в подкоренном числе.*

Примеры.

$$\sqrt{0,98} \approx 0,99; \sqrt{0,00466} \approx 0,0683; \sqrt{130,8} \approx 11,44;$$

$$\sqrt{0,03} \approx 0,2; \sqrt{0,2} \approx 0,4; \sqrt[3]{10} \approx 2,2.$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Сколько десятичных знаков и значащих цифр имеют приближенные числа: 0,802; 25,20; $249 \cdot 10^2$; 0,04030?

2. Как правильно записать приближенное число 1401,2, если в нем верны только две значащие цифры?
3. Округлить результаты измеренных расстояний до целых метров: 124,51; 256,50; 235,05; 79,49.
4. Округлить приближенные числа до сотых долей единицы: 0,03499; 0,02501; 143,555.
5. Округлить приближенные числа до целых сотен: 1250; 751; 17 449.
6. Округлить приближенные числа до тысячных долей единицы: 0,06995; 0,0205; 0,01451; 1,57350.
7. Рассчитать предельные абсолютные погрешности округления приближенных чисел: 132,37; 172; 87,2.
8. Рассчитать предельные относительные погрешности округления приближенных чисел: 12,8; 128; 1280.
9. Вычислить алгебраические суммы приближенных чисел, предварительно округлив их в соответствии с правилами:
 $301,421 - 2,15 + 211 - 199,80 + 0,252$;
 $71,842 + 254,36 - 2,9 - 24,197$;
 $216,5^\circ - 117^\circ 50' + 19^\circ 34,3' - 0^\circ 08' 48'' + 103^\circ$.
10. С помощью устного счета выполнить следующие арифметические действия:

$$19,8 \times 505 \times 0,04; \quad 172 : 3438; \quad 0,2 \times 18,2^2; \quad \sqrt{0,4};$$

$$\sqrt{1,2}; \quad \sqrt{0,05}; \quad \sqrt{0,8}; \quad \sqrt{0,01}; \quad \sqrt[3]{0,01}; \quad \sqrt[3]{9}.$$

§ 4. ПРИБЛИЖЕННЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ РАДИАННОЙ МЕРЫ УГЛА

При решении геодезических задач этот способ вычислений применяют, когда конечный результат достаточно знать приближенно (с 2—3 значащими цифрами).

Известно, что любой центральный угол в радианной мере (рис. 1) равен отношению дуги окружности $\overset{\frown}{MN} = l$ к радиусу R , т. е.

$$\alpha_{\text{рад}} = l/R. \quad (9)$$

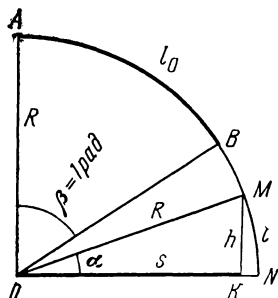


Рис. 1. Радианная мера угла

Если дуга окружности $AB = l_0 = R$, то центральный угол $\beta = l_0/R = 1$ рад, а отношение всей окружности $(0, R)$ к радиусу равно $2\pi \approx 6,283185$ рад.

Между градусной и радианной мерой любого центрального угла существует зависимость, которую можно выразить постоянным отношением

$$\rho = \frac{\alpha \text{ в градусной мере}}{\alpha \text{ в радианной мере}} = \text{const.} \quad (10)$$

Поскольку полная окружность $(0, R)$ в градусной мере содержит 360° , а в радианной мере 2π радиан, то можно получить следующие приближенные значения величины ρ : *

* В приведенных отношениях радианная мера условно представлена в виде отвлеченного числа, хотя в действительности она является именованной величиной — радиан (рад), принятой за единицу измерения плоского угла в Международной системе единиц физических величин (СИ).

$$\left. \begin{aligned} \rho^{\circ} &= \frac{360^{\circ}}{6,28318} \approx 57,2958^{\circ} \approx 57,3^{\circ}; \\ \rho' &= \frac{360 \cdot 60'}{6,28318} \approx 3438' \approx 3440' \approx 34' \cdot 10^2; \\ \rho'' &= \frac{360 \cdot 60 \cdot 60''}{6,28318} \approx 206\,265'' \approx 206'' \cdot 10^3. \end{aligned} \right\} (11)$$

На основе выражения (10) переход от градусной к радианной мере угла осуществляют по формуле

$$\alpha_{\text{рад}} = \frac{\alpha^{\circ}}{\rho^{\circ}} = \frac{\alpha'}{\rho'} = \frac{\alpha''}{\rho''}. \quad (12)$$

В формуле (12) величину ρ подставляют с таким количеством значащих цифр, которое обеспечивает заданную точность результата вычислений.

Примеры.

1. Вычислить радианную меру угла $\alpha = 19^{\circ}06'$ с округлением до трех десятичных знаков.

$$\alpha_{\text{рад}} \approx \frac{19,1^{\circ}}{57,3^{\circ}} = \frac{1}{3} \approx 0,333 \text{ рад.}$$

2. С точностью до двух значащих цифр вычислить радианную меру угла $\varphi = 0^{\circ}05'10''$.

или
$$\varphi_{\text{рад}} \approx \frac{5,2'}{3440'} \approx 0,0015 \text{ рад}$$

$$\varphi_{\text{рад}} \approx \frac{310''}{206'' \cdot 10^3} \approx 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ рад.}$$

Выражения (9) и (12) позволяют вычислять приближенную величину длины дуги окружности по измеренным значениям радиуса и центрального угла, выраженного в градусной мере. Для этого используют формулу

$$l = R \cdot \alpha_{\text{рад}} \approx R \frac{\alpha^{\circ}}{\rho^{\circ}} = R \frac{\alpha'}{\rho'} = R \frac{\alpha''}{\rho''}. \quad (13)$$

Пример. Вычислить длину дуги l (см. рис. 1), если радиус $R = 86$ м, а центральный угол $\alpha = 0^{\circ}25'$.

$$l = \frac{R \cdot \alpha'}{\rho'} \approx \frac{86 \cdot 25'}{3440'} = \frac{25}{40} = 0,62 \text{ м.}$$

Аналогично вычисляют градусную величину центральных углов по известным значениям длины дуги и радиуса окружности, пользуясь формулами

$$\alpha^{\circ} = \frac{l}{R} \rho^{\circ}; \quad \alpha' = \frac{l}{R} \rho'; \quad \alpha'' = \frac{l}{R} \rho''. \quad (14)$$

Пример. Вычислить центральный угол τ (в секундах), если длина дуги окружности $l = 21$ мм и радиус $R = 104$ м.

$$\tau'' \approx \frac{l}{R} \rho'' \approx \frac{l_{\text{мм}}}{R_{\text{м}}} \cdot 206'' \cdot 10^3 = \frac{l_{\text{мм}}}{R_{\text{м}}} 206'' \approx \frac{21 \cdot 206''}{104} \approx 42''.$$

Выражение (12) позволяет также выполнять приближенные вычисления при решении геодезических задач по формулам, в которых участвуют синусы и тангенсы малых углов. Из рис. 1 видно, что при малых углах α отношения

$$\frac{MN}{OM} = \alpha_{\text{рад}} \approx \frac{MK}{OM} = \sin \alpha \approx \frac{MK}{OK} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{или} \quad \sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha_{\text{рад}} = \frac{\alpha^{\circ}}{\rho^{\circ}} = \frac{\alpha'}{\rho'} = \frac{\alpha''}{\rho''}. \quad (15)$$

Примеры.

1. По формуле (15) вычислить $\sin 8^{\circ}36'$ с округлением до третьего десятичного знака.

$$\sin 8^{\circ}36' \approx \frac{8,6^{\circ}}{57,3^{\circ}} \approx 0,150 \quad \text{или} \quad \sin 8^{\circ}36' \approx \frac{516'}{3440'} \approx 0,150.$$

2. Вычислить превышение $h_{OM} = S \cdot \operatorname{tg} \alpha_{OM}$ (см. рис. 1), если $S=172$ м, $\alpha_{OM}=+1^{\circ}12'$.

$$h_{OM} \approx + \frac{172 \cdot 72'}{3440'} = + \frac{72}{20} = +3,6 \text{ м.}$$

3. По формуле $\Delta d = 2d \sin^2 \frac{\nu}{2}$ вычислить поправку за наклон линии, измеренной лентой, если $d=34$ м, $\nu=5^{\circ}41'$.

$$\Delta d \approx 68 \left(\frac{170}{34 \cdot 10^2} \right)^2 = \frac{68}{4 \cdot 10^2} = 0,17 \text{ м.}$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Выразить в радианной мере следующие величины углов: $180^{\circ}00'$; $143^{\circ}15'$; $2^{\circ}52'$; $0^{\circ}69'$; $0^{\circ}01'43''$.

2. Выразить в градусной мере следующие величины углов: 0,40 рад; 1,5 рад; 2,5 рад; 3,14 рад; 4,99 рад.

3. Вычислить с точностью до трех значащих цифр длину дуги MN (см. рис. 1), если $\alpha_1=17'$, $R_1=112$ м; $\alpha_2=1^{\circ}26'$, $R_2=98$ м; $\alpha_3=2^{\circ}53'$, $R_3=73$ м; $\alpha_4=25,5^{\circ}$, $R_4=114,5$ м; $\alpha_5=0^{\circ}02'16''$, $R_5=413$ м.

4. По формуле (15) вычислить с округлением до двух десятичных знаков величины $\operatorname{tg} \alpha$, если: $\alpha_1=2^{\circ}51'$; $\alpha_2=1^{\circ}26'$; $\alpha_3=5^{\circ}44'$; $\alpha_4=11^{\circ}28'$.

5. С округлением до целых минут вычислить величину углов α , если $\sin \alpha_1 = 0,100$; $\operatorname{tg} \alpha_2 = 0,015$; $\operatorname{tg} \alpha_3 = 0,075$; $\sin \alpha_4 = 0,029$.

6. С помощью радианной меры угла вычислить превышение, если горизонтальное проложение линии 173 м, а ее угол наклона $+0^{\circ}56,5'$.

7. Вычислить (в градус.) угол α (рис. 1), если $h_{OM}=+5,2$ м, а $S=191$ м.

8. Вычислить радиус кривизны R внутренней поверхности ампулы цилиндрического уровня, если деление ампулы $b=2$ мм, а цена деления уровня $\tau=41''$.

9. Вычислить ошибку в положении основания перпендикуляра длиной 100 м, опущенного на линию эккером, с погрешностью $15'$.

10. Угол между плоскостями двузеркального эккера равен $45^{\circ}05'$. Рассчитать погрешности в положении точек концов перпендикуляров, построенных данным эккером, при их длине: $d_1=68$ м, $d_2=115$ м; $d_3=258$ м.

§ 5. ВЫЧИСЛЕНИЯ НА ЭКВМ

Для решения геодезических задач, содержащих вычислительные действия с достаточно большим количеством цифр, целесообразно использовать ЭКВМ типа «Электроника» (БЗ-18М, БЗ-35, БЗ-36,

БЗ-37 и др.). Клавиши таких микрокалькуляторов выполняют две функции, что практически обеспечивает возможность решения задач без помощи других вычислительных средств. Наличие регистров памяти и констант позволяет эффективно выполнять вычисления без промежуточных записей и повторного ввода данных. Регистр индикации обеспечивает визуальный контроль ввода данных и результатов вычислений.

Техническое устройство, назначение клавиш, порядок подготовки к работе и другие особенности использования различных типов ЭКВМ описаны в руководствах по их эксплуатации.

Перед началом решения каждой задачи необходимо следить за тем, чтобы регистры ЭКВМ были очищены от предыдущих чисел. При решении геодезических задач с тригонометрическими функциями углов, выраженных в градусной мере, *переключатель «ГРАД—РАД» должен быть установлен в положение «ГРАД»*. Для перевода угловых минут и секунд в десятичные доли градуса используют алгоритмы, приведенные ниже в примерах вычислений на ЭКВМ БЗ-37.

Вычислительная схема каждого примера построена следующим образом: в левой колонке показан порядок нажатия клавиш и ввода чисел; в средней — числовое значение в регистре индикатора, полученное после выполненной операции; в правой колонке даны буквенные обозначения величин на индикаторе, комментирующие операционные действия в соответствии с заданным алгоритмом.

Пример 1. По формуле $h_{AB} = S_{AB} \cdot \operatorname{tg} \nu_{AB}$ вычислить превышение с точки *A* на точку *B* при $S_{AB} = 68,5$ м и $\nu_{AB} = -1^{\circ}37,5'$.

Решение

| | | |
|--|------------|--|
| 37 \square 5 \div 60 \square \square + | 0,625 | Десятичные доли градуса |
| 1 \square \square /-/ | -1,625 | ν° |
| \square F \square tg \square \square x | -0,028369 | $\operatorname{tg} \nu_{AB}$ |
| 68 \square 5 \square = | -1,9432765 | $S_{AB} \cdot \operatorname{tg} \nu_{AB} = h_{AB}$ |

Результат: $h_{AB} = 68,5 \text{ м} \cdot \operatorname{tg} (-1^{\circ}37,5') \approx -1,94 \text{ м}$.

Пример 2. По формуле $\nu_{AB} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} (h_{AB}/S_{AB})$ вычислить угол наклона линии *AB* при $h_{AB} = -2,717$ м и $S_{AB} = 133,1$ м.

Решение

| | | |
|--|------------|--|
| 2 \square 717 \square /-/ \square \square \div 133 \square 9 \square 1 \square = | -0,0204132 | $h_{AB} : S_{AB} = \operatorname{tg} \nu_{AB}$ |
| \square F \square arc \square tg | -1,169424 | ν_{AB}° в градусах |
| \square - \square 1 \square /-/ \square \square = \square x | -0,169424 | десятичные доли градуса |
| 60 \square = | -10,16544 | минуты |

Результат: $\nu_{AB} = \arctg \frac{-2,717 \text{ м}}{133,1 \text{ м}} \approx -1^{\circ}10,2'$.

Пример 3. По формуле $\Delta d = 2d \sin^2 \nu/2$ вычислить поправку за наклон линии, измеренной лентой, при $d=30$ м и $\nu=7^{\circ}15'$.

Решение

| | | |
|--------------------|-----------|------------------------------------|
| 15 \div 60 $=$ + | 0,25 | десятичные доли градуса |
| 7 $=$ \div | 7,25 | ν° |
| 2 $=$ | 3,625 | $\nu^{\circ}/2$ |
| F sin x | 0,063226 | $\sin \nu/2$ |
| $=$ x | 0,0039975 | $\sin^2 \nu/2$ |
| 30 $=$ x | 0,119925 | $d \cdot \sin^2 \nu/2$ |
| 2 $=$ | 0,23985 | $2d \cdot \sin^2 \nu/2 = \Delta d$ |

Результат: $\Delta d = 2 \cdot 30 \text{ м} \cdot \sin^2 \left(\frac{7^{\circ}15'}{2} \right) \approx 0,24 \text{ м}$.

Пример 4. По формуле $f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ вычислить невязку в периметре теодолитного хода при $f_x = -0,72$ м и $f_y = +0,88$ м.

Решение

| | | |
|-------------------------------------|-----------|------------------------------|
| 72 F $\sqrt{\text{п} + \text{x}^2}$ | 0,72 | f_x |
| 88 F $\sqrt{\text{п} + \text{x}^2}$ | 0,88 | f_y |
| F ип | 1,2928 | $f_x^2 + f_y^2$ |
| F $\sqrt{\text{п}}$ | 1,1370136 | $f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ |

Результат: $f_s = \sqrt{0,72^2 + 0,88^2} \approx 1,14 \text{ м}$.

Пример 5. Вычисление средней квадратической погрешности

По формуле $m_{\beta} = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$ вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения угла теодолитом, если известно 6 случайных истинных погрешностей отдельных равнооточных измерений: $\Delta_1 = +18''$; $\Delta_2 = -41''$; $\Delta_3 = -17''$; $\Delta_4 = +19''$; $\Delta_5 = +39''$; $\Delta_6 = -20''$.

Решение

| | | |
|--|-----------|-------------------------------|
| 18 \boxed{F} $\overbrace{\Pi+X^2}$ | 18 | Δ_1 |
| 41 \boxed{F} $\overbrace{\Pi+X^2}$ | 41 | Δ_2 |
| 17 \boxed{F} $\overbrace{\Pi+X^2}$ | 17 | Δ_3 |
| 19 \boxed{F} $\overbrace{\Pi+X^2}$ | 19 | Δ_4 |
| 39 \boxed{F} $\overbrace{\Pi+X^2}$ | 39 | Δ_5 |
| 20 \boxed{F} $\overbrace{\Pi+X^2}$ | 20 | Δ_6 |
| \boxed{F} $\overbrace{\Pi\P}$ $\overbrace{\div}$ | 4576 | $[\Delta^2]$ |
| 6 $\boxed{=}$ | 762,66666 | $[\Delta^2] : n = m_\beta^2$ |
| \boxed{F} $\overbrace{\sqrt{\quad}}$ | 27,61642 | $\sqrt{[\Delta^2]} : n = m_p$ |

Результат: $m_\beta = \sqrt{\frac{18^2+41^2+17^2+19^2+39^2+20^2}{6}} \approx 28''$.

Пример 6. Прямая геодезическая задача

По формулам

$$X_B = X_A + \Delta x_{AB} = X_A + S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB};$$

$$Y_B = Y_A + \Delta Y_{AB} = Y_A + S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}$$

вычислить координаты точки B (X_B, Y_B), если известны координаты точки $A(X_A, Y_A)$, дирекционный угол (α_{AB}) и горизонтальное проложение (S_{AB}) линии AB (рис. 2). Вычисление приращений координат проконтролировать по формуле $\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \Delta Y_{AB} / \Delta X_{AB}$. Запись исходных данных и вычисленных координат точки B приведена в табл. 1.

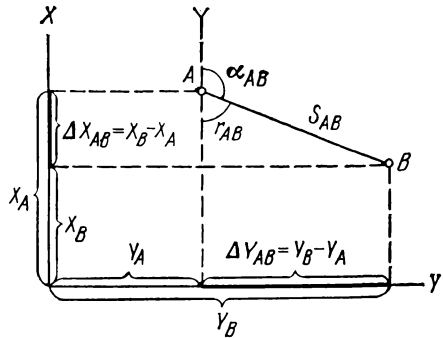


Рис. 2. Прямая и обратная геодезические задачи

Таблица 1

| Точки | $S_{AB}, \text{ м}$ | α_{AB} | Приращения, м | | Координаты, м | |
|-------|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------|---------|
| | | | ΔX_{AB} | ΔY_{AB} | x | y |
| A | | | | | 3006,28 | 1298,57 |
| B | 198,63 | 119°34,3' | -98,03 | +172,76 | 2908,25 | 1471,33 |

Решение

| | | | |
|------------------|---|------------|--|
| 34 | $\boxed{9}$ $\boxed{3}$ $\boxed{\div}$ $\boxed{60}$ $\boxed{+}$ | 0,571666 | десятичные доли градуса |
| 119 | $\boxed{=}$ \boxed{F} $\boxed{\text{зап}}$ | 119,57166 | α_{AB}° |
| | \boxed{F} $\boxed{\cos}$ $\boxed{\times}$ | -0,493512 | $\cos \alpha_{AB}$ |
| 198 | $\boxed{9}$ $\boxed{63}$ $\boxed{=}$ | -98,026288 | $\Delta X_{AB} = S_{AB} \cdot \cos \alpha_{AB}$ |
| | \boxed{F} $\boxed{\text{X} \leftrightarrow \pi}$ | 119,57166 | α_{AB}° |
| | \boxed{F} $\boxed{\sin}$ $\boxed{\times}$ | 0,869739 | $\sin \alpha_{AB}$ |
| 198 | $\boxed{9}$ $\boxed{63}$ $\boxed{=}$ | 172,75625 | $\Delta Y_{AB} = S_{AB} \cdot \sin \alpha_{AB}$ |
| Контроль: | | | |
| | $\boxed{\div}$ \boxed{F} $\boxed{\text{X} \leftrightarrow \pi}$ $\boxed{=}$ | -1,7623461 | $\text{tg } \alpha_{AB} = \Delta Y_{AB} / \Delta X_{AB}$ |
| | \boxed{F} $\boxed{\text{arc}}$ $\boxed{\text{tg}}$ | -60,42831 | $\alpha_{AB}^{\circ} - 180^{\circ}$ |
| | $\boxed{+}$ $\boxed{180}$ $\boxed{=}$ | 119,57169 | α_{AB}° |

Результат: $\alpha_{AB}^{\circ} \approx 119,5717^{\circ}$;

$$\Delta X_{AB} = 198,63 \cdot \cos 119,5717^{\circ} \approx -98,03 \text{ м};$$

$$\Delta Y_{AB} = 198,63 \cdot \sin 119,5717^{\circ} \approx +172,76 \text{ м}.$$

Контроль:

$$\alpha_{AB}^{\circ} = \text{arctg} \left(\frac{-98,03}{+172,76} \right) + 180^{\circ} \approx 119,5717^{\circ}.$$

Пример 7. Обратная геодезическая задача
По формулам

$$r_{AB} = \text{arctg} \frac{Y_B - Y_A}{X_B - X_A} = \text{arctg} \Delta Y_{AB} / \Delta X_{AB} \text{ и}$$

$$S_{AB} = \frac{\Delta Y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}}$$

вычислить дирекционный угол (α_{AB}) и горизонтальное проложение (S_{AB}) линии AB (см. рис. 2), если известны координаты точек $A(X_A, Y_A)$ и $B(X_B, Y_B)$. Название румба r_{AB} определить по соответствующим знакам приращений координат, приведенным в табл. 2.

Таблица 2

| Знаки приращений | | Название румба | Интервал дирекционного угла |
|------------------|-----------------|----------------|-----------------------------|
| ΔX_{AB} | ΔY_{AB} | | |
| + | + | СВ | $0^{\circ} - 90^{\circ}$ |
| - | + | ЮВ | $90 - 180$ |
| - | - | ЮЗ | $180 - 270$ |
| + | - | СЗ | $270 - 360$ |

Вычисления проконтролировать по формуле

$$S_{AB} = \frac{\Delta X_{AB}}{\cos \alpha_{AB}}.$$

Запись исходных данных и результатов вычислений приведена в табл. 3.

Таблица 3

| Обозначения | Значения величин |
|---|-------------------------------------|
| X_B X_A | 2908,25 3006,28 |
| $X_B - X_A$ | -98,03 |
| Y_B Y_A | 1471,33 1298,57 |
| $Y_B - Y_A$ | +172,76 |
| r_{AB} α_{AB} S_{AB} , м | ЮВ: 60°25,7' 119°34,3' 198,64 |

Решение

| | | |
|---|------------|---|
| 2908 [9] 25 [-] 3006 [9] 28 [=] [F] ЗАП | -98,03 | $X_B - X_A = \Delta X_{AB}$ |
| 1471 [9] 33 [-] 1298 [9] 57 [=] [÷] | +172,76 | $Y_B - Y_A = \Delta Y_{AB}$ |
| [F] [x↔π] [=] | -1,7623176 | $\operatorname{tg} \alpha_{AB} = \Delta Y_{AB} / \Delta X_{AB}$ |
| [F] [arc] [tg] [+] | -60,42791 | r_{AB} |
| 180 [=] [F] ЗАП [-] | 119,57209 | α_{AB}° |
| 119 [x] | 0,57209 | десятичные доли гра- |
| 60 [=] | 34,3254 | дуса |
| [F] [ип] | 119,57209 | минуты |
| [F] [sin] [÷] | 0,869736 | α_{AB}° |
| 172 [9] 76 [=] | 0,0050343 | $\sin \alpha_{AB}$ |
| [F] [1/x] | 0,0050343 | $1/S_{AB} = \frac{\sin \alpha_{AB}}{\Delta Y_{AB}}$ |
| Контроль: | 198,63734 | S_{AB} |
| [F] [ип] | 119,57209 | α_{AB}° |
| [F] [cos] [÷] | -0,493518 | $\cos \alpha_{AB}$ |
| 98 [9] 03 [-] [=] | 0,0050343 | $\frac{1}{S_{AB}} = \frac{\cos \alpha_{AB}}{\Delta X_{AB}}$ |
| [F] [1/x] | 198,63734 | S_{AB} |

Результат:

$$\Delta X_{AB} = 2908,25 - 3006,28 = -98,03 \text{ (знак минус указывает южное направление);}$$

$$\Delta Y_{AB} = 1471,33 - 1298,57 = +172,76 \text{ (знак плюс указывает восточное направление)}$$

$$r_{AB} = \arctg \left(\frac{+172,76}{-98,03} \right) \approx \text{ЮВ: } 60,4279';$$

$$\alpha_{AB} = 180^\circ - 60,4279^\circ = 119,5721^\circ \approx 119^\circ 34,3';$$

$$S_{AB} = 172,76 : \sin 119,5721^\circ \approx 198,64 \text{ м.}$$

Контроль:

$$S_{AB} = -98,03 : \cos 119,5721^\circ \approx 198,64 \text{ м.}$$

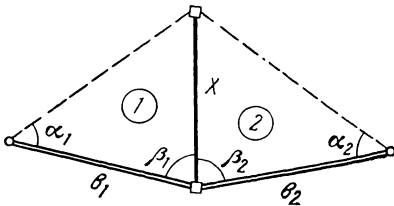


Рис. 3. Определение недоступного расстояния

Пример 8. Вычисление недоступного расстояния (рис. 3).

По измеренным базисам b_i и углам α_i и β_i вычислить (дважды) расстояние $x_i = \frac{b_i \sin \alpha_i}{\sin(\alpha_i + \beta_i)}$. Контролем

является выполнение неравенства

$$\frac{|x_1 - x_2|}{x_i} \leq \frac{1}{1000}.$$

Исходные данные и результаты вычислений приведены в табл. 4.

Решение (для 1-го треугольника)

| | | | | |
|-----|----|---|-------|-----|
| 13 | 9 | ÷ | 60 | + |
| | 85 | = | F | 3АП |
| 34 | 9 | ÷ | 60 | + |
| | 40 | = | F | П+ |
| | | F | X ↔ П | |
| | | F | sin | |
| | | F | X ↔ П | |
| | | F | sin | ÷ |
| | | F | X ↔ П | X |
| 144 | 9 | ÷ | 58 | = |

| |
|-----------|
| 0,2316666 |
| 85,231666 |
| 0,575 |
| 40,575 |
| 125,80666 |
| 0,810996 |
| 40,575 |
| 0,650443 |
| 0,8020298 |
| 115,95746 |

| |
|--|
| десятичные доли градуса |
| β_1° |
| десятичные доли градуса |
| α_1° |
| $\alpha_1^\circ + \beta_1^\circ$ |
| $\sin(\alpha_1 + \beta_1)$ |
| α_1° |
| $\sin \alpha_1$ |
| $\sin \alpha_1'$: $\sin(\alpha_1 + \beta_1)$ |
| $x_1 = b_1 \sin \alpha_1 / \sin(\alpha_1 + \beta_1)$ |

$$\text{Результат: } x_1 = \frac{144,58 \cdot \sin 40^\circ 34,5'}{\sin 125^\circ 38,4'} \approx 115,96 \text{ м.}$$

Таблица 4

| Обозначения | Значение величин | |
|-------------------------|--|-----------------|
| | 1-й треугольник | 2-й треугольник |
| α_i | 40°34,5' | 30°01,3' |
| β_i | 85 13,9 | 90 21,1 |
| b_i , м | 144,58 | 200.14 |
| x_i , м | 115,96 | 116,07 |
| $\frac{ x_1 - x_2 }{x}$ | $\frac{0,11}{116} \approx \frac{1}{1100} < \frac{1}{1000}$ | |
| $x_{ср}$, м | 116,02 | |

Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислить площадь прямоугольника со сторонами $a=638,23$ м и $b=197,16$ м. Результат выразить в гектарах с округлением до сотых долей.
2. Вычислить знаменатель масштаба аэрофотоснимка, если длина отрезка между опознаками $l=3,18$ см, а горизонтальное проложение этой линии на местности $S=323,2$ м.
3. Вычислить заложение ската на карте масштаба 1 : 10000 с высотой сечения рельефа 2,5 м, если уклон этой линии $i=4\%$.
4. Вычислить уклон линии AB (в тысячных), если $H_A=123,8$ м; $H_B=109,3$ м и $S_{AB}=639$ м.
5. Вычислить угол наклона линии, соединяющей две соседние горизонтали, если высота сечения рельефа 2,5 м, а заложение равно 86 м.
6. Вычислить допустимую невязку в сумме углов теодолитного полигона, если предельная погрешность измерения одного угла $\Delta_{\text{пр}}^{\text{пр}} = 1'$, а число углов $n=8$.

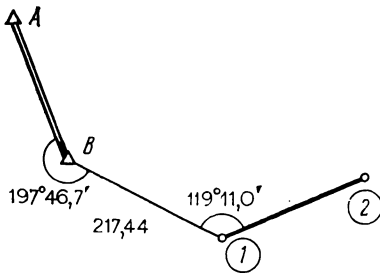


Рис. 4. Передача дирекционного угла и координат от исходных пунктов геодезической сети

7. Вычислить превышение с точки A на точку B , если $S_{AB}=218$ м и $v_{AB}=-0^\circ57,5'$.
8. Вычислить горизонтальное проложение линии, если превышение между точками местности $h=-3,83$ м, а угол наклона $v=-2^\circ13,5'$.
9. Вычислить сближение меридианов, если географическая долгота в данной точке $\lambda=30^\circ01'23''$, а широта $\varphi=55^\circ38'$ (долготу осевого меридиана определить самостоятельно).
10. Вычислить поправку за наклон линии, измеренной нитяным дальномером, если отсчет по рейке $l=87,5$ см, а угол наклона визирной оси $v=+2^\circ08'$.
11. Вычислить поправку за наклон линии, измеренной лентой, если ее длина $d=65$ м, а угол наклона $v=-9^\circ10'$.
12. Вычислить координаты точки 1 и дирекционный угол линии (1—2) по результатам измерений, показанным на рис. 4, и известным координатам исходных пунктов геодезической сети: $X_A=877,35$, $Y_A=613,11$; $X_B=389,92$, $Y_B=1018,08$.
13. Вычислить расстояние x , недоступное для непосредственного измерения лентой (см. рис. 3), по следующим данным: $\alpha_1=51^\circ40,5'$, $\beta_1=57^\circ20,5'$, $b_1=284,26$ м; $\alpha_2=41^\circ46,0'$, $\beta_2=79^\circ48,0'$, $b_2=301,63$ м.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН И ИХ ФУНКЦИЙ

§ 6. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Для оценки точности геодезических измерений вычисляют средние квадратические погрешности m по исходным данным, полученным в процессе проведения отдельных видов геодезических работ или в результате специальных экспериментов. В том или ином случае число исходных данных n бывает ограничено, вследствие чего вычисленное значение m оценивает теоретическое среднее квадратическое отклонение σ с некоторой погрешностью

$$m_m \approx \frac{m}{\sqrt{2n}}. \tag{16}$$

Относительные величины $\frac{m_m}{m} = \frac{1}{\sqrt{2n}}$, характеризующие (в процентах) надежность вычисления средней квадратической погрешности m при конкретном числе измерений n , приведены ниже.

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Число измерений n | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 20 | 25 | 50 |
| $\frac{m_m}{m}$, % | 32 | 29 | 27 | 25 | 24 | 22 | 16 | 14 | 10 |

Отсюда видно, что при $n=20$ погрешность вычисления m составляет около 1/6, а при $n=5$ — около 1/3 части от самой ее величины. Поэтому при $n \leq 20$ среднюю квадратическую погрешность следует вычислять до двух значащих цифр (вторая цифра — запасная), а окончательный результат округлять до одной значащей цифры, оставляя вторую только в случае, когда первая является единицей.

При оценке точности функций измеренных величин прежде всего необходимо записать в буквенных обозначениях вид функции согласно условиям задачи. Определив способ ее решения, записать его в буквенном виде, а затем подставить числовые значения исходных данных и выполнить вычисления.

§ 7. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПО ОТКЛОНЕНИЯМ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ОТ ЕЕ ИСТИННОГО ЗНАЧЕНИЯ

Данный способ оценки обычно применяют для исследования точности различных технических средств измерений. При этом получают n равнозначных результатов x_1, x_2, \dots, x_n и сравнивают их с истинным значением измеряемой величины. За истинное значение X условно принимают результат измерения, полученный с помощью более точных технических средств.

Если отклонения результатов $\varepsilon_i = x_i - X$ не содержат систематической составляющей θ , то среднюю квадратическую погрешность измерений рассчитывают по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta_i^2]}{n}},$$

где $\Delta_i = x_i - X$.

Решение такой задачи (применительно к исследованию точности измерения горизонтального угла теодолитом) рассмотрено в примере 5 § 5.

В случае предполагаемого наличия в результатах измерений систематической составляющей θ среднюю квадратическую погрешность вычисляют по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[\varepsilon_i^2] - n\bar{\theta}^2}{n-1}}, \quad (17)$$

где $\bar{\theta} = \frac{[\varepsilon_i]}{n}$ — оценка средней систематической погрешности; n — число измерений.

Значимость систематической погрешности оценивают с помощью приближенного критерия

$$|\bar{\theta}| > \frac{2,5 \cdot m}{\sqrt{N}}. \quad (18)$$

Пример. При компарировании 20-метровой ленты на 120-метровом компараторе выполнено 6 измерений. Полученные значения остатков r_i приведены в табл. 5, откуда видно, что длина компаратора, измеренная рабочей лентой, $S_p = 120 \text{ м} + 131 \text{ мм}$.*

Таблица 5

| № измерений | Остаток r_i , мм | $\varepsilon_i = r_i - R_{\text{ист}}$, мм |
|-----------------------------|--------------------|---|
| 1 | 137 | +22 |
| 2 | 126 | +11 |
| 3 | 118 | +3 |
| 4 | 141 | +26 |
| 5 | 144 | +29 |
| 6 | 119 | +4 |
| $r_{\text{ср}} \approx 131$ | | |

Эталонная длина полевого компаратора $S_{\text{эт}} = 120 \text{ м} + 115 \text{ мм}$ определена высокоточным светодальномером, поэтому можно принять истинное значение остатка $R_{\text{ист}}$ равным 115 мм.

Требуется вычислить оценку систематической погрешности и среднюю квадратическую погрешность измерения компаратора рабочей лентой и определить значимость систематической погрешности по формуле (18).

* Длину компаратора, измеренную рабочей лентой, вычисляют по формуле $S_p = 120 \text{ м} + r_{\text{ср}}$.

Решение на ЭКВМ БЗ-37

| Порядок нажатия клавиш и ввода чисел | Результат в регистре индикатора | Буквенные обозначения величин, показанных на индикаторе |
|---|---------------------------------|--|
| 22 $\boxed{F} \boxed{п+x^2} \boxed{+}$ | 22 | ϵ_1 |
| 11 $\boxed{F} \boxed{п+x^2} \boxed{+}$ | 33 | $\epsilon_1 + \epsilon_2$ |
| 3 $\boxed{F} \boxed{п+x^2} \boxed{+}$ | 36 | $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3$ |
| 26 $\boxed{F} \boxed{п+x^2} \boxed{+}$ | 62 | $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4$ |
| 29 $\boxed{F} \boxed{п+x^2} \boxed{+}$ | 91 | $\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4 + \epsilon_5$ |
| 4 $\boxed{F} \boxed{п+x^2} \boxed{\div}$ | 95 | $[\epsilon_i] = \epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4 + \epsilon_5 + \epsilon_6$ |
| 6 $\boxed{\times}$ | 15,833333 | $\bar{\theta} = [\epsilon_i] : N$ |
| $\boxed{\leftrightarrow}$ | 6 | N |
| $\boxed{=}$ | 94,999998 | $N\bar{\theta}$ |
| $\boxed{=} \boxed{F} \boxed{п-}$ | 1504,1666 | $N\bar{\theta}^2$ |
| $\boxed{F} \boxed{ип} \boxed{\div}$ | 642,8334 | $[\epsilon_i^2] - N\bar{\theta}^2$ |
| 5 $\boxed{=}$ | 128,56668 | $m^2 = ([\epsilon_i^2] - N\bar{\theta}^2) : (N - 1)$ |
| $\boxed{F} \boxed{\sqrt{\quad}} \boxed{\times}$ | 11,338724 | $m = \sqrt{m^2}$ |
| 2 $\boxed{9}$ 5 $\boxed{=}$ $\boxed{\div}$ | 28,34681 | $2,5 \cdot m$ |
| 6 $\boxed{F} \boxed{\sqrt{\quad}} \boxed{=}$ | 11,572535 | $2,5 \cdot m/N$ |

Таким образом,

$$\bar{\theta} = \frac{[\epsilon_i]}{N} = \frac{+95}{6} \approx +16 \text{ мм};$$

$$m = \sqrt{\frac{[\epsilon_i^2] - N\bar{\theta}^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{643}{5}} \approx \sqrt{129} \approx 11 \text{ мм};$$

$$|\bar{\theta}| \approx 16 \text{ мм} > \frac{2,5 \cdot m}{\sqrt{N}} = \frac{28}{\sqrt{6}} \approx 12 \text{ мм}.$$

Результаты вычислений показывают, что полученная оценка $\bar{\theta}$ значима. При этом величина систематической погрешности, приходящаяся на одно уложение ленты, равна поправке за компарирование δ_k , но имеет противоположный знак.

Действительно, при измерении 120-метрового компаратора 20-метровой лентой число полных уложений $n=6$. Тогда $\bar{\theta} : n = 16 : 6 \approx 2,7$ мм, а поправка за компарирование

$$\delta_k = \frac{S_{ЭТ} - S_p}{n} = \frac{R_{ист} - r_{ср}}{n} = \frac{115 - 131}{6} \approx -2,7 \text{ мм}.$$

§ 8. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОКРАТНЫХ РАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ОДНОЙ И ТОЙ ЖЕ ВЕЛИЧИНЫ

Если при исследовании точности измерений истинное значение величины неизвестно, то получают n равноточных результатов измерений x_1, x_2, \dots, x_n и сравнивают их со средним арифметическим значением

$$\bar{x} = \frac{[x_i]}{n}.$$

Среднюю квадратическую погрешность одного измерения рассчитывают по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{[(x_i - \bar{x})^2]}{n-1}}. \quad (19)$$

При вычислении на ЭКВМ для решения такой задачи удобно использовать формулу

$$m = \sqrt{\frac{[x_i^2] - \frac{[x_i]^2}{n}}{n-1}}. \quad (20)$$

Пример. Для исследования точности теодолита Т30 получено 5 результатов измерений одного и того же горизонтального угла: $103^\circ 25,5'$; $103^\circ 26,0'$; $103^\circ 25,5'$; $103^\circ 26,5'$; $103^\circ 26,0'$.

Вычислить среднюю квадратическую погрешность одного измерения.

Указание: при решении подобных задач целые значения величин, одинаковые для всех результатов, обычно отбрасывают (в данном случае такой величиной является $103^\circ 20'$).

Решение на ЭКВМ Б3-37

| Порядок нажатия клавиш и ввода чисел | Результат в регистре индикатора | Буквенные обозначения величин, показанных на индикаторе |
|--------------------------------------|---------------------------------|---|
| 5 [9] 5 [F] $\overline{n+x^2}$ [+] | 5,5 | x_1 |
| 6 [F] $\overline{n+x^2}$ [+] | 11,5 | $x_1 + x_2$ |
| 5 [9] 5 [F] $\overline{n+x^2}$ [+] | 17 | $x_1 + x_2 + x_3$ |
| 6 [9] 5 [F] $\overline{n+x^2}$ [+] | 23,5 | $x_1 + x_2 + x_3 + x_4$ |
| 6 [F] $\overline{n+x^2}$ [÷] | 29,5 | $[x_i]' = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5$ |
| 5 [X] | 5,9 | $\bar{x}' = [x_i]' : n$ |
| [↔] [=] | 29,5 | $[x_i]'$ |
| [=] [F] $\overline{n-}$ | 174,05 | $[\bar{x}_i] : n$ |
| [F] $\overline{\text{ип}}$ [÷] | 0,7 | $[x_i^2] - [x_i]^2 : n$ |
| 4 [=] | 0,175 | $([x_i^2] - [x_i]^2 : n) : (n-1) = m^2$ |
| [F] $\overline{\sqrt{\quad}}$ | 0,41833 | $m = \sqrt{m^2}$ |

$$\bar{x} = 103^{\circ}20' + \frac{[x_i]'}{n} = 103^{\circ}20' + \frac{29,5'}{5} \approx 103^{\circ}25,9';$$

$$m = \sqrt{\frac{[x_i^2] - [x_i]^2 : n}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,7}{4}} = 0,42' \approx 0,4'.$$

§ 9. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПО НЕВЯЗКАМ В ПОЛИГОНАХ И ХОДАХ

Для оценки точности по результатам массовых угловых измерений используют невязки f_i , полученные при проложении полигонометрических и теодолитных ходов (полигонов).

Среднюю квадратическую погрешность измерения одного угла вычисляют по формуле

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[f_i^2]}{N}}, \quad (21)$$

где n — число углов в i -м ходе или полигоне ($i=1, 2, \dots, N$); N — число ходов или полигонов, для которых известны значения угловых невязок f_i .

Пример. Вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения угла по 5 значениям невязок теодолитных ходов: $f_1=+1,8'$, $n_1=18$; $f_2=-2,4'$, $n_2=30$; $f_3=-2,5'$, $n_3=25$; $f_4=+3,0'$, $n_4=14$; $f_5=-3,2'$, $n_5=25$.

По формуле (16) рассчитать точность полученной оценки и соответственно округлить окончательный результат.

Решение на ЭКВМ БЗ-37

| Порядок нажатия клавиш и ввода чисел | Результат в регистре индикатора | Буквенные обозначения величин, показанных на индикаторе |
|---|---------------------------------|---|
| 1 $\boxed{9}$ $\boxed{8}$ $\boxed{\times}$ $\boxed{=}$ $\boxed{\div}$ 18 $\boxed{=}$ \boxed{F} $\boxed{п+}$ | 0,18 | $f_1^2 : n_1$ |
| 2 $\boxed{9}$ $\boxed{4}$ $\boxed{\times}$ $\boxed{=}$ $\boxed{\div}$ 30 $\boxed{=}$ \boxed{F} $\boxed{п+}$ | 0,192 | $f_2^2 : n_2$ |
| 2 $\boxed{9}$ $\boxed{5}$ $\boxed{\times}$ $\boxed{=}$ $\boxed{\div}$ 25 $\boxed{=}$ \boxed{F} $\boxed{п+}$ | 0,25 | $f_3^2 : n_3$ |
| 3 $\boxed{3}$ $\boxed{\times}$ $\boxed{=}$ $\boxed{\div}$ 14 $\boxed{=}$ \boxed{F} $\boxed{п+}$ | 0,6428571 | $f_4^2 : n_4$ |
| 3 $\boxed{9}$ $\boxed{2}$ $\boxed{\times}$ $\boxed{=}$ $\boxed{\div}$ 25 $\boxed{=}$ \boxed{F} $\boxed{п+}$ | 0,4096 | $f_5^2 : n_5$ |
| \boxed{F} $\boxed{ип}$ $\boxed{\div}$ | 1,6744571 | $[f_i^2 : n_i]$ |
| 5 $\boxed{=}$ | 0,3348914 | $m_{\beta}^2 = [f_i^2 : n_i] : N$ |
| \boxed{F} $\boxed{\sqrt{\quad}}$ $\boxed{\div}$ | 0,578698 | $m_{\beta} = \sqrt{m_{\beta}^2}$ |
| 10 \boxed{F} $\boxed{\sqrt{\quad}}$ | 0,1830003 | $m_{m_{\beta}} = m_{\beta} : \sqrt{2N}$ |

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_i^2}{n} \right]}{N}} \approx \sqrt{\frac{1,7}{5}} \approx 0,58' \approx 0,6';$$

$$m_{m_{\beta}} = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{2N}} \approx \frac{0,58'}{\sqrt{10}} \approx 0,18' \approx 0,2'.$$

§ 10. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПО РАЗНОСТЯМ ДВОЙНЫХ РАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В данном случае аргументами для оценки точности являются результаты повторных (парных) измерений величин и их разности

$$d_1 = x_1 - x'_1, \quad d_2 = x_2 - x'_2, \quad \dots, \quad d_n = x_n - x'_n.$$

При отсутствии систематических погрешностей среднюю квадратическую погрешность рассчитывают по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[d_i^2]}{2n}}, \quad (22)$$

где n — число парных измерений и их разностей d .

Пример. В табл. 6 приведено 6 парных измерений горизонтальных углов полным приемом (при положении КП и КЛ). Вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения угла одним полуприемом.

Таблица 6

| № измерений | Результаты | | d_i | d_i^2 |
|-------------|------------|---------|-------|---------|
| | при КП | при КЛ | | |
| 1 | 164°52' | 164°53' | -1 | 1 |
| 2 | 238 01 | 238 01 | 0 | 0 |
| 3 | 186 36 | 186 34 | +2 | 4 |
| 4 | 94 12 | 94 12 | 0 | 0 |
| 5 | 205 48 | 205 49 | -1 | 1 |
| 6 | 79 16 | 79 15 | +1 | 1 |
| Суммы | | | +1 | 7 |

Решение (вычисления выполнены устным счетом в табл. 6).

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[d_i^2]}{2n}} = \sqrt{\frac{7}{12}} = 0,76' \approx 0,8'.$$

Если в результатах измерений заведомо ожидается наличие систематической погрешности, то среднюю квадратическую погреш-

ность m и оценку средней систематической погрешности $\bar{\theta}$ рассчитывают по формулам

$$m = \sqrt{\frac{[d_i^2] - n\bar{\theta}^2}{2(n-1)}}; \quad \bar{\theta} = \frac{[d_i]}{n}. \quad (23)$$

Значимость систематической погрешности определяют на основании критерия (18).

Пример. При исследовании коллимационной ошибки теодолита Т30 выполнены парные наблюдения (при КП и КЛ) на 8 целей. Полученные отсчеты приведены в табл. 7.

Таблица 7

| № точек наблюдения | Отсчеты | | $d_i = \text{П} - \text{Л},$ мин | d_i^2 |
|--------------------|---------|-------|-------------------------------------|---------|
| | П | Л | | |
| 1 | 16° 16' | 13' | +3 | 9 |
| 2 | 29 32 | 30 | +2 | 4 |
| 3 | 44 46 | 45 | +1 | 1 |
| 4 | 75 52 | 50 | +2 | 4 |
| 5 | 116 21 | 19 | +2 | 4 |
| 6 | 133 27 | 25 | +2 | 4 |
| 7 | 141 14 | 11 | +3 | 9 |
| 8 | 179 39 | 37 | +2 | 4 |
| | | Суммы | +17 | 39 |

Вычислить оценку средней систематической погрешности и среднюю квадратическую погрешность измерения одного направления. Определить значимость систематической погрешности; при этом иметь в виду, что значимая величина $\bar{\theta}$ соответствует среднему значению двойной коллимационной ошибки для данного теодолита.

Решение (вычисления выполнены устным счетом в табл. 7).

$$\bar{\theta} = \frac{[d_i]}{n} = \frac{+17'}{8} = +2,1' \approx +2';$$

$$m_B = \sqrt{\frac{[d_i^2] - n\bar{\theta}^2}{2(n-1)}} = \sqrt{\frac{39 - 35}{14}} \approx 0,53' \approx 0,5';$$

$$|\bar{\theta}| \approx 2' > \frac{2,5 \cdot m}{\sqrt{n}} \approx \frac{1,3'}{\sqrt{8}} \approx 0,5'.$$

Следовательно, полученная величина двойной коллимационной ошибки значима.

§ 11. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПО РАЗНОСТЯМ ДВОЙНЫХ НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

При выполнении некоторых видов геодезических работ (например, при измерении линий лентой в теодолитных ходах) образуются ряды парных (двойных) измерений, причем отдельные пары

получены в различных друг от друга условиях, т. е. неравноточны между собой. Точность таких измерений оценивают с учетом их весов и характеризуют *средней квадратической погрешностью такого измерения, вес которого равен единице* (сокращенно — средней квадратической погрешностью единицы веса μ).

При отсутствии систематических погрешностей среднюю квадратическую погрешность единицы веса рассчитывают по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[p_i d_i^2]}{2n}}, \quad (24)$$

где p_i — вес, характеризующий относительную точность i -й пары измерений ($i=1, 2, \dots, n$); * n — число двойных измерений в данном ряду.

Пример 1. В табл. 8 приведены 5 пар двойных измерений линий теодолитного хода и их разности. Требуется оценить точность данных линейных измерений.

Таблица 8

| № линий | Результаты измерений, м | | Разности $d = S_i - S'_i$, см |
|---------|-------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| | прямое S_i | обратное S'_i | |
| 1 | 215,75 | 215,66 | +9 |
| 2 | 184,19 | 184,25 | -6 |
| 3 | 154,27 | 154,34 | -7 |
| 4 | 341,82 | 341,63 | +19 |
| 5 | 243,14 | 243,25 | -11 |

Известно, что при линейных измерениях лентой веса результатов обратно пропорциональны длинам линий, т. е. $p_i = \frac{1 \text{ м}}{S_i, \text{ м}}$. Тогда, согласно формуле (24), точность линейных измерений характеризуют величиной

$$\mu_S = \sqrt{\frac{\left[\frac{d_i^2}{S_i} \right]}{2n}}, \quad (25)$$

где S_i — число целых метров, соответствующее i -й линии. Поэтому *величиной, обладающей единичным весом, является результат однократного измерения линии длиной в один метр.*

* Для конкретных видов измерений характеристику относительной точности, выражаемую весом p , рассчитывают по специальным формулам.

| Порядок нажатия клавиш и ввода чисел | Результат в регистре индикатора | Буквенные обозначения величин, показанных на индикаторе |
|---|---------------------------------|---|
| 8 \times $=$ \div 21 $=$ F π $\sqrt{\quad}$ | 0,375 | $d_1^2 : S_1$ |
| 4 \times $=$ \div 6 $=$ F π $\sqrt{\quad}$ | 0,1956521 | $d_2^2 : S_2$ |
| 5 \times $=$ \div 15 $=$ F π $\sqrt{\quad}$ | 0,3181818 | $d_3^2 : S_3$ |
| 7 \times $=$ \div 25 $=$ F π $\sqrt{\quad}$ | 0,0555555 | $d_4^2 : S_4$ |
| 6 \times $=$ \div 17 $=$ F π $\sqrt{\quad}$ | 0,4979423 | $d_5^2 : S_5$ |
| F π $\sqrt{\quad}$ ип \div | 2,4423317 | $ d_i^2 : S_i $ |
| 10 $=$ | 0,2442331 | $\mu_S^2 = [d_i^2 : S_i] : 2\pi$ |
| F $\sqrt{\quad}$ | 0,4941994 | $\mu_S = \sqrt{\mu_S^2}$ |

$$\mu_S \approx \sqrt{2,44 : 10} \approx 0,49 \text{ см} \approx 0,005 \text{ м.}$$

Полученное значение μ_S позволяет вычислить среднюю квадратическую погрешность любой длины линии S_i , измеренной при данных условиях, по формуле

$$m_{S_i} = \mu_S \sqrt{S_i}. \tag{26}$$

Так, для линии $S_5 \approx 243$ м средняя квадратическая погрешность однократного измерения:

$$m_S = 0,005 \sqrt{243} \approx 0,08 \text{ м.}$$

Пример 2. В табл. 9 приведено 5 результатов определения площадей треугольников на плане (в см^2). Площадь каждого треугольника определена дважды — по измерениям двух различных оснований и высот. Требуется оценить точность измерения площади.

Таблица 9

| № треугольников | Площади, см^2 | | Разности $d_i = P_i - P'_i \cdot \text{см}^2 \cdot 10^{-2}$ |
|-----------------|------------------------|--------|--|
| | P_i | P'_i | |
| 1 | 20,53 | 20,61 | -8 |
| 2 | 6,21 | 6,17 | +4 |
| 3 | 15,20 | 15,15 | +5 |
| 4 | 25,03 | 24,96 | +7 |
| 5 | 16,78 | 16,84 | -6 |

Известно, что при данном способе измерения площадей фигур на плане веса результатов обратно пропорциональны размерам площади, т. е. $p_i = 1/P_i$. Тогда

$$\mu_P = \sqrt{\frac{[d_i^2/P_i]}{2n}}, \tag{27}$$

где P_i — число целых квадратных сантиметров, соответствующее площади i -го треугольника ($i=1, 2, \dots, n$); μ_P — средняя квадратическая погрешность измерения площади величиной в один квадратный сантиметр.

Решение на ЭКВМ БЗ-37

| Порядок нажатия клавиш и ввода чисел | Результат в регистре индикатора | Буквенные обозначения величин, показанных на индикаторе |
|---|---------------------------------|---|
| 9 $\boxed{\times} \boxed{=} \boxed{\div} 216 \boxed{=} \boxed{F} \boxed{\overline{\quad}} \boxed{+}$ | 3,047619 | $d_1^2 : P_1$ |
| 6 $\boxed{\times} \boxed{=} \boxed{\div} 184 \boxed{=} \boxed{F} \boxed{\overline{\quad}} \boxed{+}$ | 2,6666666 | $d_2^2 : P_2$ |
| 7 $\boxed{\times} \boxed{=} \boxed{\div} 154 \boxed{=} \boxed{F} \boxed{\overline{\quad}} \boxed{+}$ | 1,6666666 | $d_3^2 : P_3$ |
| 19 $\boxed{\times} \boxed{=} \boxed{\div} 342 \boxed{=} \boxed{F} \boxed{\overline{\quad}} \boxed{+}$ | 1,96 | $d_4^2 : P_4$ |
| 11 $\boxed{\times} \boxed{=} \boxed{\div} 243 \boxed{=} \boxed{F} \boxed{\overline{\quad}} \boxed{+}$ | 2,117647 | $d_5^2 : P_5$ |
| $\boxed{F} \boxed{\overline{\quad}} \boxed{ип} \boxed{\div}$ | 11,458599 | $[d_i^2 : P_i]$ |
| 10 $\boxed{=}$ | 1,1458599 | μ_P^2 |
| $\boxed{F} \boxed{\overline{\quad}} \boxed{\sqrt{\quad}}$ | 1,0704484 | μ_P |

$$\mu_P = \sqrt{\frac{\left[\frac{d_i^2}{P_i} \right]}{2n}} = \sqrt{\frac{1,15 \cdot 10^{-4}}{10}} = 1,07 \cdot 10^{-2} \approx 0,011 \text{ см}^2.$$

Величина μ_P позволяет рассчитать среднюю квадратическую погрешность измерения площади любого треугольника по формуле

$$m_{P_i} = \mu_P \sqrt{P_i}. \quad (28)$$

Например, для 4-го треугольника с площадью $P_4 \approx 25 \text{ см}^2$

$$m_{P_4} \approx 0,11 \sqrt{25} \approx 0,06 \text{ см}^2.$$

§ 12. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФУНКЦИЙ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Функция общего вида

Если результат косвенного измерения U является функцией прямых независимых измерений x_1, x_2, \dots, x_n , т. е.

$$U = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (29)$$

и известны средние квадратические погрешности аргументов $m_{x_1}, m_{x_2}, \dots, m_{x_n}$, то среднюю квадратическую погрешность функции m_u вычисляют на основании формулы

$$m_u^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 m_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 m_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 m_{x_n}^2, \quad (30)$$

где $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)$ — частные производные по аргументам x_i .

Пример 1. Рассчитать среднюю квадратическую погрешность треугольника по измеренным на плане основанию $a=6,48$ см и высоте $h=8,17$ см, если средние квадратические погрешности $m_a=m_h=0,02$ см.

В соответствии с условиями задачи функция (29) имеет вид

$$P = \frac{1}{2} ah.$$

Согласно формуле (30), $m_P^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial a}\right)^2 m_a^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial h}\right)^2 m_h^2.$

Так как частные производные $\frac{\partial P}{\partial a} = \frac{1}{2} h$ и $\frac{\partial P}{\partial h} = \frac{1}{2} a,$

$$m_P^2 = \left(\frac{hm_a}{2}\right)^2 + \left(\frac{am_h}{2}\right)^2 = \left(\frac{6,5 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 + \left(\frac{8,2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}{2}\right)^2 \approx 6,5^2 \times \\ \times 10^{-4} + 8,2^2 \cdot 10^{-4} = (42,25 + 67,24) \cdot 10^{-4} = 109 \cdot 10^{-4}.$$

Следовательно, $m_P = \sqrt{109 \cdot 10^{-4}} \approx 0,10$ см².

Пример 2. Вычислить среднюю квадратическую погрешность определения превышения методом тригонометрического нивелирования по измеренным расстоянию $S=168$ м и углу наклона $\nu=-1^{\circ}46'$, если $m_S=0,4$ м и $m_\nu=1,0'$.

В соответствии с условиями задачи (при наведении визирной оси на высоту прибора) функция (29) имеет вид $h=S \operatorname{tg} \nu$. Тогда, согласно формуле (30),

$$m_h^2 = \left(\frac{\partial h}{\partial S}\right)^2 m_S^2 + \left(\frac{\partial h}{\partial \nu}\right)^2 \left(\frac{m'_\nu}{\rho'}\right)^2,$$

где $\frac{m'_\nu}{\rho'}$ — выражение угловой погрешности в радианной мере. Так как частные производные

$$\frac{\partial h}{\partial S} = \operatorname{tg} \nu \text{ и } \frac{\partial h}{\partial \nu} = \frac{S}{\cos^2 \nu},$$

то

$$m_h^2 = (\operatorname{tg} \nu m_S)^2 + \left(\frac{S}{\cos^2 \nu} \cdot \frac{m'_\nu}{\rho'}\right)^2 = (0,031 \cdot 0,4)^2 + \left(\frac{170 \cdot 1'}{1.3400'}\right)^2 = 2,6 \cdot 10^{-3}.$$

Тогда

$$m_h = \sqrt{26 \cdot 10^{-4}} \approx 0,05 \text{ м.}$$

Пример 3. Рассчитать среднюю квадратическую погрешность нанесения контурной точки А полярным методом на плане масштаба 1:5000, если $S=120$ м, погрешность расстояния $m_S=0,4$ м и погрешность построения угла транспортиром $m_\beta=7'$.

Для составления функции (29) примем полярную ось за ось абсцисс в системе прямоугольных координат, где $x_A=S \cdot \cos \beta$; $Y_A=S \cdot \sin \beta$. Тогда, согласно формуле (30),

$$\left. \begin{aligned} m_x^2 &= \left(\frac{\partial x}{\partial S} m_S\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial \beta} \frac{m'_\beta}{\rho}\right)^2 = m_S^2 \cos^2 \beta + S^2 \sin^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2}; \\ m_y^2 &= \left(\frac{\partial y}{\partial S} m_S\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial \beta} \frac{m'_\beta}{\rho}\right)^2 = m_S^2 \sin^2 \beta + S^2 \cos^2 \beta \frac{m_\beta^2}{\rho^2}. \end{aligned} \right\} \quad (31)$$

Так как среднюю квадратическую погрешность положения точки A относительно начала координат (полюса) рассчитывают по формуле

$$m_A = \sqrt{m_x^2 + m_y^2}, \quad (32)$$

то с учетом равенства (31)

$$m_A = \sqrt{m_S^2 + \left(S \frac{m'_\beta}{\rho'}\right)^2}. \quad (33)$$

Подставив в формулу (33) числовые значения, получим

$$m_A = \sqrt{0,4^2 + \left(\frac{120 \cdot 7'}{3400'}\right)^2} = 0,47 \approx 0,5 \text{ м.}$$

Функция линейного вида

Если функция имеет вид

$$U = k_1 x_1 + k_2 x_2 + \dots + k_n x_n + c, \quad (34)$$

где k_1, k_2, \dots, k_n, c — постоянные величины, то частные производные равны коэффициентам k_i при переменных x_i и формула (30) получает выражение

$$m_U^2 = k_1^2 m_{x_1}^2 + k_2^2 m_{x_2}^2 + \dots + k_n^2 m_{x_n}^2. \quad (35)$$

Пример 1. Вычислить среднюю квадратическую погрешность определения расстояния нитяным дальномером теодолита ТЗ0, если погрешность дальнометрического отсчета $m_l = 0,3$ см, а коэффициент дальномера безошибочен.

Так как определяемое расстояние вычисляют по формуле $d = kl + c$, где $k = 100$ и $c = 0$, то выражение (35) имеет вид $m_d = k m_l$. Подставив в него числовые данные, получим $m_d = 100 \cdot 0,3 = 30$ см $= 0,3$ м.

Пример 2. Вычислить среднюю квадратическую погрешность длины линии $D = 241,08$ м, если при ее измерении 20-метровой лентой средняя квадратическая погрешность одного уложения $m_l = 2$ см.

В этом случае функция (34) имеет вид $D = l_1 + l_2 + \dots + l_n + r$, где $n = 12$ — число полных уложений.

Тогда, в соответствии с (35), $m_D^2 = m_{l_1}^2 = m_{l_2}^2 + \dots + m_{l_n}^2$ (погрешность остатка r можно не учитывать). Так как $m_{l_1} = m_{l_2} = \dots = m_{l_n} = m_l$, то

$$m_D^2 = n m_l^2, \quad \text{или} \quad m_D = m_l \sqrt{n}. \quad (36)$$

Подставив в (36) числовые значения, получим $m_D = 2$ см $\sqrt{12} \approx 7$ см.

Пример 3. Вычислить среднюю квадратическую погрешность разности d двух результатов измерения горизонтального угла теодолитом Т5, полученных при положениях КП и КЛ, если средняя квадратическая погрешность каждого полуприема $m_{\text{П}} = m_{\text{Л}} = m = 8''$.

Так как функция (34) имеет вид $d = \text{П} - \text{Л}$, то $m_d^2 = m_{\text{П}}^2 + m_{\text{Л}}^2$, или

$$m_d = m \sqrt{2}. \quad (37)$$

Подставив в (37) числовые значения, получим $m_d = 8'' \sqrt{2} \approx 11''$.

Формула (37) иллюстрирует общую закономерность, согласно которой *средняя квадратическая погрешность алгебраической сум-*

мы двух любых равноточных измерений приблизительно в 1,5 раза больше средней квадратической погрешности каждого из них.

Пример 4. Светодалномером 2СМ-2 выполнено 10 повторных измерений l длины полевого компаратора, по которым вычислено среднее арифметическое значение, принятое за эталонную величину. Рассчитать среднюю квадратическую погрешность полученного результата, если средняя квадратическая погрешность каждого измерения $m_l=4$ мм.

Поскольку среднее арифметическое значение $L_{\text{ЭТ}} = \frac{[l_i]}{n}$, то функция (34)

имеет вид $L_{\text{ЭТ}} = \frac{1}{n} l_1 + \frac{1}{n} l_2 + \dots + \frac{1}{n} l_n$. Тогда, согласно (35),

$$M_{L_{\text{ЭТ}}}^2 = \frac{1}{n^2} m_{l_1}^2 + \frac{1}{n^2} m_{l_2}^2 + \dots + \frac{1}{n^2} m_{l_n}^2 = n \frac{m_l^2}{n^2},$$

или

$$M_{L_{\text{ЭТ}}} = \frac{m_l}{\sqrt{n}}. \quad (38)$$

Подставив в (38) числовые значения, получим $M_{L_{\text{ЭТ}}} = \frac{4}{\sqrt{10}} \approx 1,3$ мм.

Формула (38) показывает, что средняя квадратическая погрешность среднего арифметического значения из n равноточных результатов измерений в \sqrt{n} раз меньше средней квадратической погрешности каждого из них.

Задачи для самостоятельного решения

1. Измерены углы 8 треугольников и получены невязки: $+0,2'$; $+0,4'$; $-1,6'$; $+0,8'$; $-0,7'$; $+1,4'$; $-0,3'$; $-0,4'$; $-0,2'$; $+0,1'$. Вычислить среднюю квадратическую и предельную погрешности суммы углов каждого треугольника.

2. По данным задачи 1 вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения одного угла.

3. Вычислить предельную погрешность в сумме углов полигона, если средняя квадратическая погрешность измерения каждого угла $m_{\beta} = 0,4'$ и число углов $n=12$.

4. Средняя квадратическая погрешность отсчета по рейке при геометрическом нивелировании из середины $m_0=2$ мм. Вычислить среднюю квадратическую погрешность превышения, измеренного на станции с контролем по двусторонним рейкам.

5. Вычислить средние квадратические погрешности приращений координат, если $S=489,98$ м, $\alpha=164^{\circ}30,0'$, $m_S=0,15$ м и $m_{\alpha}=1,0'$.

6. Вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения угла полным приемом по результатам, приведенным в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

| Результаты | Номера измерений | | | | | |
|------------|------------------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| КП | 51°28' | 74°34' | 96°15' | 57°56' | 23°12' | 168°23' |
| КЛ | 27' | 33' | 16' | 54' | 12' | 24' |

7. При одной и той же установке длины обводного рычага планиметра определено 5 значений его цены деления (в га): 0,10283; 0,10291; 0,10276;

0,10272; 0,10286. Вычислить арифметическое среднее значение цены деления планиметра и среднюю квадратическую погрешность этого результата.

8. По разностям двойных измерений линий лентой (табл. 11) вычислить среднюю квадратическую погрешность результата, вес которого равен единице.

Таблица 11

| Результаты, м | Номера измерений | | | | |
|---------------|------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Прямое | 223,51 | 342,15 | 412,87 | 268,13 | 327,61 |
| Обратное | 39 | 00 | 65 | 27 | 86 |

9. Вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения 4-й линии по результату, полученному при решении задачи 8.

Глава IV

ИЗУЧЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ И ПЛАНОВ

§ 13. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ О КАРТАХ И ПЛАНАХ

Чтобы изобразить земную поверхность на плоскости, применяют специальные *картографические проекции*, устанавливающие определенную зависимость между положением точек земной поверхности и их изображением на плоскости. Картографические проекции строят с помощью сети параллелей и меридианов по определенным математическим правилам.

Географической картой называют уменьшенное, построенное в картографической проекции, обобщенное изображение Земли, показывающее расположенные на ней объекты в принятой системе условных знаков.

Топографическая карта представляет собой подробное изображение местности, обеспечивающее возможность достаточно детального изучения ее содержания. Государственные топографические карты СССР издаются в масштабах 1 : 1 000 000 и крупнее. Такие карты позволяют с конкретной точностью определять плановое и высотное положение отображенных на них точек местности и выполнять другие измерения при решении различных инженерных задач.

Для создания топографических карт применяют равноугольную поперечную цилиндрическую проекцию Гаусса*. Сущность ее построения состоит в том, что поверхность земного эллипсоида условно делят меридианами на зоны, соответствующие 6° по долготе (для создания карт масштаба 1 : 5000 и крупнее образуют зоны, соответствующие 3° по долготе). Каждую зону по определенному математическому закону проектируют на внутреннюю боковую по-

* Картографической проекцией Гаусса называют геодезическую проекцию, а которой отсутствуют искажения углов.

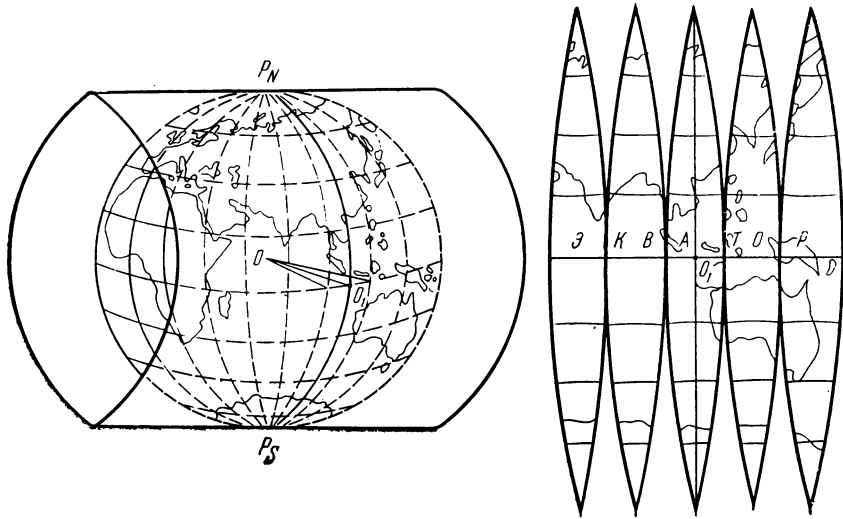


Рис. 5. Схема образования проекции Гаусса

верхность цилиндра (рис. 5), направляющая которого совпадает со средним (*осевым*) меридианом зоны $P_N O_1 P_S$ *. Затем поверхность цилиндра разворачивают в плоскость. Аналогично спроектированные последовательно одна за другой зоны соприкасаются между собой в точках, расположенных по линии экватора. Такой метод картографирования позволяет уменьшить искажения взаимного положения точек земной поверхности, возникающие при отображении поверхности эллипсоида на плоскости.

При создании планов процесс картографирования упрощают, основываясь на том, что форма сравнительно небольшого участка поверхности эллипсоида (примерно 20×20 км) бесконечно близка к горизонтальной плоскости, в связи с чем изображение элементов местности, спроектированных ортогонально на горизонтальную плоскость, практически не содержит ощутимых искажений, связанных с разворотом криволинейной поверхности эллипсоида на плоскость.

Поэтому *топографическим планом* называют картографическое изображение на плоскости в ортогональной проекции ограниченного участка, в пределах которого кривизна Земли не учитывается.

Построение такой проекции можно представить геометрически, если предположить, что поверхность земного шара вписана в многогранник, на каждую грань которого (представляющую собой как бы отдельный участок плана) ортогонально спроектированы картографируемые элементы местности (рис. 6).

Таким образом, и топографическая карта, и топографический план представляют собой построенные особым способом изображе-

* Осевой меридиан принят за ось абсцисс в прямоугольной системе координат картографической проекции Гаусса.

ния сферической поверхности Земли на плоскости. Планы по существу являются разновидностью топографических карт, но отличаются от них тем, что построены в ортогональной картографической проекции и охватывают небольшие участки территории. В силу этого на планах сохраняется более полное, чем на картах, геометрическое подобие отображаемых объектов; масштаб плана остается постоянным во всех его точках, в то время как масштаб карты в каждой точке имеет свое частное значение.

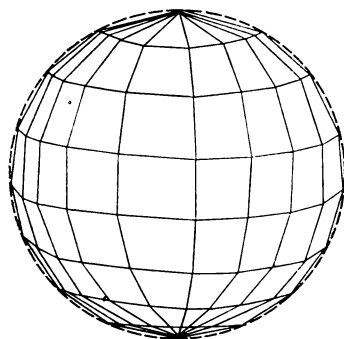


Рис. 6. Схема образования многогранной проекции

Кроме того, в специальных целях составляют планы нестандартного формата на отдельные участки территории (землепользования колхозов и совхозов, их отделений, лесных массивов, населенных пунктов и др.). Такие планы могут иметь специфические особенности в содержании, условных знаках и внешнем оформлении; иногда на планах изображают только контурную часть без отображения рельефа (такие планы называют контурными).

На топографических картах и планах отображают характерные точки объектов местности, а также характерные точки рельефа земной поверхности. На карте (как и на поверхности Земли) положение любой точки определяется тремя географическими координатами: географической широтой, географической долготой и высотой точки над поверхностью земного эллипсоида или геоида.

Географические координаты — обобщенное понятие астрономических координат (φ , λ , H), относящихся к поверхности геоида, и геодезических координат (B , L , H), относящихся к поверхности эллипсоида, в случаях, когда уклонения отвесных линий от нормали к эллипсоиду не учитывают*.

Кроме того, плановое положение точки на топографической карте определяется прямоугольными координатами, систему которых образуют две взаимно перпендикулярные линии: осевой меридиан зоны (ось абсцисс) и линия экватора (ось ординат). Высоты точек на топографических картах принято определять в Балтийской системе над поверхностью земного эллипсоида.

На планах положение точки часто определяют в условной системе прямоугольных координат, а высоты отсчитывают от любой условной уровенной поверхности.

* Поскольку в картографических проекциях на плоскость редуцируют поверхность эллипсоида, то географические координаты точек на карте в принципе являются геодезическими.

§ 14. МАСШТАБЫ ПЛАНОВ И КАРТ

Масштабом плана называют отношение отрезка l на плане к горизонтальному проложению S соответствующей линии местности, т. е.

$$\frac{l}{M} = \frac{l}{S}, \quad (39)$$

где M — знаменатель масштаба.

Масштаб плана одинаков во всех его точках. Масштаб карты в каждой точке имеет свое частное значение, зависящее от широты и долготы данной точки. Поэтому его строгой числовой характеристикой является частный масштаб — отношение длины бесконечно малого отрезка Δl на карте к длине соответствующего бесконечно малого отрезка ΔL на поверхности эллипсоида. Однако при практических измерениях на карте используют ее главный масштаб, определяемый формулой (39), где знаменатель M показывает, во сколько раз уменьшены в среднем размеры эллипсоида при его изображении на карте.

Формы выражения масштаба. Обозначение масштаба на картах и планах имеет три формы: численного, именованного и линейного масштабов.

Численный масштаб выражают дробью, в которой числитель — единица, а знаменатель M — число, показывающее, во сколько раз уменьшены размеры на карте или плане. В СССР для топографических карт приняты стандартные численные масштабы: 1 : 1 000 000, 1 : 500 000, 1 : 300 000, 1 : 200 000, 1 : 100 000, 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000. Для специальных целей создают также топографические карты в масштабах 1 : 5000 и 1 : 2000.

Основными масштабами топографических планов в СССР являются 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. Однако в землеустроительной практике планы землепользований чаще всего составляют в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000, а иногда — 1 : 50 000.

При сравнении различных численных масштабов более мелким является тот, у которого больше знаменатель M , и, наоборот, чем меньше знаменатель M , тем крупнее масштаб плана или карты. Так, масштаб 1 : 10 000 крупнее, чем масштаб 1 : 100 000, а масштаб 1 : 50 000 мельче масштаба 1 : 10 000.

Именованный масштаб. Так как длины линий на местности принято измерять в метрах, а на картах и планах — в сантиметрах, то масштабы удобно выражать в словесной форме, например, «В одном сантиметре 50 метров», что соответствует численному масштабу 1 : 5000. Поскольку 1 метр равен 100 сантиметрам, то число метров местности, содержащееся в 1 см карты или плана, легко определяют путем деления знаменателя численного масштаба на 100.

Линейный масштаб представляет собой график в виде отрезка прямой, разделенного на равные части с подписанными значениями соразмерных им длин линий местности. Линейный

масштаб позволяет без вычислений измерять или строить расстояния на картах и планах (см. § 21).

Точность масштаба. Предельная возможность измерения и построения отрезков на картах и планах ограничена величиной 0,01 см. Соответствующее ей число метров местности в масштабе карты или плана представляет собой предельную графическую точность данного масштаба. Поскольку точность масштаба выражает длину горизонтального проложения линии местности в метрах, то для ее определения следует знаменатель численного масштаба разделить на 10 000 (1 м содержит 10 000 отрезков по 0,01 см). Так, для карты масштаба 1 : 25 000 точность масштаба равна 2,5 м; для карты 1 : 100 000 — 10 м и т. п.

Задачи для самостоятельного решения

1. Рассчитать длину линии местности, соответствующую одному сантиметру на картах масштабов 1 : 10 000, 1 : 200 000, 1 : 5000, 1 : 100 000, 1 : 25 000, 1 : 2000, 1 : 50 000.

2. Масштаб одной карты 1 : 25 000, а другой 1 : 50 000. Какой масштаб крупнее? Какая из двух карт охватывает большую территорию местности и во сколько раз?

3. Масштаб карты 1 : 10 000. Какой масштаб вдвое крупнее данного, а какой впятеро мельче?

4. Одному сантиметру карты на местности соответствует расстояние более 1 км. Определить, крупнее или мельче масштаб данной карты, чем масштаб карты 1 : 100 000.

5. На картах масштабов 1 : 100 000 и 1 : 50 000 изображены участки двух рек. Какая река на местности шире и во сколько раз, если на картах их ширина примерно одинакова?

6. Участок пашни прямоугольной формы имеет размеры 500×375 м. Каковы размеры этого участка соответственно на планах масштабов 1 : 25 000 и 1 : 10 000? На каком плане площадь этого участка (в квадратных сантиметрах) больше и во сколько раз?

7. Отрезок линии 3,17 см отложен на картах масштабов: 1 : 5000, 1 : 25 000, 1 : 10 000. Какое горизонтальное проложение на местности соответствует этому отрезку для каждой из трех карт?

8. Каким значениям численных масштабов соответствует точность масштабов 0,5 м; 10 м; 2,5 м; 100 м?

9. Можно ли дорогу шириной 5 м изобразить двумя линиями на картах масштабов: 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 5000, 1 : 10 000?

10. На местности измерено горизонтальное проложение линии $S=216$ м. Какую нужно взять длину отрезков l (в см), чтобы отложить измеренное расстояние соответственно на планах масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 25 000?

11. Масштабы карт: 1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 5000. Какое наименьшее горизонтальное проложение линии местности можно построить на каждой из этих карт?

§ 15. РАЗГРАФКА И НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ И КАРТ

Топографические карты больших территорий для удобства пользования издаются отдельными листами ограниченного формата, объединяемыми в общую многостраничную карту единой системой разграфки, при которой каждый отдельный лист карты получает определенное обозначение, называемое номенклатурой.

Различают прямоугольную и трапециевидную разграфки. В первом случае листы ограничивают прямоугольными рамками

заданного размера, совмещаемыми с линиями сетки прямоугольных координат. Такую разграфку применяют для топографических планов масштабов 1 : 50 000 и крупнее, а также для землеустроительных планов масштабов 1 : 10 000, 1 : 25 000 и 1 : 50 000 в тех случаях, когда дезориентация линий меридианов и параллелей относительно прямоугольных рамок листов карт и планов не имеет существенного значения при их использовании. В трапециевидной (или градусной) системе разграфки рамками отдельных листов являются линии меридианов и параллелей. В ее основу положено деление земной поверхности меридианами через 6° по долготе и параллелями через 4° по широте, в результате чего между смежными параллелями создаются пояса, обозначаемые прописными буквами латинского алфавита, начиная от экватора в направлениях к северу и югу, а между смежными меридианами — колонны, нумеруемые арабскими цифрами от тихоокеанской ветви Гринвичского меридиана в направлении с запада на восток. Полученные таким делением трапеции, редуцированные на плоскость в проекции Гаусса, образуют внутренние рамки карт масштаба 1 : 1 000 000. Номенклатура листов карт этого масштаба состоит из буквы, обозначающей пояс, и цифры, отмечающей номер колонны, например, *N-36*.

Принцип разграфки и номенклатуры топографических карт масштаба 1 : 1 000 000 — 1 : 10 000 *

Разделив каждую сторону рамки карты масштаба 1 : 1 000 000 на 12 частей, получают 144 листа для карт масштаба 1 : 100 000.

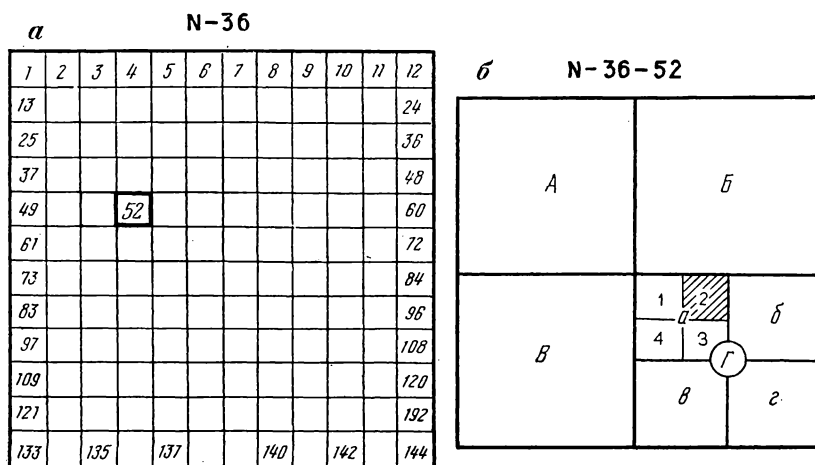


Рис. 7. Разграфка и взаимное положение листов карт масштабов 1 : 1 000 000 — 1 : 10 000

* Разграфка и номенклатура топографических карт масштаба 1 : 5000 и крупнее описана в § 145 учебного пособия [8].

Их последовательно нумеруют, обозначая цифрами 1, 2, 3, ..., 144 (рис. 7,а). Например, лист карты масштаба 1:100 000 с порядковым номером 52 имеет номенклатуру *N-36-52*. Стороны рамки карты масштаба 1:100 000 делят пополам, получая 4 листа для карт масштаба 1:50 000, которые обозначают буквами А, Б, В, Г (рис. 7,б). Например, последний лист карты масштаба 1:50 000 имеет номенклатуру *N-36-52-Г*.

Лист карты масштаба 1:50 000 делят на 4 листа для карт масштаба 1:25 000, обозначая их буквами а, б, в, г. Например, первый лист карты масштаба 1:25 000 имеет номенклатуру *N-36-52-Г-а*. Далее, аналогичным делением получают 4 листа для карт масштаба 1:10 000, которые нумеруют цифрами 1, 2, 3, 4. Так, номенклатура второго листа карты масштаба 1:10 000 имеет вид *N-36-52-Г-а-2*.

Размеры листов топографических карт рассмотренных выше масштабов и образцы записи их номенклатуры приведены в табл. 12.

Таблица 12

| Масштабы | Размеры листов в угловой мере | | Образцы записи номенклатуры |
|-------------|-------------------------------|------------|-----------------------------|
| | по широте | по долготе | |
| 1:1 000 000 | 4° | 6° | <i>N-36</i> |
| 1:100 000 | 20′ | 30′ | <i>N-36-52</i> |
| 1:50 000 | 10′ | 15′ | <i>N-36-52-Г</i> |
| 1:25 000 | 5′ | 7′30″ | <i>N-36-52-Г-а</i> |
| 1:10 000 | 2′30″ | 3′45″ | <i>N-36-52-Г-а-2</i> |

Определение номенклатуры и географических координат углов листа карты

Для подбора листов топографических карт на район землеустройства инженер-землеустроитель должен уметь определять их номенклатуру по известному значению географических координат пункта, расположенного в пределах территории данного листа карты.

Пример. Пусть известны географические координаты пункта: широта $B = 49^{\circ}33'11,6''$, долгота $L = 37^{\circ}18'52,4''$. Требуется определить номенклатуру и географические координаты углов листа карты масштаба 1:10 000, на территории которого расположен данный пункт.

Порядок решения. Первоначально по значениям координат пункта находят широту северной параллели пояса и долготу восточного меридиана колонны, которые определяют расположение листа карты масштаба 1:1 000 000. Широта северной параллели равна числу градусов, кратному четырем, но большему, чем $B \approx 49^{\circ}$, т. е. 52° . Разделив 52 на 4, получают 13-й номер пояса, которому соответствует буква *M*. Долгота восточного меридиана

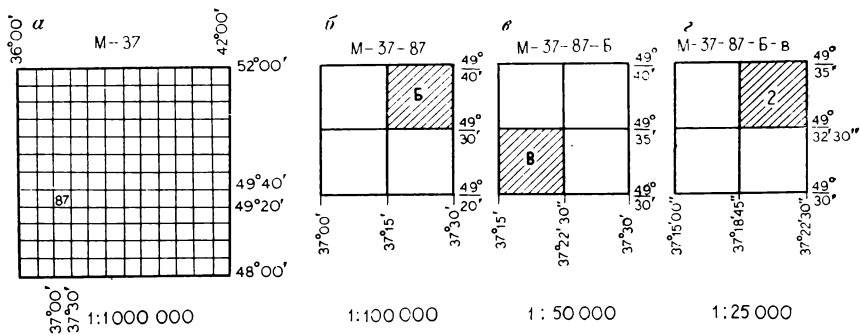


Рис. 8. Определение номенклатуры и географических координат листа карты масштаба 1 : 10 000

равна числу градусов, кратному шести, но большему, чем $L \approx 37^\circ$, т. е. 42° . Прибавив к этому значению 180° и разделив сумму на 6° , получают номер колонны, равный 37. Таким образом, лист карты масштаба 1 : 1 000 000, в пределах которого находится заданный пункт, имеет номенклатуру *M-37*. Географические координаты углов листа этой трапеции показаны на рис. 8,а.

При ее делении на 144 части стороны трапеций масштаба 1 : 100 000 получают размеры $20'$ по широте и $30'$ по долготе. Это дает основание определить, что пункт с известными координатами $B \approx 49^\circ 33'$ и $L \approx 37^\circ 19'$ расположен в пределах 87-го листа карты масштаба 1 : 100 000, географические координаты углов которого показаны на рис. 8,б. Делением этого листа на 4 части получают листы для карт масштаба 1 : 50 000 с размерами сторон рамки $10'$ по широте и $15'$ по долготе; на основании рис. 8,б находят номенклатуру и географические координаты углов листа карты масштаба 1 : 50 000, в пределах которого находится заданный пункт (показаны на рис. 8,в). Разделив этот лист на 4 части, аналогично получают номенклатуру и географические координаты углов листа карты масштаба 1 : 25 000 (рис. 8,г). Наконец, делением листа на 4 части определяют номенклатуру *M-37-87-Б-в-2*, соответствующую листу карты масштаба 1 : 10 000. Как видно из рис. 8,г, пункт с заданными ранее географическими координатами находится в пределах этой трапеции.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить географические координаты углов листа карты, имеющего номенклатуру *N-40-59-В-г*.
2. Номенклатура листа карты *M-38-49*. Определить масштаб этого листа и номенклатуру листа карты того же масштаба, примыкающего к данному листу с запада.
3. Определить масштабы и привести примеры номенклатуры листов карт, имеющих размеры: $20' \times 30'$; $10' \times 15'$; $5' \times 7,5'$; $2,5' \times 3'45''$.
4. Даны географические координаты северо-восточного угла трапеций карт масштаба 1 : 25 000: $B_1 = 51^\circ 35'$; $L_1 = 18^\circ 37,5'$; $B_2 = 40^\circ 15'$, $L_2 = 27^\circ 00'$. Найти номенклатуру этих листов и географические координаты остальных углов их трапеций.

5. Определить номенклатуру трапеции, имеющей широту южной стороны рамки $43^{\circ}40'$, широту северной стороны $44^{\circ}00'$ и долготу западной стороны рамки $53^{\circ}30'$.

6. Имеется лист карты масштаба $1:1\,000\,000$ с номенклатурой $M-41$. Определить долготу осевого меридиана данной зоны.

§ 16. ВНЕШНЕЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЛИСТОВ КАРТ И ПЛАНОВ

Листы топографических карт с трапециевидной разграфкой окаймляют тремя рамками: внутренней, минутной и внешней (рис. 9).

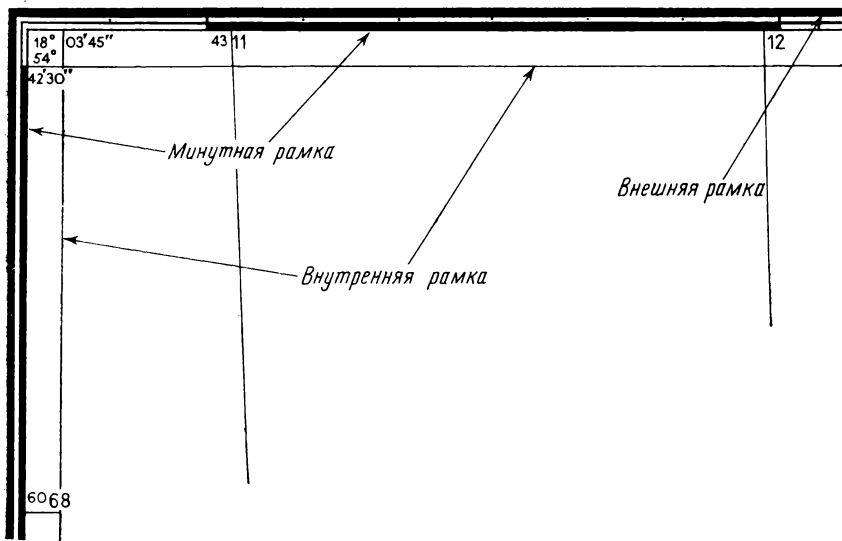


Рис. 9. Рамки северо-западного угла топографической карты масштаба $1:10\,000$

Внутренняя рамка, имеющая форму трапеции, образована отрезками меридианов и параллелей, непосредственно ограничивающими картографическое изображение. На выходах этих линий в углах внутренней рамки указаны соответствующие значения широты и долготы. Например, для северо-западного угла карты масштаба $1:10\,000$ широта равна $54^{\circ}42'30''$, а долгота $18^{\circ}03'45''$.

Минутная рамка с обозначением определенных интервалов широт и долгот служит для более точного измерения географических координат точек на карте. Минутные и полуминутные интервалы отмечены утолщенными линиями, а десятисекундные интервалы — точками.

Между внутренней и минутной рамками выписаны ординаты и абсциссы выходов линий координатной (километровой) сетки. При этом первой цифрой в значениях ординат помечен номер зоны, а размеры самих ординат, отсчитываемых от осевого меридиана, увеличены на 500 км. Например, подпись выхода сетки 4311 (см.

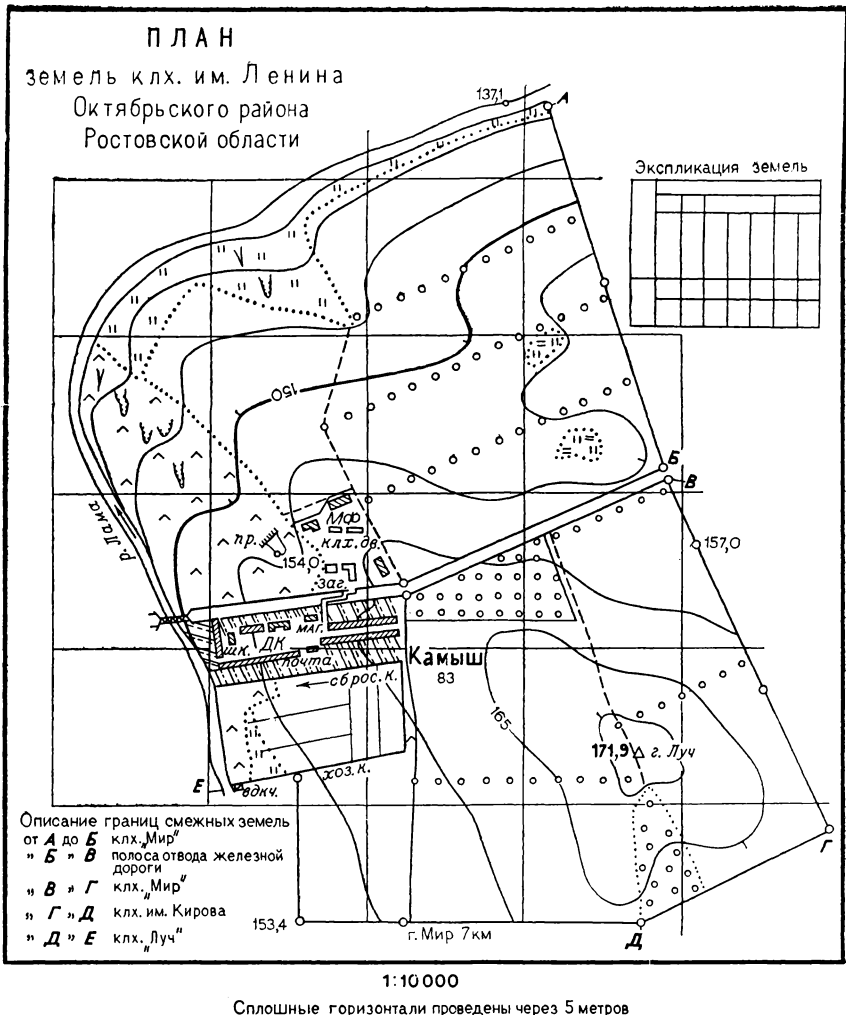


Рис. 10. Пример оформления землеустроительного плана

рис. 9) означает, что данный лист карты расположен в 4-й зоне, а ордината данной линии имеет отрицательное значение —189 км.

Внешняя рамка имеет декоративное назначение. В ее разрывах выписывают номенклатуры четырех смежных листов карт того же масштаба.

Зарамочное оформление. Номенклатуру листа карты обозначают над северной стороной внешней рамки. Под южной стороной рамки указывают численный, именованный и линейный масштабы, принятую высоту сечения рельефа и систему высот. Под юго-западным углом внешней рамки приводят сведения о склонении магнит-

ной стрелки и среднем сближении меридианов, а также схему взаимного расположения меридианов по отношению к линиям координатной сетки. Под юго-восточным углом внешней рамки помещают график заложений для определения крутизны скатов (см. § 25).

Листы топографических планов с прямоугольной разграфкой обычно ограничивают двумя рамками: внутренней и внешней. При стандартных размерах листов (40×40 см для масштаба $1:5000$ и 50×50 см для масштаба $1:2000$) внутренние рамки непосредственно совмещают с линиями дециметровой прямоугольной координатной сетки; при других размерах листов внутренние рамки строят параллельно этим линиям. Между внутренней и внешней рамками подписывают абсциссы и ординаты линий сетки.

Содержание землеустроительных планов часто отображают в пределах границ землепользования или отдельных участков, поэтому их внешнее оформление, размеры и компоновка могут быть различными в зависимости от назначения, охвата территории и масштаба.

Пример внешнего оформления плана части землепользования колхоза приведен на рис. 10.

§ 17. КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВНЫЕ ЗНАКИ

Содержанием карт и планов является совокупность показанных на них объектов и сообщаемых о них сведений. Эту информацию передают картографические условные знаки, применяемые на картах и планах для обозначения различных объектов и их характеристик. При работе с картами и планами необходимо усвоить смысловое содержание условных знаков, т. е. их отношение к изображаемым предметам, явлениям и процессам.

Условные знаки отдельных объектов, во-первых, указывают их вид (колодец, шоссе, болото и т. п.) и некоторые характеристики (например, дебит колодца, покрытие и ширину проезжей части дороги, проходимость болота); во-вторых, определяют пространственное положение, плановые размеры и формы объектов. В связи с этим условные знаки подразделяют на внемасштабные, линейные и площадные.

Внемасштабные условные знаки применяют для изображения объектов, площади которых не выражаются в масштабе карты или плана (геодезические пункты, колодцы, столбы линий электропередач и связи т. п.). Большая часть внемасштабных условных знаков по своему начертанию напоминает внешний вид изображаемых предметов, однако их действительные размеры нельзя определить по карте.

Линейные условные знаки применяют для изображения объектов линейного характера, длина которых выражается в масштабе карты или плана, а ширина изображается с искажением (дорожная сеть, каналы, канавы, неширокие реки, ручьи и т. п.). Пространственному положению таких объектов на мест-

ности соответствует продольная ось условного знака на карте или плане.

Площадные условные знаки применяют для заполнения площадей объектов, выражающихся в масштабе карты или плана и ограничиваемых контурами, т. е. внешними очертаниями их пространственного положения (пашни, леса, сенокосы, кустарники, пастбища и т. п.). Контурные объектов показывают точечным пунктиром, а внутри контура условными значками отражают его содержание.

Для дополнительных сведений об отдельных объектах и явлениях подписывают их числовые характеристики и другие специальные пояснения.

В СССР применяют стандартные формы, размеры и способы построения условных знаков на топографических картах и планах различных масштабов. Общие топографические условные знаки изданы в виде специальных таблиц [13, 14] и обязательны для всех учреждений и организаций, ведущих съемочные работы. В то же время на планах землепользований и землеустройства наряду с общетопографическими допускается применять дополнительные условные знаки, отражающие процессы и явления, связанные со спецификой использования плано-картографической основы при проектировании и проведении различных мероприятий по землеустройству, мелнирации, сельскому строительству и пр.

Задачи для самостоятельного решения

1. Пользуясь таблицами [13], ознакомиться с площадными, внесмасштабными и линейными условными знаками. В прямоугольниках размером 1,5×2 см изобразить условные знаки основных сельскохозяйственных и лесных угодий, имеющих на карте.

Без зарисовки условных знаков перечислить другие объекты местности, отображенные на карте.

2. Привести значения двух масштабов, при которых строение размером 5×6 м в одном случае будет изображено площадным, а в другом — внесмасштабным условным знаком.

3. Пользуясь пояснениями к таблицам [13], определить значения: подписей условного знака внутри контура леса; надписей на автодорогах и около мостов; подписей под названиями сельских населенных пунктов.

4. Пользуясь пояснениями к таблицам [13], привести пример внесмасштабных условных знаков, у которых положению объектов на местности соответствует: точка внутри условного знака; центр условного знака; основание условного знака; середина основания условного знака.

§ 18. ИЗОБРАЖЕНИЕ РЕЛЬЕФА НА КАРТАХ И ПЛАНАХ

Отображение рельефа играет важную роль, так как он в значительной мере определяет характер всех остальных элементов содержания карт и планов. Кроме того, рельеф влияет на водный режим, на распределение растительности и на пространственное размещение большинства объектов местности. Без достаточно точного отображения рельефа и его детального изучения на карте или плане невозможно установить взаимосвязи между отдельными элементами ландшафта и, следовательно, рационально использовать природные ресурсы.

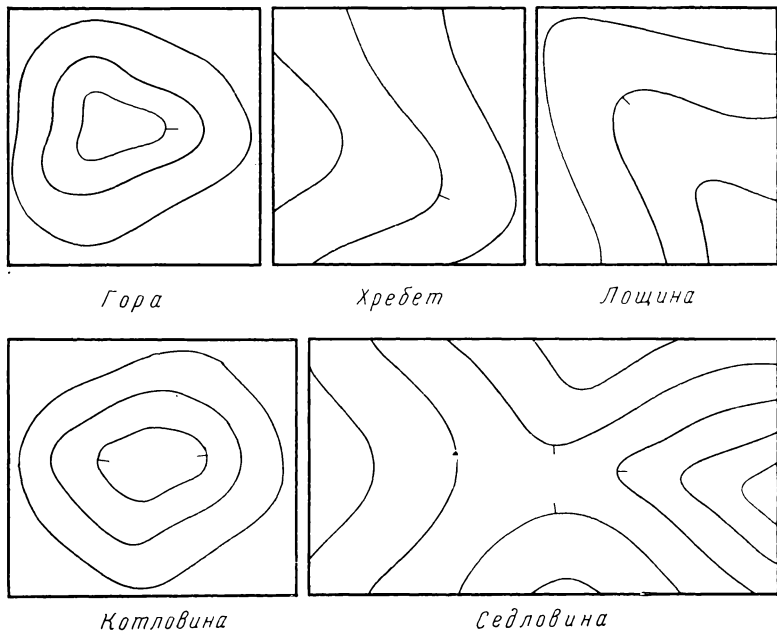


Рис. 11. Изображение основных форм рельефа горизонталями

При картографировании рельефа принято выделять отдельные, наиболее характерные его формы, такие как гора, котловина, хребет, лощина, седловина (рис. 11). На топографических картах и планах эти формы изображают горизонталями — линиями равных высот, образованными при пересечении земной поверхности уровнями поверхностей, последовательно отстоящими друг от друга на заданном расстоянии, которое называют высотой сечения рельефа.

Наглядность выражения принятых форм достигается с помощью скатштрихов, указывающих понижение местности, а также подписями отметок высот горизонталей и характерных точек рельефа. Резкие перепады, которые нельзя воспроизвести горизонталями, показывают специальными условными знаками (гребни, скалистые обрывы, каменные осыпи, промоины и т. п.), отображающими основные структурные линии и позволяющими в сочетании с горизонталями судить об изменениях высот в этих местах.

Горизонтالي позволяют математически точно передавать плановое очертание отдельных форм и элементов рельефа; по ним можно определить направление понижения и крутизну скатов, а также высоту любой точки местности. Эти задачи решают на основе совокупности признаков, свойственных принятому методу изображения рельефа горизонталями и рассмотренных ниже.

Определение высоты сечения рельефа. Если высота сечения рельефа h_0 по каким-либо причинам неизвестна, то ее можно опре-

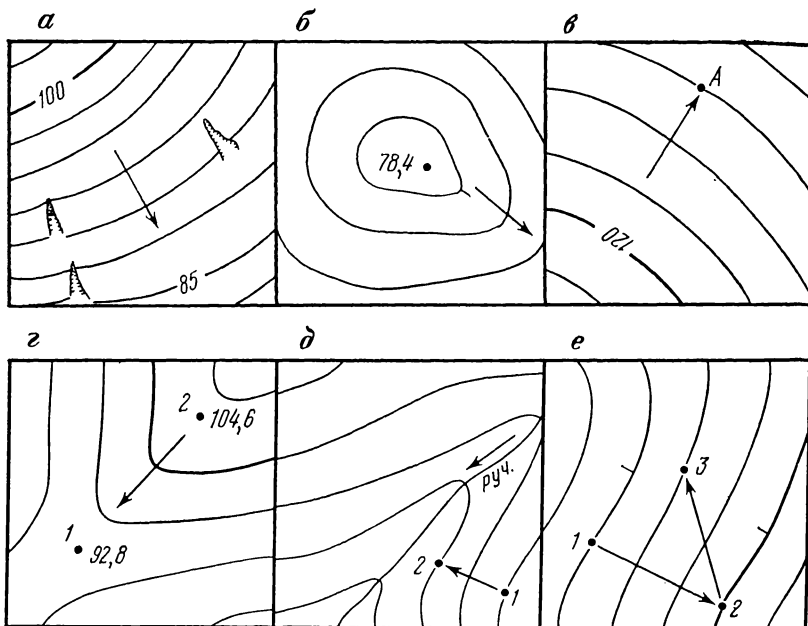


Рис. 12. Чтение рельефа по отдельным характерным признакам

делить путем подсчета числа интервалов и превышения между горизонталями с подписанными высотами. На рис. 12,а видно, что число таких интервалов 6, а превышение между подписанными горизонталями (без учета направления ската) равно 15 м. Поскольку высота сечения h_0 соответствует одному интервалу, то, разделив 15 м на 6, получим $h_0 = 2,5$ м.

Определение направления ската. Этот вопрос решают на основе следующих признаков:

по указанию скатштрихов, которые всегда направлены в сторону понижения. Так, рис. 12,б направление понижения, обозначенное стрелкой, соответствует направлению скатштриха по отношению к данной горизонтали;

по подписям горизонталей; основание цифр, которыми подписаны отметки высот горизонталей, всегда направлены в сторону понижения местности. Поэтому по подписи горизонтали на рис. 12,в можно определить, что скат направлен в сторону точки А (обозначен стрелкой);

по подписям высот характерных точек; так как на равномерном склоне скат всегда направлен от точек с большей высотой к точкам с меньшей высотой, то на рис. 12,г его направление легко определить по подписям отметок высот двух точек;

по объектам гидрографии; поскольку поверхностные воды стекают по направлению силы тяжести в сторону понижения,

то скаты всегда направлены к рекам, ручьям, озерам, как это видно из рис. 12,д;

по форме промоин; открытые стороны промоин и оврагов, образованных в результате водной эрозии, всегда направлены в сторону понижения, как показано стрелкой на рис. 12,а.

Определение отметок высот горизонталей. Основными аргументами для решений этой задачи являются: направление ската, высота сечения рельефа, подписи отметок высот характерных точек и горизонталей.

Пусть по фрагменту карты, изображенному на рис. 12,б, требуется определить отметку горизонтали, обозначенной скатштрихом; при этом известна высота сечения рельефа $h_0 = 2,5$ м.

Направление ската показывает, что отметка данной горизонтали меньше, чем величина 78,4 м, характеризующая высоту точки, не лежащей на горизонтали. В то же время значение искомой отметки должно без остатка делиться на 2,5, поскольку отметки высот горизонталей всегда кратны высоте сечения рельефа. По совокупности этих признаков видно, что таким значением является отметка 77,5 м.

Другой тип этой задачи показан на рис. 12,в. Пусть требуется определить высотную отметку горизонтали, на которой находится точка А, если известна высота сечения рельефа $h_0 = 5$ м.

В этом случае направление ската определяют по подписям горизонталей (основания цифр направлены в сторону понижения). Далее используют свойство, согласно которому превышение между двумя любыми горизонталями равно произведению высоты сечения рельефа на число интервалов, отделяющих горизонтали друг от друга. В данном случае точка А находится ниже подписанной горизонтали, а число интервалов равно 3. Следовательно, отметка горизонтали, на которой находится точка А, равна $120 \text{ м} - 3 \times 5 \text{ м} = 105 \text{ м}$.

Определение превышения между точками. Превышение с одной точки на другую обязательно должно быть определено со знаком (плюс или минус). Чтобы правильно получить знак превышения по направлению линии, соединяющей эти точки, всегда вычитают из отметки последующей точки данной линии отметку предыдущей. Так, на рис. 12,г превышение с первой на вторую точку $h_{1-2} = H_2 - H_1 = 104,6 - 92,8 = +11,8$ м. Обратное превышение со второй точки на первую $h_{2-1} = H_1 - H_2 = 92,8 - 104,6 = -11,8$ м.

На однородном склоне для определения превышений между горизонталями не обязательно знать отметки их высот; достаточно иметь сведения о направлении ската и высоте сечения рельефа. Так, на рис. 12,е указанное направление ската позволяет определить, что при высоте сечения рельефа $h_0 = 5$ м превышение с первой на вторую точку $h_{1-2} = +15$ м, а со второй на третью точку $h_{2-3} = -10$ м.

Проведение линий водоразделов и водотоков. При определении планового положения этих линий сперва выявляют характерные формы рельефа на заданном участке карты, а затем руковод-

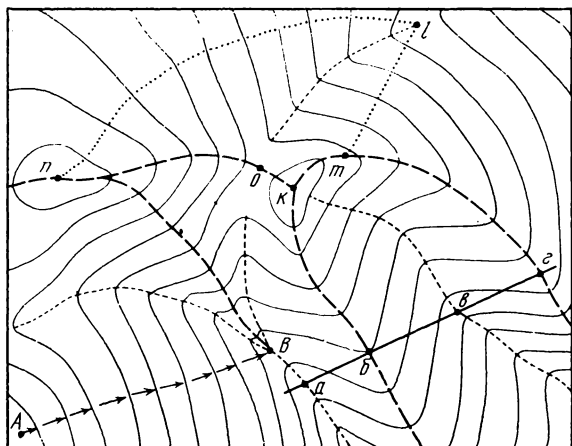


Рис. 13. Проведение водоразделов и водотоков. Определение направления скатов. Отграничение водосборной площади. Определение характерных точек перегибов местности

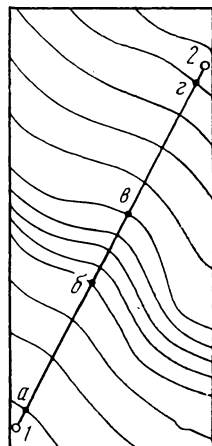


Рис. 14. Изображение изменений крутизны ската на плане с горизонталями

ствуются свойством, согласно которому *направления линий водоразделов и водотоков всегда проходят перпендикулярно к горизонталям через точки их перегибов*. Поэтому для проведения линии водораздела или водотока первоначально намечают на горизонталях точки четко выраженных перегибов, после чего их соединяют плавной линией, направленной перпендикулярно к каждой горизонтали. В соответствии с этим на рис. 13 линии водоразделов показаны длинным штриховым пунктиром, а линии водотоков — коротким штриховым пунктиром.

Определение направления ската по наибольшей крутизне. Наибольшая крутизна ската всегда направлена *по перпендикуляру к ближайшей горизонтали*. Так как поверхностные воды устремляются вниз по направлению силы тяжести, то наибольшая крутизна ската соответствует направлению стока воды. Для примера на рис. 13 стрелками показано такое направление от водораздела в точке А к водотоку в точке В.

Отграничение водосборной площади для заданной точки водотока. Границы водосборной площади проходят по водораздельным линиям хребтов, через точки вершин гор и середины седловин. Пусть требуется отграничить водосборную площадь, соответствующую участку водотока до заданной точки *l* на рис. 13. В соответствии со свойствами отображения рельефа, рассмотренными в примерах, граница водосбора проходит в обе стороны от точки *l* перпендикулярно к горизонталям до линий водоразделов в точках *m* и *n* (показано точечным пунктиром); затем она совпадает с водораздельными линиями, соединяющими точки *m*, *k* (вершина холма), *o* (середина седловины) и *n* (вершина холма).

Определение характерных точек перегибов местности в заданном направлении линии. Характерные перегибы местности в основном находятся в точках пересечения данной линии с линиями водоразделов и водотоков. В отдельных случаях заданное направление может проходить через центральную часть седловины, вершину горы (холма) или дно котловины, которые также являются точками перегибов местности. В соответствии с этим на рис. 13 показаны характерные перегибы в точках *а, б, в, г*.

Так как на местности скаты одного и того же направления могут переходить от пологих к более крутым и наоборот, то при отображении рельефа горизонталями проявляется одно из их важных свойств: *чем круче скаты, тем меньше расстояния между соседними горизонталями* (заложения скатов). Например, на линии 1—2 (рис. 14) крутизна ската заметно меняется между интервалами, отмеченными в точках *а, б, в, г*, причем видно, что на отрезке *бв* скат круче, чем на отрезках *аб* и *вг* *.

Определение наиболее высоких и низких участков местности. Эту задачу решают по комплексу таких признаков, как подписи отметок высот горизонталей и характерных точек рельефа, наличие объектов гидрографии, геодезических пунктов (которые закрепляют на возвышенных местах), размещение растительности и др., помня, что рельеф и объекты местности находятся в неразрывной связи. Так, на участке плана (см. рис. 10) по характеру форм рельефа и подписям отметок горизонталей видно, что самой высокой точкой местности является вершина горы, на которой установлен геодезический пункт «Луч» с отметкой высоты 171,9 м.

Расположение самой низкой точки легко определить по объектам гидрографии, которых на данном участке два: пруд, расположенный к западу от хозцентра, и река Лама, протекающая вдоль западной и северной границы. По подписям высот видно, что поверхность воды пруда имеет отметку 154,0 м, в то время как урез воды в северной части реки равен 137,1 м. Следовательно, наиболее низким местом является северо-восточный район плана в точке пересечения реки с восточной границей участка.

При отсутствии подписей характерных высот значения отметок самой низкой и самой высокой точек можно определить по горизонталям, применив метод интерполяции, описанный в § 26.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить, есть ли на местности взаимная видимость между двумя точками, отмеченными на карте (точки находятся на горизонталях).
2. Провести на карте из заданной точки линию с наибольшей крутизной ската.
3. Определить на карте основные формы рельефа, зарисовать их, проставить скатштрихи и подписи высот утолщенных горизонталей.
4. В пределах заданного участка определить положение самой высокой и самой низкой точек местности.
5. На участке карты показать линию водотока, относительно которой провести две линии водоразделов.

* Количественная характеристика крутизны скатов рассмотрена в § 25.

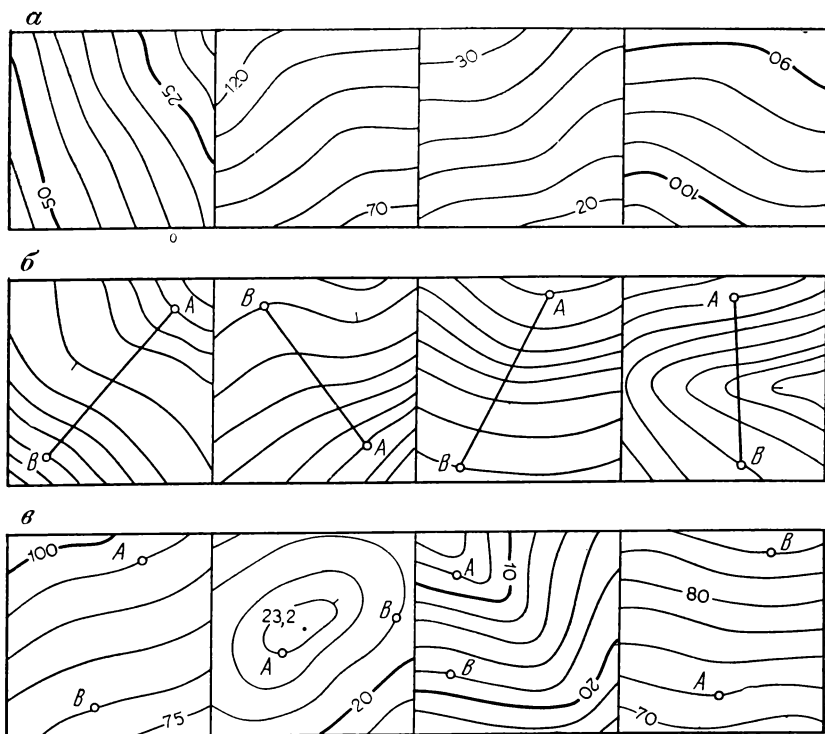


Рис. 15. Определение высоты сечения, формы скатов и превышений по фрагментам изображения рельефа на плане

6. По заданному направлению вычислить превышение между двумя точками с известными значениями высот.

7. На рис. 15, а определить высоту сечения рельефа в м.

8. На основании рис. 15, б зарисовать четыре ската и определить их форму по линии АВ (ровный, выпуклый, вогнутый, переменный).

9. По рис. 15, в определить превышения с точки А на точку В.

10. Отметка высоты точки $H = 117,8$ м. Определить отметки ближайших к ней горизонталей, если высота сечения рельефа $h_0 = 5$ м.

11. Отметка высоты вершины холма $H = 258,7$ м. Определить отметку ближайшей к ней горизонтали, если высота сечения рельефа равна: 1 м; 5 м; 2,5 м; 10 м.

12. Отметка дна котловины $H = 208,6$ м. Определить отметку ближайшей к ней горизонтали, если высота сечения рельефа равна: 5 м; 2,5 м; 10 м; 2 м.

13. Вблизи вершины горы наметить точку на карте. Представив, что в этой точке находится источник воды, показать направление ее стока.

§ 19. ОРИЕНТИРОВАНИЕ КАРТ И ПЛАНОВ

Карты и планы ориентируют по странам света. При этом картографическое изображение на плоскости располагают так, что верхняя рамка карты или плана является северной, а нижняя — южной.

Географический и магнитный меридианы

Исходными направлениями для ориентирования карт и планов являются линии географических и магнитных меридианов.

Направлением географического меридиана называют линию пересечения плоскости меридиана (астрономического или геодезического) с горизонтальной плоскостью.*

Направлением магнитного меридиана называют линию пересечения отвесной плоскости, проходящей через полюсы магнитной стрелки, с горизонтальной плоскостью.

Склонение магнитной стрелки

Поскольку положения географического и магнитного полюсов не совпадают, то в каждой точке между направлениями географического и магнитного меридианов образуется горизонтальный угол δ , который называют *склонением магнитной стрелки*.

Склонение магнитной стрелки считают восточным (положительным, со знаком плюс), когда северное направление магнитного меридиана отклоняется к востоку от направления географического меридиана (рис. 16,а), и западным (отрицательным, со знаком минус), когда северное направление магнитного меридиана отклоняется к западу от географического (рис. 16,б).

Азимуты

Направления линий местности и их отображений на картах и планах характеризуют величинами географических азимутов, магнитных азимутов и дирекционных углов**.

При отображении линии на плоскости ее *азимутом называют горизонтальный угол, отсчитываемый от северного направления меридиана по ходу часовой стрелки до направления данной линии.*

Географический азимут $A^Г$ отсчитывают от северного направления географического меридиана, магнитный азимут $A^М$ —от северного направления магнитного меридиана (см. рис. 16).

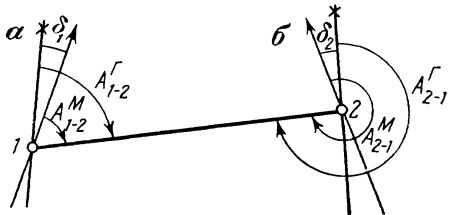


Рис. 16. Географические и магнитные азимуты направлений 1—2 и 2—1

* Плоскость астрономического меридиана относится к поверхности геоида. Направления астрономических меридианов определяют на местности гиротеодолитами или методами астрономических наблюдений.

Линии географических меридианов, отображенные на топографических картах, образованы плоскостями геодезических меридианов, относящихся к поверхности земного эллипсоида.

** В качестве ориентирующих углов используют также румбы. Понятие о румбах и их взаимосвязи с азимутами и дирекционными углами дано в § 14, 15 учебного пособия [8].

Значения азимутов могут находиться в пределах от 0° до 360° . Для направления линии $1-2$ азимут A_{1-2} считают прямым, а азимут A_{2-1} — обратным.

Из рис. 16 видно, что между значениями географического и магнитного азимутов одной линии существует алгебраическая зависимость

$$\delta_1 = A_{1-2}^\Gamma - A_{1-2}^M. \quad (40)$$

Осевой меридиан. Дирекционный угол

Вследствие того, что на плоскости направления географических меридианов (обозначенные звездочками на рис. 17) не параллельны между собой, географические азимуты одной и той же линии в каждой точке имеют свое значение. Так, на рис. 17 видно, что для направления достаточно длинной линии KN географические азимуты в точках K, L, O, M имеют различную величину, т. е. $A_{KN}^\Gamma < A_{LN}^\Gamma < A_{ON}^\Gamma < A_{MN}^\Gamma$. Это создает неудобство при вычислительной обработке результатов измерений, в частности, при передаче прямоугольных координат от одной точки линии к другой. Поэтому для упрощения вычислительной обработки направления определяют относительно линий, параллельных осевому меридиану, и характеризуют значениями дирекционных углов α .

Осевым считается меридиан, принятый за ось какой-либо системы координат. При картографировании в проекции Гаусса за осевой принимают центральный меридиан зоны, который является осью абсцисс прямоугольной системы координат. На рис. 17 осевой меридиан находится в точке O , а в точках K, L, M и N проведены линии, параллельные осевому меридиану (оси абсцисс), относительно которых направление отображенной на карте линии KN во всех обозначенных точках определяется одинаковыми по величине дирекционными углами $\alpha_{KN} = \alpha_{LN} = \alpha_{ON} = \alpha_{MN}$. При этом пря-

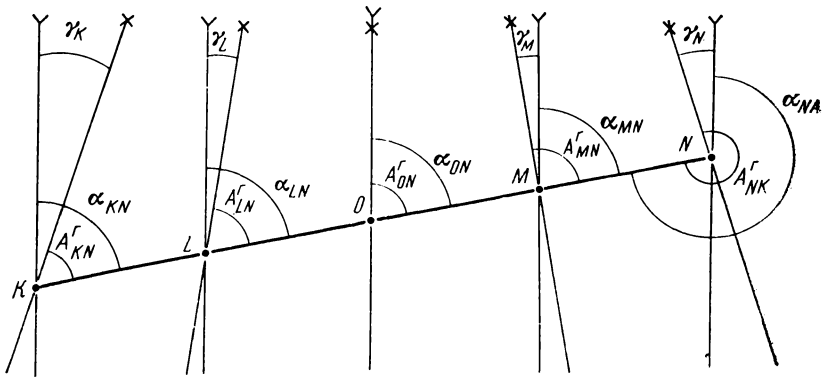


Рис. 17. Азимуты и дирекционные углы линии KN в отдельных точках

мой дирекционный угол α_{KN} отличается от обратного α_{NK} ровно на 180° .

Для отображения на планах небольших участков территории за осевой может быть принят любой географический или магнитный меридиан.

Таким образом, *дирекционным углом называют горизонтальный угол α , отсчитываемый от северного направления линии, параллельной оси абсцисс по ходу часовой стрелки до направления данной линии* *.

Значения дирекционных углов могут находиться в пределах от 0° до 360° .

Сближение меридианов

Между направлениями географического меридиана и линии, параллельной оси абсцисс, в каждой точке образуется угол γ , который называют сближением меридианов (см. рис. 17).

Абсолютная величина γ возрастает по мере удаления отдельных точек линии от оси абсцисс и зависит от широты данной точки. Эту зависимость для гауссова сближения меридианов выражают формулой

$$\gamma_i = (L_i - L_0) \sin B_i, \quad (41)$$

где L_i — географическая долгота меридиана в i -й точке; L_0 — долгота осевого меридиана зоны в проекции Гаусса; B_i — географическая широта i -й точки.

Из формулы (41) видно, что значение γ положительно для всех точек зоны, расположенных к востоку от осевого меридиана (восточное сближение), и отрицательно для всех точек, расположенных к западу (западное сближение).

Из рис. 17 видно также, что между значениями географического азимута и дирекционного угла в любой точке линии $K-N$ существует алгебраическая зависимость

$$\gamma_K = A_{K-N}^r - \alpha_{K-N}. \quad (42)$$

На топографических картах и планах линии, параллельные оси абсцисс, проведены через определенные интервалы и совпадают с линиями координатной сетки, имеющими направления север—юг. Их ориентировку по отношению к другим меридианам для конкретного участка территории условно изображают в виде схемы, показанной на рис. 18.

Переход от азимутов к дирекционным углам

Формулы (40) и (42) позволяют осуществлять переход от значения азимута линии к ее дирекционному углу.

Пример. Измеренный по буссоли магнитный азимут линии 1—2 равен 115° . Вычислить дирекционный угол, если известно, что в точке 1 западное

* Когда за ось абсцисс выбран центральный меридиан зоны в проекции Гаусса, то угол α называют гауссовым дирекционным углом.

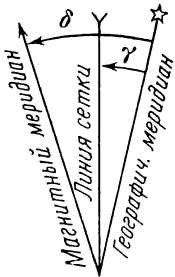


Рис. 18. Условные обозначения и схема взаимного расположения ориентирующих линий

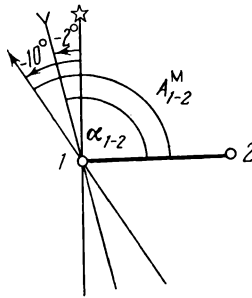


Рис. 19. Переход от магнитного азимута к дирекционному углу линии 1-2

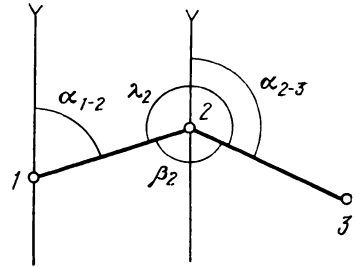


Рис. 20. Передача дирекционных углов

сближение меридианов равно 2° и западное склонение магнитной стрелки равно 10° .

Согласно приведенным выше формулам $\alpha_{1-2} = A_{1-2}^M + \delta_1 - \gamma_1 = 115^\circ + (-10^\circ) - (-2^\circ) = 115^\circ - 8^\circ = 107^\circ$.

Решение контролируют с помощью чертежа (рис. 19), на котором в соответствии с условиями задачи схематически показывают взаимное расположение линий. Для этого через точку 1 проводят направление географического меридиана и линию, параллельную оси абсцисс (линию сетки), отклоняя ее северное направление к западу (влево) на угол, условно соответствующий -2° ; направление магнитного меридиана проводят относительно географического также с отклонением к западу, но на угол, соответствующий -10° . Затем, в соответствии с величиной измеренного магнитного азимута проводят направление линии 1-2. Построенные на схеме углы показывают дугами.

Теперь из чертежа видно, что дирекционный угол α_{1-2} меньше магнитного азимута A_{1-2}^M на величину $|\delta - \gamma| = 8^\circ$, следовательно, значение $\alpha_{1-2} = 115^\circ - 8^\circ = 107^\circ$.

Передача дирекционных углов

Если известен горизонтальный угол между направлениями двух линий и дирекционный угол одной из них (например, α_{1-2} на рис. 20, дирекционный угол последующей линии α_{2-3} вычисляют по формулам

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + 180^\circ - \beta_2; \\ \alpha_{2-3} &= \alpha_{1-2} + \lambda_2 - 180^\circ; \end{aligned} \right\} \quad (43)$$

где β_2 — правый угол между направлениями линий по ходу 1-2-3; λ_2 — левый угол между направлениями линий по этому ходу.

Пример. Известны $\alpha_{1-2} = 85^\circ$; $\beta_2 = 110^\circ$. Вычислить α_{2-3} .

$$\alpha_{2-3} = 85^\circ + 180^\circ - 110^\circ = 155^\circ.$$

Поскольку $\lambda_2 = 360^\circ - \beta_2 = 250^\circ$, то $\alpha_{2-3} = 85^\circ + 250^\circ - 180^\circ = 155^\circ$.

Из формулы (43) следует, что

$$\left. \begin{aligned} \beta_2 &= (\alpha_{1-2} + 180^\circ) - \alpha_{2-3} = \alpha_{2-1} - \alpha_{2-3}; \\ \lambda_2 &= \alpha_{2-3} + (180^\circ - \alpha_{1-2}) = \alpha_{2-3} - \alpha_{2-1}. \end{aligned} \right\} \quad (44)$$

Как видно, формула (44) позволяет вычислять горизонтальные углы между направлениями двух линий по известным значениям их дирекционных углов.

Задачи для самостоятельного решения

1. Перевести значения дирекционных углов в соответствующие им румбы: $219^{\circ}06'$; $54^{\circ}46'$; $354^{\circ}11'$; $92^{\circ}00'$; $274^{\circ}30'$.
2. Перевести румбы в соответствующие значения дирекционных углов: ЮЗ : $88^{\circ}09'$; ЮВ : $4^{\circ}57'$; СВ : $50^{\circ}27'$; СЗ : $0^{\circ}02'$.
3. Изобразить на чертеже линию с географическим азимутом 213° , магнитным азимутом 220° и дирекционным углом 215° .
4. Вычислить сближение меридианов в точке I , если $\alpha_{1-2}=216^{\circ}$, а $A_{1-2}^{\Gamma}=214^{\circ}10'$. Показать на чертеже условное местоположение осевого меридиана (справа или слева).
5. Магнитный румб линии $I-2$ равен ЮЗ : 35° . Вычислить дирекционный угол, если в точке I восточное сближение меридианов равно 2° и западное склонение магнитной стрелки равно 9° .
6. Вычислить α_{2-3} , если $\alpha_{1-2}=36^{\circ}31'$ и $\beta_2=201^{\circ}08'$.
7. Вычислить величину λ_2 , если $\alpha_{1-2}=173^{\circ}$, а $\alpha_{2-3}=310^{\circ}$.

§ 20. СОСТАВЛЕНИЕ КРАТКОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ УЧАСТКА КАРТЫ ИЛИ ПЛАНА

Для проведения комплекса землеустроительных мероприятий необходимо иметь исходные сведения о природных и экономических особенностях заданного земельного участка и о пространственном размещении отдельных объектов на его территории. Эту информацию инженер-землеустроитель получает в результате изучения планово-картографических материалов и составления топографического описания участка по совокупности системы условных знаков, пояснительных подписей и прочих характеристик объектов, а также по изображению рельефа горизонталями. В топографическом описании отражают сведения о наличии пунктов геодезических сетей, гидрографии, рельефе, растительности, размещении населенных пунктов, путях сообщения и других элементах картографического изображения. Топографическое описание землепользований сельскохозяйственных предприятий дополняют информацией о приближенных размерах участка, характере границ землепользования, территориальном расположении сельскохозяйственных угодий, конфигурации пахотных массивов и отдельных полей, размещении хозцентров и животноводческих ферм, обеспеченности водными источниками. В зависимости от целей составления топографического описания в него могут быть также включены сведения о наличии и расположении эродированных, заболоченных и закустаренных участков, орошаемых земель, гидромелиоративных систем, лесополос, полевых станов и других особенностях территории, имеющих отношение к перспективам ее хозяйственного использования.

Для примера такого описания использован план части землепользования, приведенный на рис. 10. Отображенный на плане участок земель колхоза размещен в компактной массиве, разделенном на две части полосой отвода магистральной дороги. Протяженность его территории с запада на восток — около 3,5 км, с севера

на юг — около 5 км. На юго-востоке участка закреплен пункт геодезической сети с высотной отметкой 171,9 м. По границе землепользования установлено 13 межевых знаков, два из которых имеют отметки высот.

Рельеф участка среднеравнинный. Через всю территорию от вершины горы Луч к излучине реки Лама проходит хребет с ярко выраженным водоразделом. К западу и востоку от хребта расположены неглубокие балки. Наиболее высоким местом является юго-восточная и центральная часть территории, пониженным — пойма реки на северо-западе и севере участка. Склоны северо-западной балки подвержены незначительной эрозии, имеют промоины и ложбины со смытыми почвами.

Объектами гидрографии являются река Лама и пруд, сооруженный в балке и перегороженный плотиной.

Древесная растительность представлена лесополосами, размещенными по границам полей и вдоль полосы отвода железной дороги, а также небольшим массивом леса на юге участка. Естественный травяной покров (пастбища и сенокосы) имеется преимущественно в овражно-балочных системах и в пойме реки.

На участке расположено одно крупное селение Камыш, являющееся центром производственной бригады колхоза, в котором находятся почта, дом культуры, школа, магазин. На территории хозяйства размещены хозяйственный двор и молочная ферма.

В южном направлении от населенного пункта проходит грунтовая проселочная дорога к райцентру г. Мир. Остальная внутрихозяйственная дорожная сеть состоит из полевых грунтовых дорог, соединяющих поля севооборотов с хозяйством и населенным пунктом.

Пахотные земли размещены компактными массивами, разделенными лесополосами на поля севооборотов. В центральной части территории расположен участок сада.

К югу от населенного пункта размещен орошаемый овощной севооборот. Полустационарные оросительные системы представлены совокупностью внутрихозяйственных каналов, отстоящих друг от друга на расстояниях 160—170 м. Оросительная система снабжается водой через хозяйственный канал посредством механической подкачки из реки Лама.

Глава V

ИЗМЕРЕНИЯ НА КАРТАХ И ПЛАНАХ

§ 21. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ ЗАДАНЫМИ ТОЧКАМИ

Длину прямолинейного отрезка между точками на карте или плане измеряют с графической точностью, соответствующей величине 0,01 см. Полученный результат переводят в длину горизонтального проложения данной линии на местности, выражая ее в метрах.

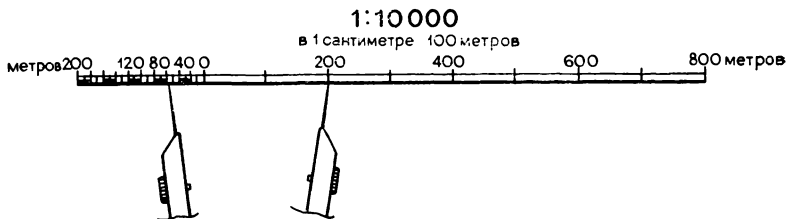


Рис. 21. Измерение линии по графику линейного масштаба

Такое измерение можно выполнить как выверенной линейкой с миллиметровой шкалой, так и с помощью графических масштабов — линейного или поперечного.

В первом случае для измерения лучше использовать линейку со скошенным краем. Приложив нулевой штрих линейки к начальной точке, фиксируют по шкале длину отрезка в его конечной точке, отсчитывая целые, десятые и сотые доли сантиметра (последние отсчитывают на глаз). Для контроля измерение выполняют дважды. Предельное расхождение между результатами не должно превышать величины $\Delta l_{\text{пред}} = 0,02 \text{ см} \sqrt{2} \approx 0,03 \text{ см}$. Затем, зная численный или именованный масштаб, определяют горизонтальное проложение данной линии S в метрах, умножая среднюю длину отрезка l (см) на число метров, соответствующее одному сантиметру карты или плана. Например, при измерении линии на плане масштаба $1:25\,000$ получены результаты: $l_1 = 6,22 \text{ см}$; $l_2 = 6,24 \text{ см}$. Поскольку одному сантиметру плана в этом масштабе соответствует 250 м на местности, то $S = 6,23 \cdot 250 = 1557,5 \text{ м}$.

Чтобы не прибегать к подобным вычислениям, для определения длины отрезка горизонтального проложения местности, выраженного непосредственно в метрах, используют графический линейный масштаб, размещенный под южной стороной внешней рамки карты или плана. Он состоит из нескольких равных отрезков, называемых основанием (рис. 21). Длина основания графика обычно соответствует целому числу сотен метров на местности. Например, основание, равное 2 см на плане масштаба $1:10\,000$, соответствует 200 м местности; при масштабе плана $1:25\,000$ — 500 м; для масштаба $1:5000$ — 100 м и т. п. Основание, которое находится влево от нулевого штриха шкалы графика, делят на 5, 10 или 20 равных частей, называемых наименьшим делением линейного масштаба. Штрихи, отделяющие целые основания, подписывают слева направо от нуля. Для определения расстояния раствор измерителя устанавливают по длине заданного на карте или плане отрезка, после чего прикладывают его к графику так, чтобы левая игла измерителя находилась в пределах крайнего основания, а другая — на одном из штрихов графика, отделяющих целые основания вправо от нуля (см. рис. 21). Длину линии отсчитывают в метрах по оцифровке шкалы графика; если при этом левая игла измерителя находится в интервале между малыми делениями крайнего

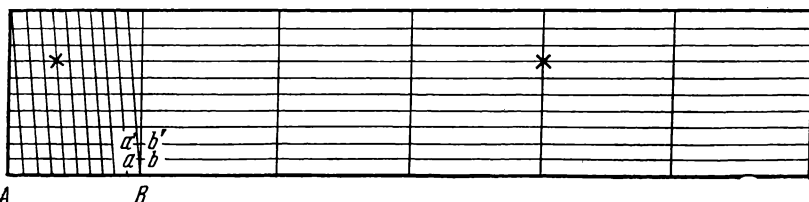


Рис. 22. Номограмма поперечного масштаба

основания, то величину отрезка, составляющего часть наименьшего деления, определяют на глаз. Контроль осуществляют повторным измерением. Допустимое расхождение результатов, выраженное в метрах, определяется величиной $\Delta_S^{\text{доп}} = 3 \cdot M \cdot 10^{-4}$, где M — знаменатель численного масштаба карты или плана. Например, для двух измерений линии на плане масштаба $1 : 25\,000$ расхождение $\Delta_S^{\text{доп}} = 3 \times 2,5 = 7,5$ м.

Отрезок, величина которого на плане больше длины графика линейного масштаба, измеряют по частям раствором циркуля, кратным основанию линейного масштаба, но не превышающим 10 см. Повторное измерение выполняют в обратном направлении; расхождение между результатами двух измерений линии в метрах не должно превышать величины

$$\Delta_S^{\text{доп}} = 3 \cdot M \cdot 10^{-4} \sqrt{n}, \quad (45)$$

где n — число установок измерителя при определении длины данного отрезка.

Измерение дробных частей наименьшего деления линейного масштаба на глаз снижает точность результатов, а при большом количестве измерений довольно утомительно. Чтобы избежать этого, пользуются другим графиком — номограммой поперечного масштаба (рис. 22).

Поперечный масштаб представляет собой систему взаимно перпендикулярных линий, образующих номограмму длиной 12 или 20 см и высотой 3 см. Вертикальные линии (секущие) проведены через расстояния AB , равные основанию масштаба. По высоте номограмма разделена на m равных частей параллельными линиями, оцифрованными по порядку снизу вверх; левое крайнее основание разделено на n равных частей, между которыми образована система наклонных параллельных линий (трансверсалей). Следовательно, каждая часть левого основания равна величине $AB : n$. Эта часть пропорционально делится параллелями на отрезки, заключенные между секущей линией и ближайшей к ней трансверсалью. Самым маленьким из них является отрезок первой параллели ab , называемый наименьшим делением поперечного масштаба. Отрезок второй параллели $a'b'$ соответственно равен $2ab$, третьей — $3ab$ и т. д. Отрезок последней параллели номограммы равен $m \cdot ab = AB : n$. Отсюда видно, что наименьшее деление $ab = AB : mn$. Так как его величину всегда

выражают в метрах, то она зависит от численного масштаба. Например, в масштабе 1 : 25 000 основание номограммы 2 см соответствует на местности величине $AB=500$ м. Тогда при $m=10$ и $n=10$ наименьшее деление поперечного масштаба $ab=5$ м.

Для определения расстояния с помощью поперечного масштаба заданный растров измерителя перемещают параллельно основанию номограммы и устанавливают таким образом, чтобы левая игла находилась на одной из трансверсалей, а правая — на одной из секущих линий, перпендикулярных к основанию (на рис. 22 установка измерителя отмечена крестиком). Тогда измеряемая линия складывается из трех частей: первая часть равна длине суммы оснований, отложенных вправо от нуля, вторая — суммарной длине общего количества малых делений левого основания, третья — отрезку соответствующей параллели, заключенному между первой трансверсалью и секущей линией, проходящей через нулевой штрих основания номограммы.

Применительно к рис. 22 определяемое расстояние $S=3 \cdot AB + 6 \cdot AB : n + 7ab$, а его длина на местности зависит от масштаба карты или плана. Так, при размере основания номограммы 2 см и числе делений $m=10$, $n=10$ в масштабе плана 1 : 25 000 наименьшее деление $ab=5$ см, а расстояние $S=3 \times 500 + 6 \times 50 + 7 \times 5 = 1835$ м; в масштабе 1 : 10 000 $ab=2$ м, $S=3 \times 200 + 6 \times 20 + 7 \times 2 = 734$ м; в масштабе 1 : 5000 $ab=1$ м, $S=3 \times 100 + 6 \times 10 + 7 \times 1 = 367$ м и т. п.

Как видно, при данных параметрах номограммы величина наименьшего деления соответствует двойной точности масштаба. Для повышения точности и упрощения измерений на стандартных масштабных линейках наносят четыре номограммы с различными длиной основания и числом делений (рис. 23).

Длину ломаной линии можно определить по сумме ее отрезков, если они не слишком короткие (более 2 см). Длину ломаной линии, состоящей из коротких отрезков l_1, l_2, l_3 (например,

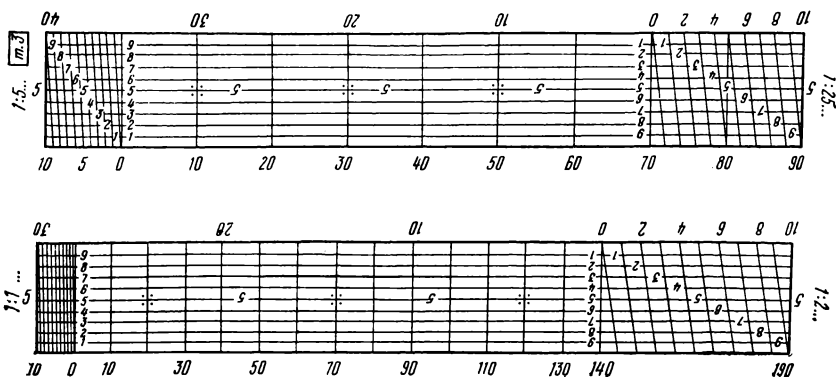


Рис. 23. Номограммы поперечных масштабов на металлической масштабной линейке

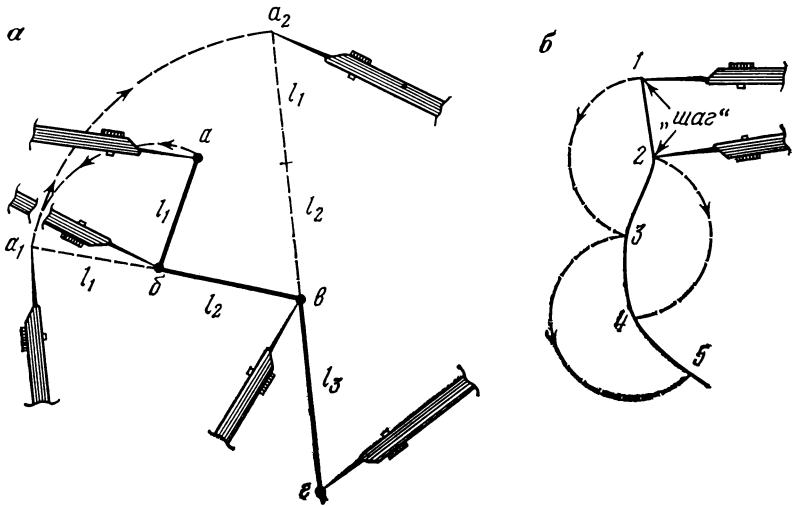


Рис. 24. Измерение ломаной и извилистой линий

линии *abvg* на рис. 24,а), целесообразно измерять способом постепенного наращивания раствора измерителя. Для этого устанавливают его иголки на длину l_1 в точки *a* и *б*; удерживая иголку в точке *б* и не изменяя раствора, поворачивают измеритель до продолжения отрезка *вб* и закрепляют вторую иголку в точке *a*₁. Затем перемещают иголку измерителя из точки *б* в точку *в*, получив в растворе измерителя суммарную длину $a_1б + бв = l_1 + l_2$. Перемещая таким же образом иголку в точку *a*₂, увеличивают раствор измерителя на величину $вг = l_3$. Общую длину ломаной линии, выраженную в метрах местности, определяют по линейному или поперечному масштабу. Для контроля измерение выполняют в обратном направлении; при этом допустимое расхождение двух результатов определяют по формуле (45).

Длину извилистой линии измеряют описанным выше способом, разделив ее черточками на приблизительно прямолинейные отрезки. По-другому такую длину можно определить путем многократного откладывания по кривой постоянного раствора измерителя, величину которого называют «шагом» (рис. 24, б) и выбирают в зависимости от извилистости линии порядка 2—5 мм. Длину вычисляют умножением величины шага измерителя на число его полных перестановок плюс остаток, измеренный по линейному или поперечному масштабу. Контроль осуществляют измерением в обратном направлении.

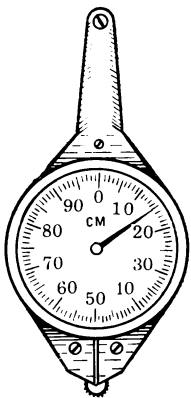


Рис. 25. Курвиметр КУ-А

Для измерения большого количества извилистых линий целесообразно использовать курвиметр (рис. 25). С этой целью вращением колесика приводят стрелку циферблата на нулевой отсчет. Установив колесико в начальную точку, проводят им по измеряемой линии и прочитывают на циферблате число измеренных сантиметров. Полученную длину переводят в метры соответственно масштабу плана.

Задачи для самостоятельного решения

1. Пользуясь масштабной линейкой, измерить стороны многоугольника (полигона), нанесенного на карте или плане, выразив их величину в метрах местности.

2. На номограмме поперечного масштаба (см. рис. 22) отложен отрезок 3,38 см. Определить длину этой линии на местности для масштабов 1:10 000, 1:5000; 1:25 000; 1:2000.

3. Измерить в прямом и обратном направлениях длину выбранной на карте извилистой линии: а) способом наращивания раствора циркуля; б) шагом измерителя. Проконтролировать измерения, сравнив расхождения полученных результатов с допуском.

§ 22. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАСШТАБА КАРТЫ, ПЛАНА И АЭРОФОТОСНИМКА

Если по той или иной причине на плано-картографической основе отсутствует подпись масштаба, то его можно определить разными способами:

по подписям координатной сетки на ее выходах у внутренней рамки карты или плана. Для этого достаточно измерить расстояние между смежными линиями сетки. Пусть подписи выходов сетки соответствуют 0,5 км = 500 м, а измеренное между ними кратчайшее расстояние равно 10,00 см. Значит, именованный масштаб карты «в 1 см 50 м», а численный — 1:5000;

по номенклатуре листа карты или подписям географических координат. В соответствии с данными табл. 13 каждый масштабный ряд имеет свою форму обозначения, а также размеры листов, по которым легко определить масштаб карты;

по длине дуги меридиана. Зная, что одна минута по меридиану приближенно соответствует расстоянию $S \approx 1,85$ км, можно измерить какой-либо из линейных интервалов западной или восточной стороны минутной рамки карты. Пусть результат измерения интервала в одну минуту по широте $l = 7,45$ см. Значит, в соответствии с формулой (39), знаменатель масштаба $M = S : l = 1,85 \times 10^5 \text{ см} : 7,45 \text{ см} \approx 25\ 000$, а масштаб данной карты — 1:25 000.

по известным или измеренным расстояниям. Если на карте отсутствуют рамки с подписями, но есть точки, координаты которых известны (например, пункты геодезических сетей), то масштаб легко определить путем измерения расстояния между этими точками. Длину соответствующей линии местности вычисляют по известным координатам пунктов, а масштаб определяют по формуле (39).

На землеустроительных планах для этих целей можно использовать измеренные на местности расстояния между межевыми знаками границы землепользования.

В случае если нет никаких сведений о расстояниях между изображенными на плане точками, то его масштаб можно определить путем непосредственного измерения этого расстояния на местности и на плане и вычислить по формуле (39).

Масштаб аэрофотоснимка определяют аналогично, на основе измерения расстояний между точками, надежно опознанными на местности и на аэрофотоснимке (опознаками).

Если же имеется топографическая карта данной территории, то масштаб можно определить по измеренным расстояниям между общими точками карты и аэрофотоснимка, расположенными не ближе 1 см от его края и не менее 5 см друг от друга. Знаменатель масштаба аэрофотоснимка M_{ϕ} рассчитывают по формуле $M_{\phi} = (M_k \cdot l_k) : l_{\phi}$, где M_k — знаменатель численного масштаба карты; l_k — расстояние между опознанными точками на карте; l_{ϕ} — расстояние между теми же точками на аэрофотоснимке. Для контроля и повышения точности определения M_{ϕ} выбирают два отрезка, пересекающихся под углом, близким к прямому. Относительное расхождение ΔM_{ϕ} между двумя определениями знаменателя масштаба не должно быть более $M_{\phi} : 100$.

Пример. На карте масштаба 1 : 25 000 и на аэрофотоснимке опознаны три точки: *a*, *b* и *v*. Измерения отрезка *ab* дали результаты: на карте $l_k = 5,98$ см, на аэрофотоснимке $l_{\phi} = 12,25$ см. Тогда $M_{\phi_1} = (25 \cdot 10^3 \cdot 5,98) : 12,25 \approx 12\,200$. Для отрезка *bv* получены результаты измерений: $l_k = 4,78$ см, $l_{\phi} = 9,83$ см. Тогда $M_{\phi_2} = (25 \cdot 10^3 \cdot 4,78) : 9,83 \approx 12\,160$. Так как

$$(M_{\phi_1} - M_{\phi_2}) : M_{\phi_{\text{ср}}} = 40 : 12\,180 \approx 1 : 300 < 1 : 100,$$

то за окончательное значение масштаба аэрофотоснимка следует принять 1 : 12 180.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить масштабы карт по номенклатуре их листов: а) К-41-137-А-в; б) N-35-4-Б; в) О-38-38-А-а-1.

2. Определить масштаб карты, если размеры ее листа соответствуют по широте 10', а по долготе 15'.

3. Определить масштаб карты, если кратчайшее расстояние между двумя смежными выходами километровой сетки равно 4 см.

4. Рассчитать масштаб карты, если расстояние между точками, соответствующими десятисекундному интервалу широты минутной рамки карты, равно 3,08 см.

5. Расстояние между двумя соседними межевыми знаками границы землепользования равно 935 м; длина соответствующей линии на плане равна 3,74 см. Определить численный масштаб плана.

6. Определить масштаб аэрофотоснимка, если расстояния между тождественными точками на карте и на аэрофотоснимке $l_k = 14,93$ см, $l_{\phi} = 12,16$ см, а масштаб карты 1 : 10 000.

7. Расстояние между опознаками на местности $S = 428$ м, а на аэрофотоснимке $l = 5,16$ см. Рассчитать масштаб аэрофотоснимка.

§ 23. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ТОЧЕК НА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ И ПЛАНАХ

Географические координаты заданной на карте точки можно определить следующими способами.

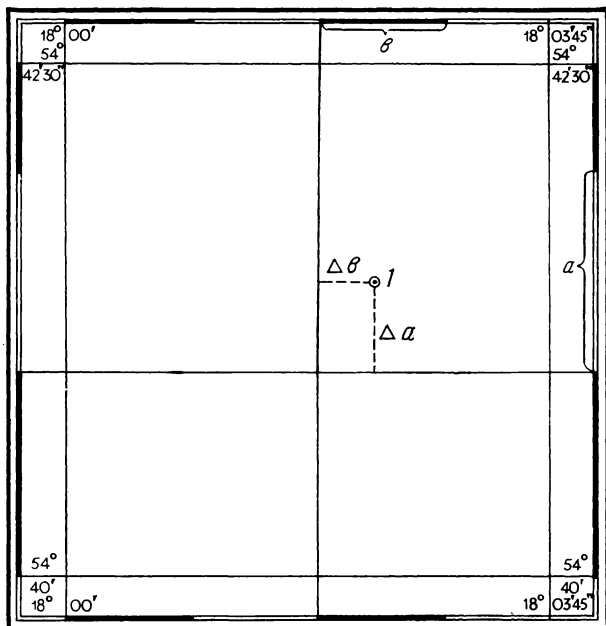


Рис. 26. Определение географических координат на целом листе карты

Если имеется полный лист карты (рис. 26), то, соединяя одноименные значения интервалов минутной рамки, проводят по выверенной линейке ближайšie к заданной точке линии южной параллели и западного меридиана, после чего определяют их градусную величину. На рис. 26 широта ближайшей к точке 1 южной параллели $B_{\text{юж}} = 54^{\circ}41'$, а долгота западного меридиана $L_{\text{зап}} = 18^{\circ}02'$.

Географические координаты точки 1 вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} B_1 &= B_{\text{юж}} + \Delta B'', \\ L_1 &= L_{\text{зап}} + \Delta L'', \end{aligned} \quad (46)$$

где $\Delta B''$ и $\Delta L''$ — приращения от точки 1 до линий с известными значениями географических координат.

Для вычисления $\Delta B''$ и $\Delta L''$ с помощью измерителя и масштабной линейки по карте определяют отрезки Δa и Δb , а по минутной рамке измеряют расстояния a и b , соответствующие определенным интервалам минут или секунд по широте и долоте. На рис. 26 градусная мера этих интервалов равна $1' = 60''$. Приращения географических координат вычисляют по формулам

$$\Delta B'' = \frac{\Delta a \cdot 60''}{a}; \quad \Delta L'' = \frac{\Delta b \cdot 60''}{b}.$$

Пример. Пусть измерены $\Delta a=8,18$ см, $\Delta b=5,30$ см; $a=18,55$ см, $b=10,72$ см.

$$\Delta B'' = \frac{8,18 \cdot 60''}{18,55} = 26,5''; \quad \Delta L'' = \frac{5,30 \cdot 60''}{10,72} = 29,7''.$$

Тогда, в соответствии с рис. 26 и формулой (46), координаты точки 1 равны: $B_1=54^\circ 41' 26,5''$; $L_1=18^\circ 02' 29,7''$.

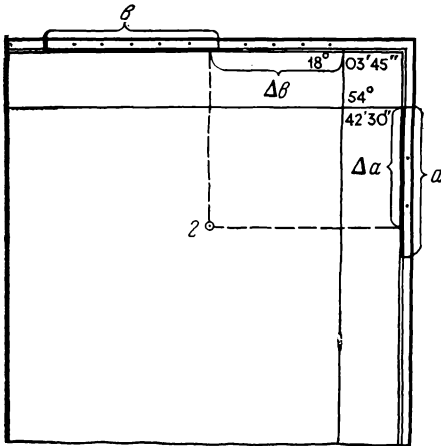


Рис. 27. Определение географических координат на фрагменте неполного листа карты

линейки и треугольника проводят параллель и меридиан, пересекая минутную рамку карты, и измеряют линейные отрезки Δa , Δb , a , b . Дальнейшие вычисления выполняют в соответствии с формулами (46) и (47).

Пример. Из рис. 27 видно, что северная сторона рамки имеет ширину $B_{сев}=54^\circ 42' 30''$, а восточная сторона имеет долготу $L_{вост}=18^\circ 03' 45''$. Для определения координат точки 2 на минутной рамке измерены отрезки $\Delta a=7,52$ см, $a=9,28$ см; $\Delta b=8,51$ см, $b=10,72$ см. Так как линейный отрезок a на рис. 27 соответствует угловому интервалу $30''$, то

$$\Delta B'' = \frac{7,52 \cdot 30''}{9,28} = 24,3''; \quad \Delta L'' = \frac{8,51 \cdot 60''}{10,72} = 47,6''.$$

Согласно формуле (47), $B_2 = 54^\circ 42' 30'' - 24,3'' = 54^\circ 42' 05,7''$; $L_2 = 18^\circ 03' 45'' - 47,6'' = 18^\circ 02' 57,4''$.

Прямоугольные координаты точек определяют на основе линий координатной сетки, которые для топографических карт масштабов 1 : 10 000 и мельче проводят и подписывают на выходах через интервалы, соответствующие 1 км (такие сетки называют километровыми). На землеустроительных планах принято строить координатные сетки с дециметровой стороной квадрата, поэтому значения подписей на выходах линий зависят от масштабов планов*.

* Выходы линий сетки на землеустроительных планах, построенных в условной системе координат, иногда подписывают числом метров, а не километром.

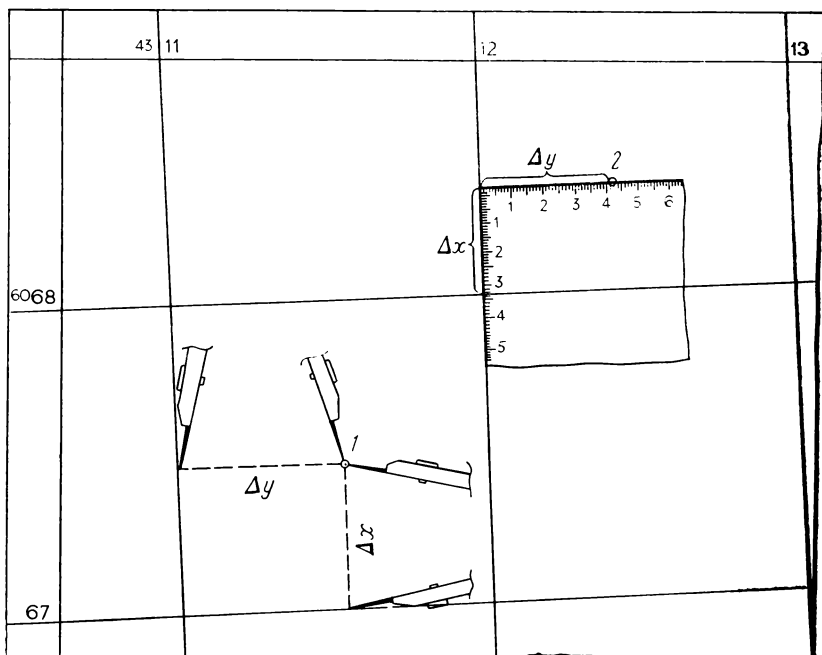


Рис. 28. Определение прямоугольных координат с помощью измерителя и координатомера

Для измерения прямоугольных координат заданной точки первоначально определяют координаты юго-западного угла квадрата, в котором находится эта точка, выражая их значения в метрах. Например, по подписям километровой сетки на рис. 28 видно, что для точки I $X_{\text{юж}} = 6\ 067\ 000$ м и $Y_{\text{зап}} = 4\ 311\ 000$ м. Из заданной точки опускают перпендикуляры на южную и западную стороны квадрата и измеряют их длину в масштабе карты или плана, получая таким образом значения приращений координат Δx и Δy . Прямоугольные координаты вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} X_1 &= X_{\text{юж}} + \Delta x, \\ Y_1 &= Y_{\text{зап}} + \Delta y. \end{aligned} \quad (48)$$

Пример. Измерены приращения прямоугольных координат $\Delta x = 467$ м, $\Delta y = 542$ м. Тогда, согласно рис. 28 и формуле (48)

$$\begin{aligned} X_1 &= 6\ 067\ 000 + 467 = 6\ 067\ 467 \text{ м}, \\ Y_1 &= 4\ 311\ 000 + 542 = 4\ 311\ 542 \text{ м}. \end{aligned}$$

Контроль осуществляют путем аналогичного измерения приращений от данной точки до северной и восточной сторон квадрата. Повторные значения координат вычисляют по формуле

$$\begin{aligned} X_1 &= X_{\text{сев}} - \Delta x, \\ Y_1 &= Y_{\text{вост}} - \Delta y. \end{aligned} \quad (49)$$

Если расхождения не превышают величины $3 \cdot M \cdot 10^{-4}$, то за окончательный результат принимают среднее арифметическое значение.

Для измерения приращений можно использовать специальный координатомер с двумя взаимно перпендикулярными шкалами, награвированными на прозрачной основе (см. рис. 28). Координатомер накладывают на квадрат, в котором расположена определяемая точка, совмещая левую шкалу с западной линией оси абсцисс квадрата, а верхнюю — с точкой, и отсчитывают по шкалам величину приращений (до десятых долей миллиметра), преобразуя эти значения в метры местности соответственно масштабу карты (плана). Координаты точки рассчитывают по формуле (48). Так, на рис. 28 координаты точки 2 равны

$$X_2 = 6\,068\,000 + 332 = 6\,068\,325 \text{ м,}$$

$$Y_2 = 4\,312\,000 + 428 = 4\,312\,420 \text{ м.}$$

При большом количестве определяемых точек для измерения их координат в стационарных условиях целесообразно применять автоматические электронные координатографы со счетно-решающим устройством и пультом управления. Такой прибор обеспечивает возможность непосредственного использования значений измеренных координат для решения различных инженерных задач.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить географические координаты точки, заданной на топографической карте. Результаты проконтролировать независимым повторным измерением.

2. Определить прямоугольные координаты заданных на плане точек с независимым контролем измерений.

§ 24. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ НА КАРТАХ И ПЛАНАХ

Горизонтальные углы и направления линий на картах и планах измеряют (или строят) *геодезическими транспортирами*, из которых наиболее распространен полукруглый транспортир ТГ-А-180 с радиусом 90 мм и ценой деления угломерной шкалы $0,5^\circ$. При измерениях транспортир необходимо укладывать так, чтобы обе метки нулевого диаметра (0° и 180°) находились на одной линии, а центральная метка (нуль прямолинейной шкалы) совпадала с вершиной угла.

Горизонтальный угол измеряют между направлениями его сторон или их продолжениями, если угол более 180° . Когда стороны измеряемого угла короче радиуса транспортира, то их удлиняют с помощью выверенной линейки, а одну из сторон продолжают для более точного совмещения нулевого диаметра. Величину угла отсчитывают по ходу часовой стрелки; угловой промежуток дуги от ближайшего меньшего штриха до направления стороны угла оценивают на глаз, округляя результат до значения, кратного $5'$, что соответствует точности измерения углов транспортирами такого типа.

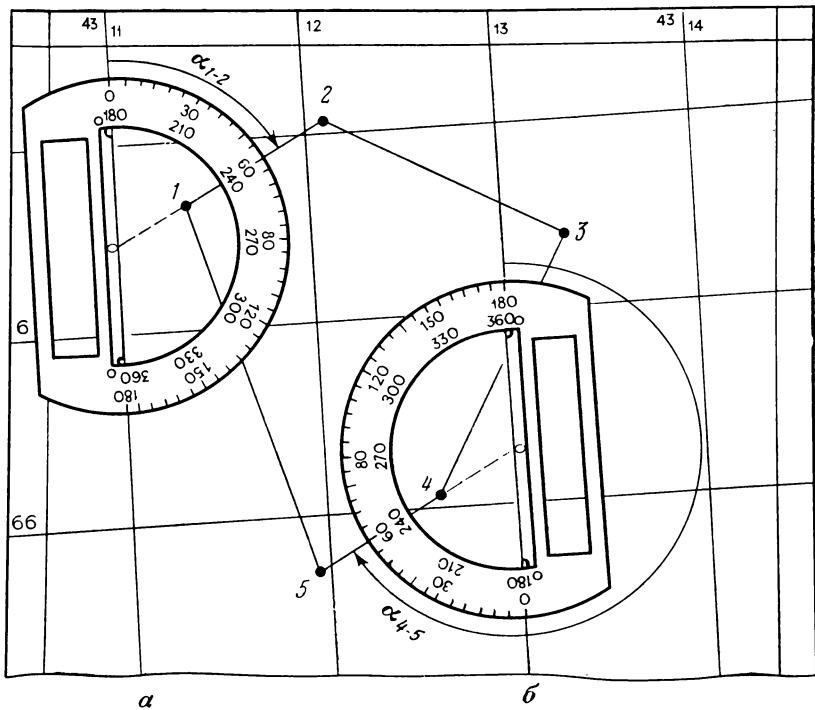


Рис. 29. Измерение дирекционных углов сторон полигона на топографической карте

Для измерения дирекционных углов используют линии координатной сетки, нанесенные на карте параллельно оси абсцисс (в направлении север — юг).

Дирекционный угол измеряют по ходу часовой стрелки от северного направления линии, параллельной оси абсцисс, до направления заданной линии (рис. 29). Поскольку линии сетки построены на картах и планах через определенные интервалы, то для измерения дирекционного угла заданное направление продолжают до пересечения с одной из этих линий, расположенных слева от начальной точки, когда дирекционный угол меньше 180° (рис. 29,а), или справа, когда он больше 180° (рис. 29,б). Нулевой диаметр транспортира укладывают по координатной сетке, совмещая центральную метку с точкой пересечения линий, после чего отсчитывают дирекционный угол. Когда измеряемый угол больше 180° , то отсчет ведут от южного направления оси абсцисс, используя второй ряд подписей угломерной шкалы транспортира.

Если измеряемый угол близок к 0° или 180° и поэтому в пределах листа карты заданная линия не пересекается с абсциссами координатной сетки, то направление сетки параллельно переносят

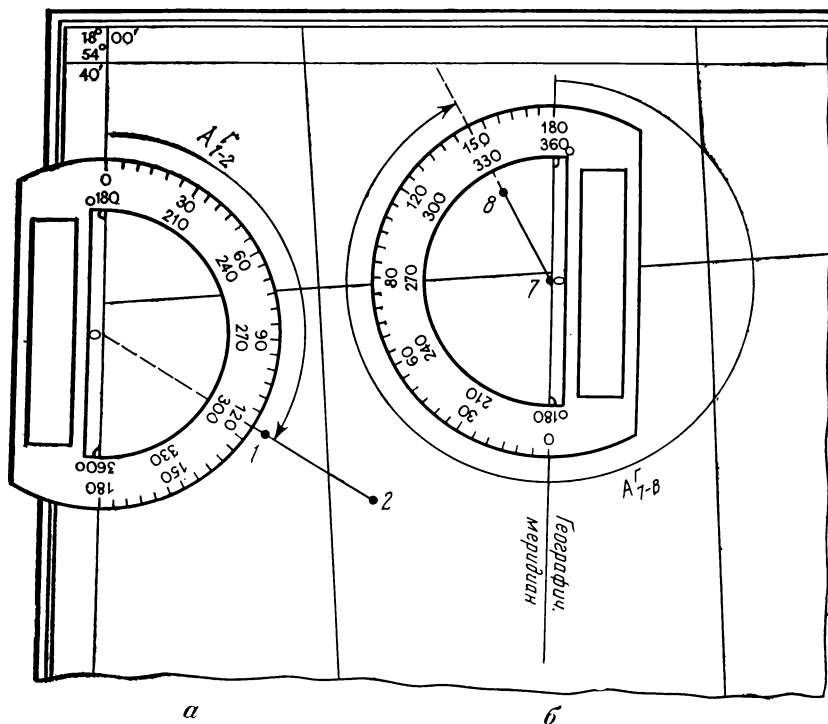


Рис. 30. Измерение географических азимутов линий на топографической карте

в начальную точку линии с помощью треугольника и линейки и измерение выполняют, как описано выше.

Географический азимут измеряют по ходу часовой стрелки от северного направления географического меридиана, проходящего через начальную точку заданной линии (рис. 30). Направлением этого меридиана практически параллельно линиям, ограничивающим карту с запада и востока по внутренней рамке листа (см. § 16). Поэтому для измерения географического азимута направление заданной линии продолжают до пересечения с западной или восточной стороной рамки карты (рис. 30,а) или же параллельно переносят одно из нанесенных на карте направлений географических меридианов в начальную точку заданной линии (рис. 30,б). Величину азимута определяют транспортиром так же, как при измерении дирекционных углов.

Задачи для самостоятельного решения

1. Измерить геодезическим транспортиром внутренние углы многоугольника (полигона), обозначенного точками на карте. Подсчитать их практическую сумму и сравнить с теоретической; допустимое расхождение результатов не должно превышать $f_{\beta}^{\text{доп}} = 15' \sqrt{n}$, где n — число углов.

2. Измерить дирекционные углы сторон полигона, вершины которого **занумерованы** по ходу часовой стрелки. Вычислить румбы этих направлений.

3. Измерить географический азимут и дирекционный угол заданной на карте линии. По результатам измерений вычислить сближение меридианов и **определить** по какую сторону от данной линии (справа или слева) находится **осевой меридиан** зоны.

§ 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УКЛОНОВ ЛИНИЙ МЕСТНОСТИ НА КАРТЕ

Степень понижения или повышения местности характеризуют углами наклона линий ν или уклонами i .

Углом наклона называют вертикальный угол ν , образованный линией местности и горизонтальной плоскостью. Градусная мера угла наклона характеризует крутизну ската данной линии местности.

Уклоном называют тангенс угла наклона линии местности в данной точке. Уклоны i выражают в тысячных долях единицы, округляя их значения до третьего десятичного знака, или в процентах.

На рис. 31 показан вертикальный разрез участка местности по линии AB , где катет прямоугольного треугольника h_{AB} является превышением в направлении с точки A на точку B , а катет S_{AB} — горизонтальными проложениями линии AB . Отсюда видно, что

$$i_{AB} = \operatorname{tg} \nu_{AB} = h_{AB}/S_{AB}. \quad (50)$$

Следовательно, *уклон линии AB есть отношение превышения с точки A на точку B к горизонтальному проложению между этими точками.*

Для практического определения уклона горизонтальное проложение линии измеряют на карте, выражая его в метрах местности, а превышение между точками вычисляют по отметкам их **высот**.

Пример. Определить уклон, если известно, что две точки A и B , **изображенные** на карте, имеют высоты $H_A = 72,5$ м, $H_B = 75,0$ м, а $S_{AB} = 90$ м. Поскольку превышение с точки A на точку B вычисляют по формуле $h_{AB} = H_B - H_A$, то уклон этой линии $i_{AB} = (75,0 - 72,5) : 90 \approx +0,028$, или $i_{AB} = +2,8\%$. Угол наклона, характеризующий крутизну ската по направлению этой **линии**, можно вычислить по формулам

$$\nu_{AB} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} i_{AB} \text{ или } \nu_{AB} \approx 57,3^\circ \cdot \frac{h_{AB}}{S_{AB}}. \quad (51)$$

В данном примере $\nu_{AB} \approx +57,3^\circ \cdot 0,028 \approx +1,6^\circ$.

На рис 31 пунктиром показано превышение h_{BA} с точки B на точку A , которое в рассматриваемом случае отрицательное. Так как $h_{BA} = H_A - H_B$, то уклон этой линии $i_{BA} = (72,5 - 75,0) : 90 \approx -0,028$. Ему соответствует угол наклона $\nu_{BA} \approx -1,6^\circ$, характеризующий крутизну ската по направлению BA .

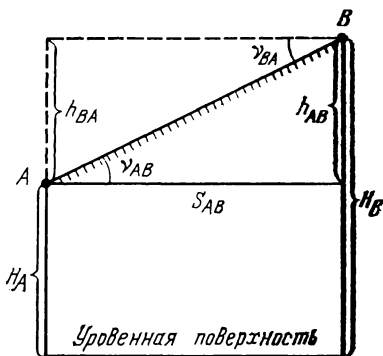


Рис. 31. Уклон линии между точками A и B

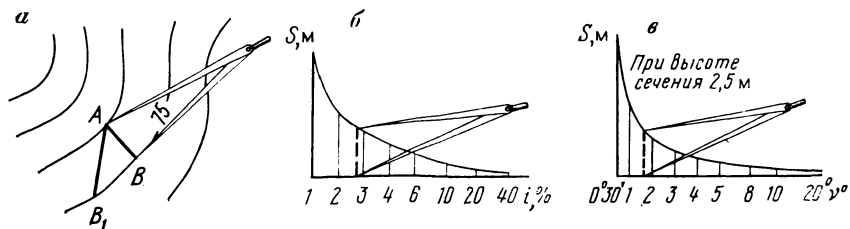


Рис. 32. Определение уклонов (в %) и крутизны скатов (в углах наклона) по графикам заложений

Если требуется определить уклон линии, соединяющей две смежные горизонтали, то превышение вычислять не нужно, поскольку оно равно известной высоте сечения рельефа h_0 , но необходимо установить его знак (плюс или минус), характеризующий направление уклона. В этом случае модуль величины уклона удобно определять по графику заложений.

Заложением называют расстояние на карте между соседними горизонталями по любому заданному направлению (например, по направлению AB_1 на рис. 32,а). Однако часто требуется охарактеризовать уклон по направлению наибольшей крутизны линии местности. Для этого на карте измеряют заложение ската — расстояние между смежными горизонталями по кратчайшему направлению, перпендикулярному к этим горизонталям (например, по направлению AB на рис. 32,а).

График заложений представляет собой номограмму для определения уклонов или углов наклона (крутизны ската) между двумя смежными горизонталями. Такой график соответствует конкретным значениям масштаба карты и принятой для нее высоты сечения рельефа. Например, по графику заложений, построенному для карты масштаба 1 : 10 000 с высотой сечения рельефа 2,5 м, нельзя определять уклоны на карте масштаба 1 : 25 000 с высотой сечения рельефа 5 м.

График заложений для определения уклонов в процентах показан на рис. 32,б. По прямой линии графика через произвольные интервалы нанесены точки, образующие шкалу заранее установленных значений уклонов (подписаны снизу). Из этих точек построены перпендикуляры к линии шкалы, длины которых в масштабе карты равны соответствующим заложениям, вычисленным по формуле

$$S_k = \frac{h_0}{i_k\%} \cdot 100\%, \quad (52)$$

где h_0 — принятая высота сечения рельефа; k — номера точек шкалы.

Через концы перпендикуляров проведена плавная кривая. Чтобы определить уклон, на заданном участке карты раствором измерителя устанавливают заложение (см. рис. 32,а), а затем переносят

его на график, отсчитывая по шкале соответствующее значение уклона.

Аналогично определяют крутизну скатов по графику, изображенному на рис. 32, в. Заложения этого графика вычислены для данной шкалы углов наклона ν по формуле

$$S_k = \frac{h_0}{\operatorname{tg} \nu_k} = h_0 \cdot \operatorname{ctg} \nu_k.$$

Задачи для самостоятельного решения

1. Вычислить уклон линии (в тысячных) с точки 1 на точку 2, если $H_1 = 117,5$ м, $H_2 = 110,0$ м, $S_{1-2} = 187$ м.
2. Построить графики заложений для определения уклонов (в %) и крутизны скатов (в углах наклона) на карте масштаба 1 : 10 000 с высотой сечения рельефа 2,5 м.
3. По графику заложений определить максимальный и минимальный угол наклона в пределах заданного на карте отрезка линии.
4. Вычислить превышение с точки 1 на точку 2, если уклон линии $i_{1-2} = -0,028$, а горизонтальное проложение $S_{1-2} = 332$ м.
5. Вычислить угол наклона с точки 1 на точку 2, если $h_{1-2} = 5$ м, а $S_{1-2} = 191$ м.
6. Вычислить заложения, соответствующие уклону 3,0%, для следующих значений высоты сечения рельефа: 2,5 м; 1,0 м; 2,0 м; 0,5 м.
7. Вычислить крутизну ската для заложения, равного 1 см, на карте масштаба: 1 : 10 000 при высотах сечения рельефа 2,5 м и 5 м;

§ 26. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТ ТОЧЕК, РАСПОЛОЖЕННЫХ МЕЖДУ ГОРИЗОНТАЛЯМИ

Пусть на плане имеется точка C_1 , которая является проекцией точки C местности и расположена между горизонталями с известными отметками высот H_A и H_B (рис. 33, а). Требуется определить высоту точки местности H_C .

Задачу решают методом интерполирования — отыскания внутреннего значения функции по двум известным внешним значениям. Для этого на плане через точку C_1 по направлению заложения ската проводят прямую, пересекающую смежные горизонтали в точках A_1 и B_1 .

На рис. 33, б показан вертикальный разрез линии AB , по которому видно, что

$$H_C = H_A + h_{AC},$$

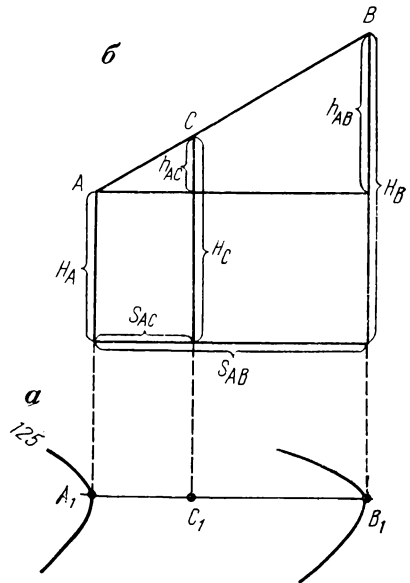


Рис. 33. Определение высоты точки между горизонталями

где

$$h_{AC} = \frac{h_{AB}}{S_{AB}} \cdot S_{AC} = i_{AB} \cdot S_{AC}.$$

Горизонтальные продолжения S_{AB} и S_{AC} измеряют на плане, а превышение с точки A на точку B вычисляют по формуле $h_{AB} = H_B - H_A$ или используют известное значение высоты сечения рельефа h_0 , определив предварительно направление ската (т. е. знак превышения). Если для данной карты построен график заложений, то отношение $h_{AB} : S_{AB} = i_{AB}$ можно определить, не прибегая к вычислениям.

В зависимости от требуемой точности практического решения данной задачи интерполяцию допускается выполнять на глаз. В этом случае приближенно определяют отношение $S_{AC} : S_{AB}$ и умножают его на величину h_0 . Например, на рис. 33 видно, что это отношение близко к $1/3$. Тогда при высоте сечения рельефа $h_0 = 2,5$ м, $h_{AC} = +2,5 : 3 \approx 0,8$ м и $H_C = 125,0 + 0,8 = 125,8$ м. Для контроля используют отношение $S_{BC} : S_{AB} \approx 2/3$. Тогда $H_C = H_B + 2/3 (-2,5) = 127,5 - 1,7 = 125,8$ м.

Задачи для самостоятельного решения

1. Методом интерполяции на глаз определить отметки высот точек, заданных на карте.

2. Рассчитать, на каком расстоянии от точки A находится точка C , имеющая высоту $H_C = 71,0$ м, если $H_A = 72,5$ м, $h_{AB} = -2,5$ м и $S_{AB} = 75$ м.

3. Отметка точки, лежащей между горизонталями, равна 26,8 м. Чему равны отметки этих горизонталей при высоте сечения рельефа 2,5 м? Вычислить расстояние от этой точки до ближайшей горизонтали, если заложение ската на этом участке равно 125 м.

§ 27. ОПИСАНИЕ РЕЛЬЕФА ПО ЗАДАННОМУ МАРШРУТУ

Эта задача сводится к определению планового положения характерных точек перегибов, отметок их высот и крутизны скатов на отдельных участках маршрутов.

Пусть на карте с высотой сечения рельефа $h_0 = 2,5$ м задан прямолинейный маршрут от точки A до точки B (рис. 34). Характерные перегибы местности находятся в точках 1, 4 и 7. Высоты точек A , B и характерных точек перегибов определяют по карте методом интерполяции (см. § 26). Для вычисления крутизны скатов измеряют отрезки линий между этими точками в масштабе карты. Углы наклона на отдельных участках маршрута вычисляют по формуле

$$\nu_{i-k} = 57,3^\circ (H_k - H_i) : S_{i-k},$$

где i, k — номера точек с известными отметками высот.

Например, $H_1 = 145,1$ м, $H_4 = 151,3$ м, $S_{1-4} = 349$ м. Тогда $\nu_{1-4} = 57,3^\circ \times (151,3 - 145,1) : 349 \approx +1,0^\circ$.

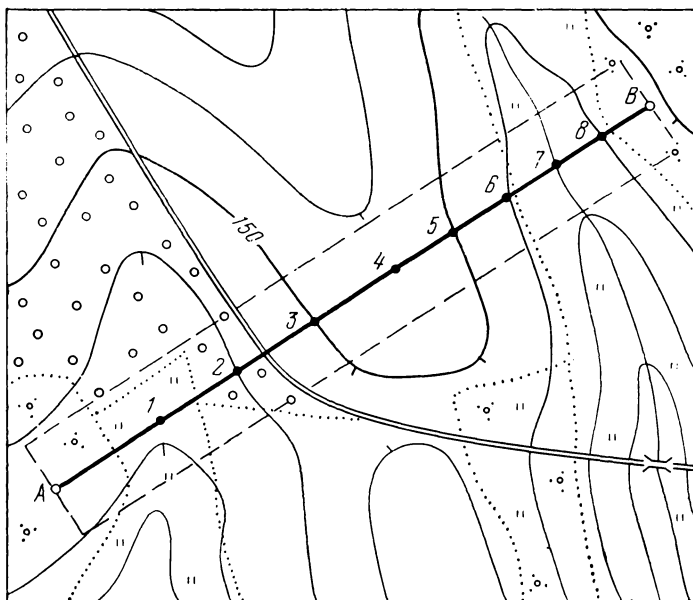


Рис. 34. Описание рельефа по заданному маршруту

В табл. 13 приведен пример записи результатов измерений и других характеристик рельефа по маршруту, показанному на рис. 34.

Таблица 13

| Обозначение точек | Местоположение точек | Отметки высот, м | Расстояния, м | Направление уклонов | Крутизна скатов |
|-------------------|----------------------|------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| A | На скате | 146,1 | 162 | Спуск | -0,4° |
| 1 | Водоток | 145,1 | 349 | Подъем | +1,0° |
| 4 | Водораздел | 151,3 | 247 | Спуск | -1,3° |
| 7 | Водоток | 145,9 | 150 | Подъем | +1,4° |
| B | На скате | 149,5 | | | |

Описание рельефа можно дополнить характеристикой крутизны скатов между точками пересечения линии маршрута с горизонталями (например, по отрезкам 2—3, 5—6). При этом углы наклона целесообразно определять по графику заложений, построенному для данной карты.

Задача для самостоятельного решения

В соответствии с формой, приведенной в табл. 13, описать основные характеристики рельефа по заданной на карте линии.

§ 28. ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ПО ЗАДАННОЙ ЛИНИИ

Профилем называют уменьшенное изображение вертикального разреза участка земной поверхности. Его строят для инженерного проектирования различных сооружений линейного типа (дорог, каналов, линий связи и электропередач и др.), используя в качестве исходной информации плано-картографические материалы с изображением рельефа. Чтобы упростить процесс построений, профиль обычно вычерчивают на миллиметровой бумаге, причем для наглядности выражения рельефа вертикальный масштаб разреза берут в 10 раз крупнее, чем горизонтальный (рис. 35).

Пусть на карте масштаба 1 : 10 000 заданы точки *A* и *B* (см. рис. 34). Требуется построить профиль по линии *AB*. Построение выполняют в следующем порядке:

на плане прочерчивают линию *AB*; в обе стороны от нее откладывают расстояния по 1 см и отграничивают участок прямоугольной формы (на рис. 34 показан пунктиром);

в нижней половине листа миллиметровой бумаги строят разграфку профиля по длине заданной линии *AB* (ширина граф указана на рис. 35); слева от каждой графы подписывают название ее содержания;

с помощью измерителя переносят контуры ситуации с карты в графу «План местности» и вычерчивают нанесенные объекты соответствующими условными знаками;

на карте отмечают точки пересечения профильной линии с горизонталями и характерные точки перегибов местности, нумеруя их по порядку;

раствором измерителя переносят расстояния между отмеченными точками в графу «Расстояния»; одновременно по масштабной линейке определяют значения этих расстояний и записывают в соответствующих интервалах данной графы; контролируют сумму измеренных отрезков, которая не должна отличаться от общей длины линии *AB* более чем на $M \cdot 10^{-4} \sqrt{n}$, где n — число отрезков, M — знаменатель масштаба;

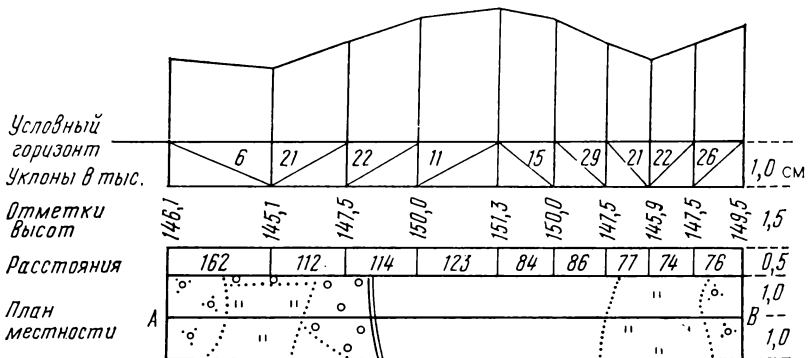


Рис. 35. Построение профиля по линии *AB*

по подписям горизонталей определяют отметки высот точек их пересечения с профильной линией; отметки высот характерных точек перегибов рассчитывают методом интерполирования с округлением до 0,1 м; полученные значения выписывают в графу «Отметки высот» против соответствующих точек перпендикулярно к линиям разграфки;

для верхней линии разграфки, принятой за исходную уровенную поверхность, выбирают условное значение высоты с таким расчетом, чтобы чертеж был компактным;

на перпендикулярах к верхней линии разграфки откладывают значения высот, уменьшенные на величину высоты условной уровенной поверхности; концы отрезков соединяют прямыми линиями и получают профиль местности для участка *AB*;

по формуле (50) вычисляют уклоны между точками профиля и выписывают их значения в целых тысячных долей единицы (например, 6 вместо 0,006); направления уклонов показывают условными линиями, которые проводят в соответствующих интервалах графы от верхнего угла к нижнему (при отрицательном уклоне) или от нижнего — к верхнему (при положительном уклоне); уклоны отрезков профиля между точками, расположенными на горизонталях, можно определять по графику заложений, построенному для данной карты.

Задачи для самостоятельного решения

1. Построить профиль по заданной на карте или плане линии. Горизонтальный масштаб принять равным масштабу карты, а вертикальный — в 10 раз крупнее.

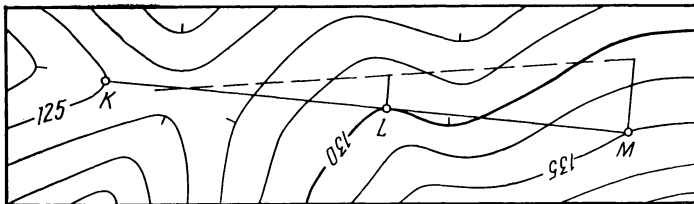


Рис. 36. Определение взаимной видимости между точками местности по карте

2. Определить по карте, есть ли взаимная видимость между точками *M* и *K* местности. Задачу решить путем построения на карте упрощенного профиля в виде треугольника. Для этого выбрать две характерные точки рельефа *K* и *L* с таким расчетом, чтобы высота точки *L* была больше высоты точки *K* (рис. 36). Через данные точки провести прямую линию, продлив ее до любой характерной точки *M*, расположенной по рельефу выше, чем точка *L*. Определив высоты точек, вычислить их превышение над точкой *K*. Например, на рис. 36 $H_K=125$ м, $H_L=130$ м, $H_M=135$ м; превышения $h_{K-L}=+5$ м, $h_{K-M}=+10$ м.

Далее, из точек *L* и *M* перпендикулярно к линии *MK* отложить в произвольном масштабе отрезки, соответствующие вычисленным превышениям, и провести через их концы прямую, означающую луч зрения с точки *M* на точку *K*. Если эта прямая пересечет линию *MK*, как показано на рис. 36, то

промежуточная точка L , находящаяся на водоразделе, не мешает видеть точку K с точки M . В противном случае луч зрения пройдет за точкой K . Если в районе точки L находятся объекты местности (лес, постройки и пр.), то при вычислении H_L следует учесть их высоту.

Аналогичную задачу можно решить для заранее заданных на карте точек M и K , установив и обозначив на линии MK точку возможного препятствия видимости.

§ 29. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОДОЕМА

Пусть для сооружения искусственного водоема требуется перекрыть реку плотиной с таким расчетом, чтобы уровень воды в точке подпора C (рис. 37) поднялся на 12 м, а отметка верха плотины (гребня) была на 1 м больше отметки проектного уровня водоема.

Задача проектирования заключается в нанесении на карту точек A и B , определяющих положение контура будущей плотины, и в отграничении зоны затопления.

При решении данной задачи первоначально рассчитывают отметки проектного уровня воды H_0 и гребня плотины $H_{пл}$. Согласно заданным условиям, $H_0 = H_C + 12 \text{ м} = 115 + 12 = 127 \text{ м}$; $H_{пл} = H_0 + 1 \text{ м} = 128 \text{ м}$. Так как гребень плотины проектируется горизонтально, то $H_A = H_B = H_{пл} = 128 \text{ м}$.

Затем на карте проводят ось плотины (перпендикулярно к направлению русла реки в точке C) и фиксируют на ней положение точек A и B методом интерполяции по известным отметкам их высот, равным 128 м. Для этого от 125-й горизонтали отмеряют $3/5$ величины заложения до 130-й горизонтали.

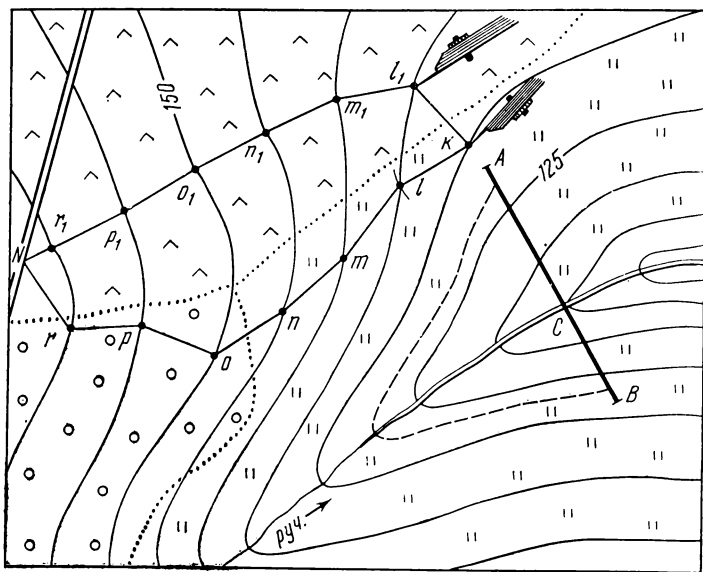


Рис. 37. Проектирование водоема. Проведение на карте линии заданного уклона

Далее от контура плотины на карте отграничивают зону затопления путем проведения вспомогательной горизонтали с отметкой проектного уровня воды $H_0 = 127$ м. Это делают на основе интерполяции, отделяя от характерных точек изгибов 125-й горизонтали $2/5$ величины заложений до 130-й горизонтали. Полученная горизонталь (на рис. 37 показана пунктиром) определяет положение береговой линии проектируемого водохранилища, т. е. зону затопления.

Задачи для самостоятельного решения

1. Выбрать на карте ручей (или неширокую реку) и провести перпендикулярно к руслу прямую линию, соединяющую две точки A и B на горизонталях с одинаковыми высотами. Считая, что по длине линии AB сооружена плотина, гребень которой на 1 м выше уровня воды в проектируемом водоеме, провести на карте зону затопления и определить наибольшую глубину водоема.

2. Отметить на карте точку русла ручья и спроектировать плотину при условии, что глубина водоема в этой точке должна быть 7 м, а гребень плотины на 1 м выше проектного уровня воды. Отграничить зону затопления и измерить длину плотины.

§ 30. ПРОВЕДЕНИЕ НА КАРТЕ ЛИНИИ ЗАДАННОГО УКЛОНА

При проектировании сооружений линейного типа (автомобильных и железных дорог, каналов, трубопроводов и др.) на топографическую карту или план наносят ось сооружения, которую называют трассой.

Плановое положение трассы определяют на основе заранее заданных условий, отвечающих техническим особенностям данного сооружения. Например, устанавливают предельное значение уклона на любом участке трассы. Процесс проектирования оси линейного сооружения при заданных технических условиях называют трассированием.

Пусть требуется на плане масштаба $1 : 10\,000$ с высотой сечения рельефа $h_0 = 5$ м спроектировать трассу автодороги от гребня плотины в точке A до точки N , расположенной на шоссе (см. рис. 37), при условии, что предельный уклон $i_{\text{пр}}$ на любом участке автодороги не должен превышать $4,0\%$. Для этого по формуле (52) вычисляют заложение S_0 , соответствующее предельному уклону. В данном случае $S_0 = (h_0 \cdot 100\%) : i_{\text{пр}}\% = (5 \times 100) : 4 = 125$ м. В масштабе плана $S_0 = 1,25$ см. * Это расстояние берут в раствор циркуля и от ближайшей к точке A горизонтали описывают дугу kl до пересечения со смежной горизонтально по направлению трассы на точку N . Как видно, при этом возникают два варианта пересечения (в точках l и l_1). Выбрав для начала первый вариант, от точки l тем же раствором циркуля аналогично получают точки m , n , o , p , r , стремясь пересекать горизонтали в заданном направлении трассы. На участках, где заложение ската больше проектного S_0 , трассирование ведут по прямому направлению на точку N . Полученную трассу проводят на плане в виде отрезков прямых линий.

* Для заданного уклона величину S_0 , выраженную в масштабе плана, можно также установить по графику заложений.

После этого из точки l_1 подобным образом трассируют второй вариант, обозначенный на рис. 37 точками m_1, \dots, r_1 . Сравнивая варианты, выбирают из них наиболее экономичный.* Так, в приведенном примере видно, что второй вариант предпочтительнее первого, поскольку в первом варианте трасса оказалась более протяженной и извилистой, имеет неудобное направление для движения транспорта при въезде на гребень плотины в точке A , а кроме того, проходит через участок леса, из-за чего при строительстве дороги потребуется прорубать просеку.

Задача для самостоятельного решения

Обозначить на учебной карте точки A и B на расстоянии 8—10 см друг от друга. Между точками спроектировать два варианта трассы при заданном предельном уклоне 0,025. Обосновать выбор лучшего из двух вариантов.

Глава VI

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ

§ 31. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для определения площадей землепользований и отдельных земельных участков используют формулы геометрии. При этом линейные и угловые элементы геометрических фигур (треугольников, трапеций и т. д.) могут быть измерены как на местности, так и на плане. Площади земельных угодий различной конфигурации, как правило, измеряют на плане с помощью планиметра, а в отдельных случаях — палеткой.

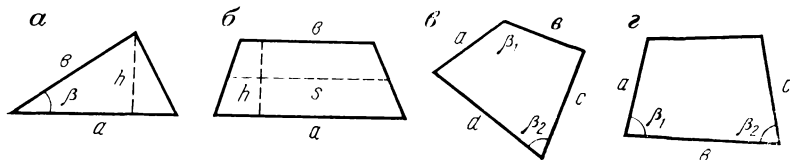


Рис. 38. Геометрические фигуры и их элементы:

a, b, c, d — стороны; h — высоты; S — средняя линия трапеции; β — внутренние углы

Некоторые формулы для вычисления площадей плоских фигур

1. Треугольник (рис. 38, а)

$$P = 0,5 ah \text{ или } P = 0,5 ab \sin \beta.$$

2. Трапеция (рис. 38, б)

$$P = 0,5(a+b) \cdot h \text{ или } P = Sh.$$

3. Четырехугольник (рис. 38, в и г)

$$P = 0,5 (ab \sin \beta_1 + cd \sin \beta_2);$$

$$P = 0,5 [ab \sin \beta_1 + bc \sin \beta_2 + ac \sin (\beta_1 + \beta_2 - 180^\circ)].$$

* В зависимости от конкретной ситуации в процессе проектирования может возникнуть множество различных вариантов.

Пример. Вычислить площадь четырехугольника (рис. 38, з) при $a=263,7$ м, $b=292,3$ м, $c=141,6$ м, $\beta_1=72^\circ40'$ и $\beta_2=88^\circ52'$. Результат выразить в гектарах с округлением до сотых долей.

Решение на ЭКВМ БЗ-37

| Порядок нажатия клавиш и ввода чисел | Результат в регистре индикатора | Буквенные обозначения величин на индикаторе |
|--|---------------------------------|---|
| 40 $\frac{\square}{\square}$ 60 \square + | 0,6666666 | Десятичные доли градуса |
| 72 \square = | 72,6666666 | β_1° |
| \square F $\overline{\square}$ sin \square X | 0,954588 | $\sin \beta_1$ |
| 263 \square 7 \square X | 251,72485 | $a \sin \beta_1$ |
| 292 \square 3 \square = \square F $\overline{\square}$ π + | 73579,173 | $ab \sin \beta_1$ |
| 52 $\frac{\square}{\square}$ 60 \square + | 0,8666666 | Десятичные доли градуса |
| 88 \square = | 88,8666666 | β_2° |
| \square F $\overline{\square}$ sin \square X | 0,999804 | $\sin \beta_2$ |
| 292 \square 3 \square X | 292,2427 | $b \sin \beta_2$ |
| 141 \square 6 \square = \square F $\overline{\square}$ π + | 41381,566 | $bc \sin \beta_2$ |
| 72 \square 667 \square + 88 \square 867 \square - | 161,534 | $\beta_1^\circ + \beta_2^\circ$ |
| 180 \square = | -18,466 | $\beta_1^\circ + \beta_2^\circ - 180^\circ$ |
| \square F $\overline{\square}$ sin \square X | -0,316742 | $\sin (\beta_1^\circ + \beta_2^\circ - 180^\circ)$ |
| 263 \square 7 \square X | -83,524865 | $a \sin (\beta_1^\circ + \beta_2^\circ - 180^\circ)$ |
| 141 \square 6 \square = \square F $\overline{\square}$ π + | -11827,120 | $ac \sin (\beta_1^\circ + \beta_2^\circ - 180^\circ)$ |
| \square F $\overline{\square}$ ип $\frac{\square}{\square}$ | 103133,61 | $2P, \text{ м}^2$ |
| 20 000 \square = | 5,1566805 | $P, \text{ га}$ |

Результат: $P_{\text{га}} = 1/20\,000 [263,7 \cdot 292,3 \cdot \sin 72,667^\circ + 292,3 \cdot 141,6 \cdot \sin 88,867^\circ + 263,7 \cdot 141,6 \cdot \sin (-18,466^\circ)] \approx 5,16 \text{ га}$.

Площади многоугольников (полигонов) с числом углов $n \geq 4$ целесообразно вычислять по координатам их вершин. Для этого используют известные значения координат пунктов теодолитных ходов, проложенных по границам участков, или измеряют координаты на планах, картах, аэрофотоснимках (фотограмметрическим методом). Если же известны только результаты измерений углов и линий полигонов, то координаты их вершин для определения площади вычисляют в любой условной системе.

Площадь полигона (в га) вычисляют по формулам

$$P_{\text{га}} = 1/20\,000 \left(\sum_1^n X_k Y_{k+1} - \sum_1^n X_k Y_{k-1} \right) \quad (53)$$

или

$$P_{\text{га}} = 1/20\,000 \left(\sum_1^n Y_k X_{k-1} - \sum_1^n Y_k X_{k+1} \right). \quad (54)$$

Таблица 14

| № вершин | Координаты | |
|-------------|------------|-----|
| | X | Y |
| 1 | 124 | 216 |
| 2 | 630 | 154 |
| 3 | 849 | 788 |
| 4 | 221 | 690 |

Пример. По формуле (53) вычислить площадь четырехугольника, если известны координаты его вершин (табл. 14). Результат вычислений округлить до сотых долей гектара.

Для контроля выполняют повторные вычисления по формуле (54), пользуясь аналогичной схемой.

При большом числе полигонов для определения их площадей выгодно использовать программированные ЭВМ.

Решение на ЭКВМ и БЗ-37

| Порядок нажатия клавиш и ввода чисел | Результат в регистре индикатора | Буквенные обозначения величин на индикаторе |
|--|---------------------------------|--|
| 124 <input type="checkbox"/> 154 <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> ЗАП | 19 096 | $X_1 \cdot Y_2$ |
| 630 <input type="checkbox"/> 788 <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> П+ | 496 440 | $X_2 \cdot Y_3$ |
| 849 <input type="checkbox"/> 690 <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> П+ | 585 810 | $X_3 \cdot Y_4$ |
| 221 <input type="checkbox"/> 216 <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> П+ | 47 736 | $X_4 \cdot Y_1$ |
| 124 <input type="checkbox"/> 690 <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> П- | 85 560 | $X_1 \cdot Y_4$ |
| 221 <input type="checkbox"/> 788 <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> П- | 174 148 | $X_4 \cdot Y_3$ |
| 849 <input type="checkbox"/> 154 <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> П- | 130 746 | $X_3 \cdot Y_2$ |
| 630 <input type="checkbox"/> 216 <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> П- | 136 080 | $X_2 \cdot Y_1$ |
| <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> X←П <input type="checkbox"/> П | 622 548 | $2P_{M_2} = \sum X_k Y_{k+1} - \sum X_k Y_{k-1}$ |
| 20 000 <input type="checkbox"/> = | 31,1274 | $P_{\text{га}} = 2P_{M_2} : 2 \cdot 10^4$ |

Результат: $P_{\text{га}} = 1/20\,000 [(124 \cdot 154 + 630 \cdot 788 + 849 \cdot 690 + 221 \cdot 216) - (124 \cdot 690 + 221 \cdot 788 + 849 \cdot 154 + 630 \cdot 216)] = 31,13$ га.

§ 32. ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ НА ПЛАНАХ И КАРТАХ

Определение площади многоугольника

Площадь отображенного на плане или карте многоугольника (полигона) определяют по частям путем его деления на треугольники, в каждом из которых основание a и высота h имеют приблизительно одинаковые размеры (рис. 39). Площади треугольников вычисляют по измеренным в масштабе плана основаниям и высотам, а затем суммируют. Измеряемые основания и высоты выбирают с таким расчетом, чтобы в смежных треугольниках они не повторялись.

Для контроля площадь каждого треугольника определяют дважды. Допустимое расхождение между двумя значениями площади, полученной по различным основаниям и высотам, рассчитывают по формуле

$$\Delta P_{га}^{доп} = 0,04 \frac{M}{10\,000} \sqrt{P_{га}},$$

где M — знаменатель численного масштаба; $P_{га}$ — приближенное значение площади данного треугольника. При допустимом расхождении выводят среднее арифметическое значение из результатов двух измерений.

Таблица 15

| № треуголь- ника | № измерений | Результаты измере- ний | | Результаты вычислений | | | |
|------------------------|----------------|---------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| | | основания a , м | высоты h , м | площади P , га | расхож- дения ΔP , га | допуска $\Delta P^{доп}$, га | среднее значение P , га |
| I | 1 | 1073 | 922 | 49,46 | 0,16 | 0,28 | 49,54 |
| | 2 | 1037 | 957 | 49,62 | | | |
| II | 1 | 916 | 831 | 38,06 | 0,09 | 0,24 | 38,10 |
| | 2 | 865 | 882 | 38,15 | | | |
| III | 1 | 972 | 744 | 36,16 | 0,10 | 0,24 | 36,11 |
| | 2 | 913 | 790 | 36,06 | | | |

$$\Sigma P = 123,75$$

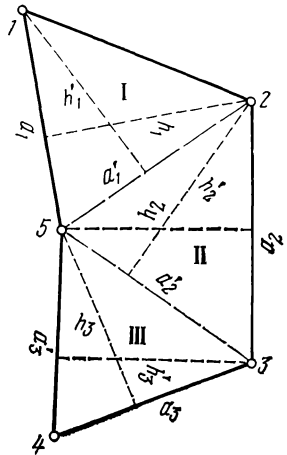


Рис. 39. Измерение площади участка делением на треугольники

Пример. Пусть требуется измерить площадь полигона, нанесенного на плане масштаба 1 : 10 000 (см. рис. 39).

Для этого на плане из точки *5* проведены диагонали, разделившие участок на три треугольника. Результаты измерений и вычисления площадей (с контролем) приведены в табл. 15.

Деление участка на треугольники бывает затруднительно, когда его граница имеет большое число поворотных точек при сравнительно коротких сторонах полигона на плане. В таких случаях площадь участка целесообразнее вычислять по координатам вершин полигона, измеренным непосредственно на плане или карте.

Задачи для самостоятельного решения

1. Определить площадь заданного на плане полигона (4—5 вершин), разделив его на треугольники. Измерения в каждом треугольнике выполнить по двум разным основаниям и высотам; при допустимых расхождениях вычислить среднее значение площади каждого треугольника и подсчитать их сумму. Результаты измерений и вычислений записать соответственно примеру, приведенному в табл. 15.

2. Определить площадь заданного полигона по измеренным на плане прямоугольным координатам его вершин. Вычисления выполнить в соответствии с примером, приведенным в § 31.

Определение площадей полярным планиметром

Схема полярного планиметра показана на рис. 40. Площади участков до 400 см² измеряют с установкой полюса планиметра *O* вне фигуры путем обвода индекса *b* по ее контуру.

На металлическом ободке счетного ролика *k* нанесены рифельные штрихи для фрикционного сцепления с поверхностью плана (рис. 41). Благодаря этому при обводе фигуры счетный ролик вращается и проходит путь, который измеряют в специальных единицах длины τ , называемых делением планиметра и равных 1/1000 длины ободка ролика.

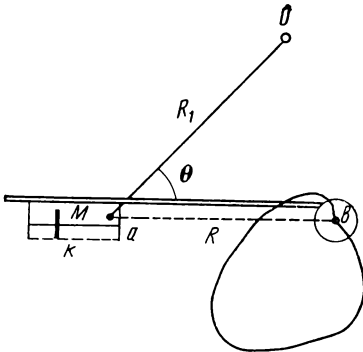


Рис. 40. Схема полярного планиметра:

O — полюс; *a* — ось вращения рычагов; *R*₁ — полюсный рычаг; *b* — обводный индекс; *ab* — ось обводного рычага; *R* — длина обводного рычага; *M* — счетный механизм; *k* — плоскость счетного ролика; θ — угол между рычагами

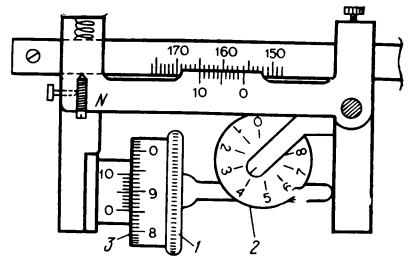


Рис. 41. Счетный механизм планиметра

1 — ободок ролика с рифельными штрихами; 2 — циферблат; 3 — барабан с делениями; *N* — кустировочный винт. Установка обводного рычага *R* = 155.9; отсчет по механизму $u = 3852$

Перед началом обвода индекс b устанавливают в исходной точке контура и берут отсчет u_1 по счетному механизму (см. рис. 41). Удерживая индекс b на линии контура, обводят фигуру по ходу часовой стрелки до исходной точки и берут отсчет u_2 после обвода. Полученная разность отсчетов $\Delta u = u_2 - u_1$ показывает длину пути счетного ролика, выраженную в делениях планиметра, или иначе, количество делений τ , соответствующее площади обведенной фигуры. Если последующий отсчет (после обвода фигуры по ходу часовой стрелки) оказался меньше предыдущего, то для вычисления разности Δu к последующему отсчету прибавляют 10 000 делений, а затем вычитают предыдущий отсчет.

Для контроля и повышения точности измерений обводы выполняют не менее двух раз. Допустимые расхождения разностей Δu между повторными обводами при одном положении счетного механизма не должны превышать 3 деления для площади фигуры до 200 см² и 4 деления — для площади более 200 см² на плане. Если расхождения допустимы, то из двух результатов получают среднее число делений $\Delta u_{\text{ср}}$.

При обводе фигуры соблюдают следующие правила:

1. План укладывают, выпрямляют и закрепляют на ровной горизонтальной поверхности.

2. Полус планиметра устанавливают с таким расчетом, чтобы при обводе фигуры угол θ между рычагами (см. рис. 40) был не менее 30° и не более 150°, а его отклонения в обе стороны от величины 90° были бы примерно одинаковы. При установке полюса O следует также предварительно проверить, чтобы в процессе обвода счетный ролик не выходил за край листа плана (или карты).

3. Исходную точку установки обводного индекса b выбирают на контуре с таким расчетом, чтобы при движении планиметра в начале и в завершении обвода счетный ролик совсем не вращался или его вращение было бы медленным.

4. Обводный индекс необходимо перемещать по контуру плавно, в направлении «на себя» или «от себя». Если участок контура прямолинеен, то для обвода не следует пользоваться линейкой, так как это приводит к систематической погрешности результата измерения.

Площадь, определяемую обводами планиметра с установкой полюса вне фигуры, вычисляют по формуле

$$P = r \Delta u_{\text{ср}},$$

где r — цена деления планиметра.

Цена деления планиметра r — это площадь, соответствующая одному делению τ . Ее теоретическая величина выражается формулой

$$r = R \tau M^2,$$

где R — длина обводного рычага; M — знаменатель численного масштаба плана.

Как видно, значение p зависит от длины обводного рычага R , которая изменяется при перемещении счетного механизма. Установку этой длины определяют с помощью нониуса по шкале, нанесенной на металлической штанге планиметра (см. рис. 41).

Для практического определения цены деления p многократно обводят фигуру с известной площадью P_0 при фиксированной установке рычага R . В качестве такой фигуры обычно берут 3 или 4 квадрата координатной сетки. Чтобы повысить точность измерений, фигуру обводят не менее четырех раз: дважды при положении механизма справа (МП) и дважды при положении механизма слева (МЛ). При изменении положения механизма точку полюса O не перемещают.

Пример записи результатов измерений приведен в табл. 16.

Таблица 16

Планиметр ПП-М № 1516: $R = 155,9$; $P_0 = 400$ га

| Отсчеты по ролику u | Разности отсчетов Δu | Средние разности $\Delta u_{\text{ср}}$ | Число делений Δu_0 | Цена деления $p = \frac{P_0}{\Delta u_0}$, га |
|-----------------------------|------------------------------|---|----------------------------|--|
| Механизм справа (МП) | | | | |
| 3228 | 3994 | 3992 | 3991 | 0,1002 |
| 7222 | | | | |
| 1212 | | | | |
| Механизм слева (МЛ) | | | | |
| 7640 | 3991 | 3990 | | |
| 1631 | | | | |
| 5619 | | | | |

Цену деления вычисляют по формуле

$$p = P_0 / \Delta u_0$$

с округлением до четырех значащих цифр.

Проверка основного геометрического условия планиметра

Для правильной работы планиметра необходимо, чтобы выполнялось следующее условие: *направление рифельных штрихов на ободке счетного ролика должно быть параллельно оси обводного рычага.*

Проверку выполняют обводом одной фигуры при двух положениях механизма — МП и МЛ, не перемещая точку полюса O (рис. 42). Чтобы исключить погрешность обвода, в качестве фигуры используют круг, радиус которого образован специальной контрольной линейечкой с иглой в центральной точке C . При этом угол θ между рычагами должен быть острым (менее 90°). Полученные разности Δu_1 и Δu_2 при положениях МП и МЛ не должны расхо-диться между собой больше чем на 3 деления.

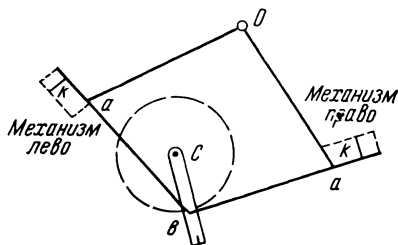


Рис. 42. Проверка планиметра с помощью контрольной линейечки

Если условие не выполняется, то угол между направлением рифельных штрихов и осью обводного рычага изменяют, вращая (вправо или влево) юстировочный винт N (см. рис. 41). После поворота винта на фиксированный угол проверку повторяют. Если направление вращения винта было выбрано правильно, то расхождение между разностями уменьшится, а если неправильно — увеличится. Тогда, поворачивая винт в правильном направлении, методом приближений в несколько приемов добиваются окончательной юстировки основного геометрического условия планиметра.

Определение площади с помощью параллельной палетки

Если участок имеет криволинейную границу и его площадь на плане сравнительно небольшая (менее 10 см^2), то ее можно измерить палеткой, которая представляет собой ряд параллельных ли-

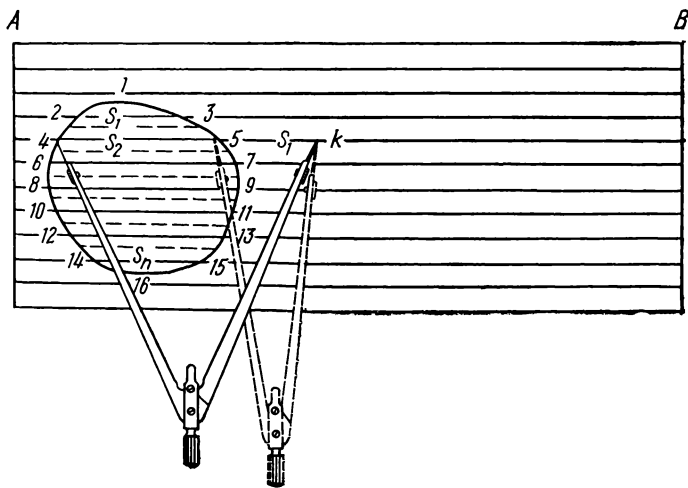


Рис. 43. Измерение площади с помощью параллельной палетки

ний, проведенных через 2 мм на любой прозрачной основе (кальке, пластиковой пленке и др.) *.

Для определения площади палетку накладывают на план так (рис. 43), чтобы крайние точки контура участка l и 16 находились посередине между линиями палетки. В результате участок расчленяется на отдельные трапеции с высотой h и средними линиями S_{2-3} , S_{4-5} , ..., S_{14-15} , которые измеряют в масштабе плана (основания трапеций изображены на рис. 43 пунктиром). Поскольку площадь каждой трапеции равна $S_i h$, то общая площадь участка

$$P = h(S_{2-3} + S_{4-5} + \dots + S_{14-15}) = h \sum_1^n S_i.$$

Сумму расстояний $\sum_1^n S_i$ последовательно набирают в раствор измерителя: взяв расстояние S_{2-3} , переносят левую иглу измерителя в точку 5 , а правую устанавливают на продолжении линии $4-5$ в точке k , после чего увеличивают раствор измерителя перемещением левой иглы в точку 4 . Тогда в растворе измерителя $4-k$ будет набрана сумма средних линий ($S_{2-3} + S_{4-5}$). Дальнейшие измерения продолжают в той же последовательности. Если в процессе набора расстояний раствор измерителя окажется больше размера палетки по ее длине AB , то сумму средних линий набирают по частям в несколько приемов. Общую длину измеренных средних линий определяют по масштабной линейке и умножают на высоту h , соответствующую числу метров в масштабе плана. Полученную площадь выражают в гектарах.

Пример. Для определения площади участка на плане масштаба $1:10\,000$ использована палетка с расстояниями между параллельными линиями 2 мм. Вычислить площадь, если измеренная сумма средних линий трапеций равна 1736 м.

Поскольку в данном масштабе $h=20$ м, то $P=20 \cdot 1736 \approx 3,47$ га.

Задача для самостоятельного решения

Изготовить на прозрачной основе параллельную палетку с интервалами между линиями 2 мм и размерами $4-5$ см по высоте и $10-12$ см по длине. Выбрать на карте участок с криволинейными границами (размером $3-6$ см²) и определить его площадь в соответствии с описанными выше правилами.

§ 33. ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ

Площади землепользований колхозов, совхозов и других предприятий, как правило, определяют по координатам точек их границ, полученным при измерениях на местности или на плане. Если граница проходит вдоль извилистого живого урочища (ручья, реки и т. п.), то для определения площади используют материалы натурной съемки границы с магистрального хода. При определении координат на плане с помощью координатографа или измерителя криволинейные участки границ заменяют ломаными линиями (хор-

* Для измерения площадей менее 2 см² на плане можно также применить квадратную палетку.

Таблица 17

Определение площадей секций части землепользования колхоза им. Ленина
 Планиметр ПП-М № 1516; $R = 155,9$; $p = 0,1002$ га

| № секций | Отсчеты | Разности отсчетов | Среднее из разностей | Измеренная площадь, га | Поправки, га | Уравненная площадь секций, га |
|-------------------------------------|---------|-------------------|----------------------|------------------------|--------------|-------------------------------|
| I | МП | | | | | |
| | 5820 | | | | | |
| | 9159 | 3339 | | | | |
| | 2502 | 3343 | | | | |
| | МП | | 3342,2 | 334,89 | +0,58 | 335,47 |
| | 3129 | 3345 | | | | |
| | 6474 | 3342 | | | | |
| 9816 | | | | | | |
| II | МП | | | | | |
| | 1667 | 2344 | | | | |
| | 4011 | 2343 | | | | |
| | 6354 | | | | | |
| | МП | | 2344,8 | 234,95 | +0,40 | 235,35 |
| | 8196 | 2345 | | | | |
| | 0541 | 2347 | | | | |
| | 2888 | | | | | |
| III | МП | | | | | |
| | 6544 | | | | | |
| | 8837 | 2293 | | | | |
| | 1131 | 2294 | | | | |
| | МП | | 2295 | 229,96 | +0,40 | 230,36 |
| | 5527 | 2297 | | | | |
| | 7824 | 2296 | | | | |
| 0120 | | | | | | |
| Сумма площадей секций | | | | 799,80 | | 801,18 |
| Площадь, вычисленная по координатам | | | | 801,18 | | |
| Невязка | | | | -1,38 | +1,38 | |
| Допустимая невязка | | | | 1,60 | | |

$$f_p = \sum_1^n P_{np} - P_T. \quad (55)$$

Допустимое значение невязки определяется величиной $f_p^{\text{доп}} \leq P/500$. Если невязка допустима, то ее распределяют с обратным знаком пропорционально площади каждой секции. На кальку контуров красной тушью выписывают уравненные значения площадей секций под их номерами. Пример определения площадей секций планиметром для части землепользования, показанного на рис. 44, приведен в табл. 17.

Внутри каждой секции площади отдельных земельных угодий определяют двумя обводами планиметра при одном положении счетного механизма. При этом площади узких вытянутых объектов (дорог, канав, лесополос и др.) планиметром не измеряют, а включают в основные земельные угодия как вкрапленные контуры и затем определяют их площади путем измерения на плане линейных элементов этих фигур. Таким же способом можно определять площади любых участков с прямолинейными границами (треугольников, трапеций). Мелкие вкрапленные контуры компактной формы площадью от 2 см² до 5 см² следует обводить планиметром 3—4 раза подряд, фиксируя отсчеты до начала и после обвода, а затем делить полученную разность на число повторных обводов. Площади мелких вкрапленных контуров с криволинейными границами (менее 2 см² на плане) следует определять при помощи палетки.

Практическую сумму измеренных площадей сравнивают с ранее вычисленной площадью секции, получая невязку по формуле (55). Допустимая невязка в сумме площадей определяется величиной

$$f_p^{\text{доп}} = 0,7p\sqrt{n} + 0,05 \frac{M}{10\,000} \sqrt{P_{\text{га}}},$$

где p — цена деления планиметра; n — число земельных угодий в секции, площадь которых измерена планиметром; $P_{\text{га}}$ — округленное значение общей площади секции.

Таблица 18

Коэффициенты поправок в площади, измеренные планиметром

| Интервалы площадей, см ² | | | | Коэффициенты | Интервалы площадей, см ² | | | | Коэффициенты |
|-------------------------------------|----|----|----|--------------|-------------------------------------|-----|----|-----|--------------|
| От | 1 | до | 3 | 1 | От | 55 | до | 65 | 10 |
| » | 3 | » | 5 | 2 | » | 65 | » | 76 | 11 |
| » | 5 | » | 8 | 3 | » | 76 | » | 87 | 12 |
| » | 8 | » | 15 | 4 | » | 87 | » | 98 | 13 |
| » | 15 | » | 20 | 5 | » | 98 | » | 110 | 14 |
| » | 20 | » | 26 | 6 | » | 110 | » | 123 | 15 |
| » | 26 | » | 35 | 7 | » | 123 | » | 136 | 16 |
| » | 35 | » | 45 | 8 | » | 136 | » | 150 | 17 |
| » | 45 | » | 55 | 9 | » | 150 | » | 165 | 18 |

Если невязка допустима, то ее распределяют с обратным знаком пропорционально коэффициентам поправок, приведенным в табл. 18 для площадей, выраженных в квадратных сантиметрах плана.

Поскольку площади угодий вычисляют в га, то при выборе коэффициентов следует учитывать масштаб плана. Так, например, вычисленная площадь 13,48 га на плане масштаба 1 : 10 000 составляет примерно 13,5 см², а соответствующий ей коэффициент —

Таблица 19

Определение площадей земельных угодий колхоза им. Ленина

Планиметр ПП-М № 1516; $R=155,9$; $p=0,1002$ га

| № угодий | Название угодий | Отсчеты | Разности отсчетов | Среднее из разностей | Измеренные площади, га | Коэффициенты поправок | Поправки, га | Уравненные площади, га | Площади акрапленных контуров, га | Площади угодий, га |
|----------|-----------------|----------------|-------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|--------------|------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Секция I | | | | | | | | | | |
| 1 | Сенокос | 9878 | 677 680 | 678,5 | 67,99 | 11 | -0,13 | 67,86 | | 67,86 |
| | | 0555 | | | | | | | | |
| | | 1235 | | | | | | | | |
| 2 | Пашня | 6000 | 1159 | 1158 | 116,03 | 15 | -0,18 | 115,85 | | 115,30 |
| 2а | Дорога | 8316 | 1157 | 1100 м × 5 м | | | | | 0,55 | 0,55 |
| 3 | Пастбище | 1888 | 1249 | 1248 | 125,05 | 16 | -0,20 | 124,85 | | 124,23 |
| | | 3137 | 1247 | | | | | | | |
| | | 4384 | — | | | | | | | |
| 3а | Пруд | — | — | | | | | | | |
| 4 | Колхозный двор | 6053 | 268 | 269,5 | 27,00 | 7 | -0,09 | 26,91 | | 25,39 |
| | | 6321 | 271 | | | | | | | |
| | | 6592 | — | | | | | | | |
| 4а | Прогон | — | — | 660 м × 5 м | | | | | 0,33 | 0,33 |
| 4б | Дорога | — | — | | | | | | | |
| | | Сумма | | 336,07 | | 49 | -0,60 | 335,47 | | 335,47 |
| | | Площадь секции | | 335,47 | | | | | | |
| | | Невязка | | +0,60 | | | | | | |

Допустимая невязка $f_p^{\text{доп}} = 0,7 \cdot 0,1 \sqrt{4} + 0,05 \sqrt{335} \approx 1,06$ га.

4; на плане масштаба 1 : 5000 размер этой площади будет в 4 раза больше, т. е. 54 га, а соответствующий коэффициент — 9.

Пример определения площадей угодий для I секции части землепользования (см. рис. 44) приведен в табл. 19.

В процессе измерений на кальку контуров выписывают номера угодий и их площади.

После вычисления и уравнивания площадей в секциях составляют общий баланс земель по угодиям (экспликацию) для каждого отдельного землепользования или его обособленной части. Применительно к рис. 44 такой подсчет приведен ниже.

| Название угодий | Площадь, га | Название угодий | Площадь, га |
|----------------------|-------------|-------------------------------|-------------|
| Пашни | 558,61 | Воды (пруд) | 0,62 |
| Сенокосы | 84,75 | Хозяйственные дворы | 25,39 |
| Пастбища | 124,23 | Дороги и прогоны | 2,07 |
| Лесополосы | 5,51 | Всего | 801,18 |

Задачи для самостоятельного решения

1. При длине обводного рычага $R_1=175,4$ цена деления планиметра $p_1=0,1021$ га. Рассчитать длину рычага R_2 , соответствующую значению $p_2=0,1000$ га.
2. Рассчитать, какую погрешность в площади вызовет ошибка отсчета на одно деление, если цена деления планиметра равна 0,0983 га.
3. Цена деления планиметра $p_1=0,1000$ га определена на плане масштаба 1 : 10 000. Какое следует взять значение цены деления p_2 , чтобы при той же установке рычага работать этим планиметром на плане масштаба 1 : 25 000?
4. Рассчитать допустимую невязку в сумме площадей, измеренных планиметром на плане масштаба 1 : 5000, если общая площадь участка равна 98,65 га, а количество контуров — 24.

Глава VII

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ, ИХ ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ

§ 34. ТЕОДОЛИТЫ

Теодолиты ТЗ0 и 2ТЗ0

Технический оптический теодолит ТЗ0 (рис. 45) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах. Им можно измерять расстояния с помощью нитяного дальномера. Система вертикальной оси повторительная.

Теодолитом ТЗ0 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 производится 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

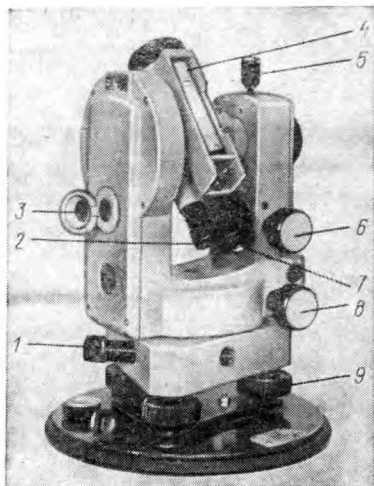


Рис. 45. Теодолит Т30

1 — наводящий 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

кругов и неподвижный индекс (рис. 46). Зрительная труба теодолита имеет увеличение $20\times$ и переводится через зенит обоими концами.

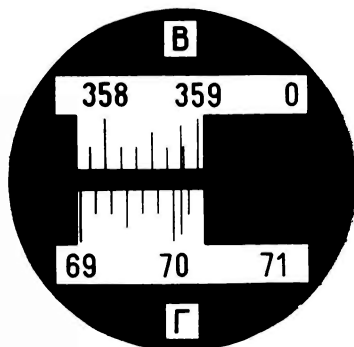


Рис. 46. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т30:

отсчет по горизонтальному кругу $70^{\circ}05'$; отсчет по вертикальному кругу $358^{\circ}48'$

Особенность теодолита Т30 заключается в отсутствии цилиндрического уровня при вертикальном круге. Его функции выполняет цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга с ценой деления $45''$, 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 Т30 имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} v &= 0,5 (Л - П - 180^{\circ}) \\ v &= Л - МО \\ v &= МО - П - 180^{\circ} \end{aligned} \right\}, \quad (56)$$

где П и Л — отсчеты по лимбу вертикального круга при его положении справа и слева; МО — место нуля вертикального круга, равное

$$МО = 0,5 (П + Л + 180^{\circ}). \quad (57)$$

При вычислении угла наклона к величинам отсчетов Л, П и МО, меньшим 90° , следует прибавлять 360° .

Теодолит 2Т30 не отличается по внешнему виду от теодолита Т30. Особенностью является цифровка вертикального круга —

— секторная от 0° до 75° и от 0° до минус 75° . В верхней части поля зрения отсчетного микроскопа, обозначенной буквой В (рис. 47), видно изображение штрихов лимба вертикального круга; в нижней части, обозначенной буквой Г — изображение штрихов лимба горизонтального круга. Отсчет производится 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 «—».

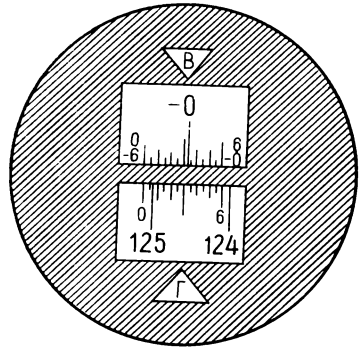


Рис. 47. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2ТЗО:

отсчет по горизонтальному кругу $125^\circ 06,5'$; отсчет по вертикальному кругу $-0^\circ 26'$

Формулы вычисления углов наклона для теодолита 2ТЗО имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} v &= 0,5(L - П) \\ v &= Л - МО \\ v &= МО - П \end{aligned} \right\}, \quad (58)$$

где

$$МО = 0,5(L + П). \quad (59)$$

Основные исследования теодолитов ТЗО и 2ТЗО:

1. Определение рена отсчетного микроскопа (для шкалового теодолита 2ТЗО).

Изображение одного деления угломерного круга (см. рис. 47) должно быть равно 12 делениям шкалы микроскопа. Разность между ними называют реном.

Рен горизонтального круга определяют на участках лимба через 60° , рен вертикального круга на участках 0° , 2° ; минус 2° при круге слева и справа.

При исследовании совмещают начало шкалы с заданным штрихом лимба и подсчитывают число N делений шкалы, заключающихся в промежутке между соответствующими делениями лимба. Рен вычисляют по формуле

$$r = N_0 - N,$$

где N_0 — запроектированное (номинальное) число делений шкалы, равное для теодолита 2ТЗО 12 ($N_0 = 12$).

Затем вычисляют среднее значение для рена

$$r_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n},$$

где n — число испытаний.

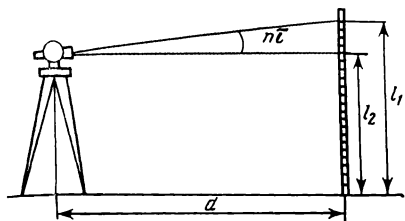


Рис. 48. Определение цены деления уровня по рейке

кругов (в переднем кронштейне — горизонтального круга, в заднем — вертикального). Рен горизонтального и вертикального кругов исправляют перемещением обеих линз соответствующих кругов. Если изображение круга необходимо уменьшить, то обе линзы отдалают от круга, если увеличить — то приближают. Одновременно следят за отсутствием параллакса между изображениями штрихов лимба и шкалы микроскопа. Пример определения рена приведен в табл. 20.

Т а б л и ц а 20

| Отсчет по лимбу горизонтального круга | Отсчет N по концу шкалы в делениях | Рен в делениях шкалы $r=12-N$ | Примечание |
|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|--|
| 0° | 11,9 ^d | +0,1 ^d | Теодолит 2Т30 № 0128 $N_0=12$ |
| 60 | 12,0 | 0 | |
| 120 | 12,0 | 0 | |
| 180 | 11,9 | +0,1 | |
| 240 | 11,9 | +0,1 | |
| 300 | 12,0 | 0 | |

$$\Sigma r = +0,3$$

$$r_{\text{ср}} = +\frac{0,3}{6} = +0,050^d. r_{\text{ср}} = +15''.$$

2. Определение цены деления уровня.

Устанавливают теодолит на штативе так, чтобы один из подъемных винтов был направлен на отвесно установленную рейку, находящуюся в 20—30 м от теодолита (рис. 48). Вертикальную ось прибора приводят в отвесное положение, затем вращением этого винта перемещают пузырек уровня в крайнее положение до совмещения одного из его концов со штрихом деления на ампуле уровня. Делают на рейке отсчет l_1 по горизонтальному штриху сетки. Затем, вращая тот же подъемный винт, смещают пузырек в другой конец на n делений и делают отсчет по рейке l_2 . Измерив расстояние d от прибора до рейки и округлив его до 0,1 м, вычисляют цену деления уровня τ по формуле

$$\tau'' = \frac{|l_2 - l_1|}{dn} 206'' \cdot 10^3.$$

Переместив рейку на другое расстояние, для контроля повторяют измерения в том же порядке. Если значение τ , вычисленное дважды, не расходится более чем на $10''$, то вычисляют среднее его значение (при недопустимом расхождении измерения повторяют). Пример вычисления цены деления уровня помещен в табл. 21.

Таблица 21

| Обозначения | Результаты измерения | |
|--------------------|----------------------|---------|
| | первого | второго |
| d , м | 25,0 | 28,1 |
| l_1 , мм | 1435 | 1528 |
| l_2 , мм | 1410 | 1497 |
| $ l_2 - l_1 $, мм | 25 | 31 |
| n , дел. | 4,2 | 4,3 |
| τ , с | 49 | 51 |
| $\tau_{ср}$, с | 50 | |

3. Определение увеличения зрительной трубы при помощи нивелирной рейки.

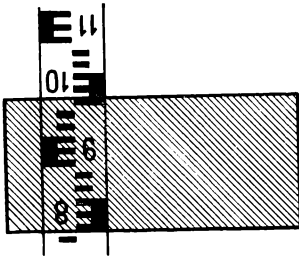


Рис. 49. Определение увеличения зрительной трубы, $V = 21 \times$

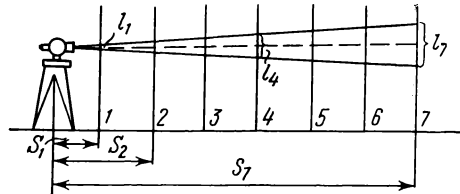


Рис. 50. Схема определения постоянной дальномера

Устанавливают теодолит на штативе и в 5—7 м от него — нивелирную рейку. Наблюдая одновременно двумя глазами: одним — непосредственно на рейку, другим — в зрительную трубу, подсчитывают число делений, видимых невооруженным глазом, которое проектируется на одно деление рейки, видимое в зрительную трубу (рис. 49). Это число будет соответствовать увеличению зрительной трубы.

4. Определение угла поля зрения зрительной трубы и точности визирования.

Точность визирования рассчитывают по формуле

$$t = 60''/V,$$

где V — увеличение зрительной трубы.

Угол поля зрения находят по приближенной формуле

$$\varphi^\circ \approx 38^\circ/V.$$

5. Определение постоянной нитяного дальномера.

Горизонтальное проложение S линии местности, измеренное нитяным дальномером, вычисляют по формуле

$$S = (100l + \Delta) \cos^2 \nu,$$

где l — отсчет по вертикальной рейке между дальномерными штрихами, выраженный в см (рис. 50); ν — угол наклона визирного луча; Δ — неизвестная поправка, учитывающая отклонение коэффициента дальномера от 100.

Определение постоянной дальномера (для фиксированного S) сводится к нахождению неизвестной Δ . Методика ее определения следующая.

На ровной местности выбирают базис длиной 120—160 м и делят его на 6—8 интервалов, кратных длине мерной ленты. Каждый интервал базиса измеряют лентой с погрешностью, не превышающей 1 : 1500.

На одном конце базиса (см. рис. 50) устанавливают и центрируют теодолит, а рейку устанавливают последовательно на всех точках. Визируют на рейку с таким расчетом, чтобы угол наклона визирной оси ν был близок к 0° (с отклонением не более $\pm 20'$). В этом случае горизонтальное проложение

$$S = 100l + \Delta,$$

откуда

$$\Delta = S - 100l.$$

Для определения Δ каждый интервал измеряют 4 приемами, а результаты записывают в журнал (табл. 22).

Таблица 22

| № точек | S, м | Дальномерные отсчеты (100 l), м | | | | (100 l) _{ср.} , м | Δ _{ср.} , м |
|---------|--------|---------------------------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------------------|----------------------|
| | | прямо | | обратно | | | |
| | | черная сторона | красная сторона | черная сторона | красная сторона | | |
| 1 | 20,02 | 20,0 | 20,0 | 19,9 | 20,0 | 19,98 | +0,06 |
| 2 | 40,01 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 40,0 | 40,00 | +0,01 |
| 3 | 59,98 | 59,9 | 59,8 | 59,8 | 59,9 | 59,85 | +0,13 |
| 5 | 80,02 | 80,0 | 80,0 | 79,9 | 80,0 | 79,97 | +0,05 |
| 6 | 100,00 | 99,8 | 99,8 | 99,8 | 99,8 | 99,80 | +0,20 |
| 7 | 120,02 | 119,9 | 119,9 | 119,9 | 119,9 | 119,90 | +0,12 |

Средние разности $\Delta_{\text{ср}}$ наносят на график (рис. 51), откладывая по осям значения S и $\Delta_{\text{ср}}$. Соединив полученные точки на графике прямыми линиями, осредняют ломаную линию прямой по равенству сумм площадей фигур между ломаной и осредняющей как показано на рис. 51. При этом сумма площадей должна быть минимальной, а осредняющая линия должна проходить через начало координат. Построенный график можно использовать для введения поправок в расстояния, измеренные нитяным дальномером. Например, при $S=87$ м $\Delta=+0,12$ м (см. рис. 51). Заметим, что введение поправок при топографических съемках (см. гл. VIII) имеет смысл при условии, что их значение превышает половину точности масштаба, например, при съемках в масштабе 1:2000 поправку Δ следует учитывать, если ее значение превышает 0,1 м, при съемке в масштабе 1:5000—0,25 м и т. д.

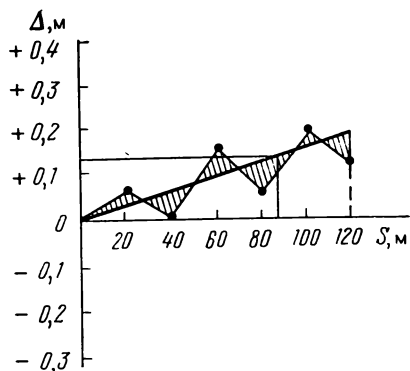


Рис. 51. График определения величины Δ при $S=87$ м, $\Delta=+0,12$ м

Например, при $S=87$ м $\Delta=+0,12$ м (см. рис. 51). Заметим, что введение поправок при топографических съемках (см. гл. VIII) имеет смысл при условии, что их значение превышает половину точности масштаба, например, при съемках в масштабе 1:2000 поправку Δ следует учитывать, если ее значение превышает 0,1 м, при съемке в масштабе 1:5000—0,25 м и т. д.

Проверки и юстировки теодолита ТЗО (2ТЗО)

1. Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга быть перпендикулярна к вертикальной оси.

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

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

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

Выбирают точку местности, при наблюдении на которую зрительная труба устанавливается приблизительно горизонтально.

Приведя вертикальную ось прибора в отвесное положение, визируют на эту точку при двух положениях круга (КЛ и КП) и делают отсчеты L_1 и P_1 .

Затем, открепив закрепительный винт горизонтального круга, поворачивают теодолит примерно на 180° и визируют на ту же точку. Взяв отсчеты L_2 и P_2 , вычисляют значение коллимационной ошибки по формуле

$$C = 0,25[(L_1 - P_1 \pm 180^\circ) + (L_2 - P_2 \pm 180^\circ)]. \quad (60)$$

Для контроля повторяют определение C визированием на вторую точку и вычисляют среднее арифметическое значение C_0 . (Коллевание C не должно превышать $1'$). Если среднее арифметическое значение коллимационной погрешности превышает $2'$, то производят исправление. Для этого устанавливают на лимбе отсчет, равный $L_{\text{испр}} = L - C_0$ (или $P_{\text{испр}} = P + C_0$), и боковыми юстировочными винтами сетки совмещают ее перекрестие с изображением точки наблюдаемого предмета. После этого проводят контрольные измерения.

3. Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна к вертикальной оси.

Теодолит устанавливают на штативе на расстоянии 3—5 м от стены. Выбирают и отмечают на стене точку под углом 25 — 35° к горизонту. Приведя вертикальную ось прибора в отвесное положение, визируют на эту точку, а затем, наклоняя зрительную трубу до горизонтального положения (с погрешностью $\pm 1^\circ$), отмечают на стене проекцию перекрестия сетки. Затем переводят трубу через зенит, поворачивают алидаду на 180° и определяют смещение отмеченной точки относительно вертикального штриха сетки нитей в долях ширины биссектора. Проверку повторяют и определяют среднее арифметическое смещение нижней точки из двух определений.

Разность между значениями смещений при первом и втором определениях наклона горизонтальной оси не должна превышать $1/4$ ширины биссектора. При среднем значении смещения точки более чем на ширину двух биссекторов (что соответствует наклону оси более $1'$) необходимо устранить недостаток в мастерских.

4. Основной вертикальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к горизонтальной оси.

Приводят вертикальную ось прибора в отвесное положение и визируют на хорошо видимую точку местности. Вращая трубу наводящим винтом, наблюдают, сходит ли изображение точки местности с основного вертикального штриха сетки нитей. Если изображение точки не сходит со штриха, то условие считается выполненным. В противном случае, ослабив винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, поворачивают его так, чтобы условие оказалось выполненным. После этого проверка повторяется.

5. Место нуля вертикального круга должно быть известно или приведено к нулю.

Наблюдают при обоих положениях вертикального круга (КЛ и КП) на две-три удаленные точки местности и вычисляют место нуля (МО) по формулам (57) или (59) соответственно для теодолитов 2ТЗО и 2ТЗО. Перед отсчитыванием необходимо убедиться, что пузырек уровня при алидаде горизонтального круга находится

на середине. При необходимости его выводят на середину подъемными винтами. Колебания МО при наблюдении на различные точки не должно быть более 1', что говорит о правильности наблюдений.

Если среднее арифметическое значение места нуля более 2', то его исправляют следующим образом. Наводят зрительную трубу на удаленную визирную цель и делают отсчеты Л и П по вертикальному кругу. Вычисляют исправленное значение отсчета при круге лево $L_{испр}$, равное

$$L_{испр} = L - MO_{ср},$$

где $MO_{ср}$ — среднее арифметическое значение места нуля.

Действуя наводящим винтом зрительной трубы (см. рис. 45), устанавливают на лимбе вертикального круга исправленный отсчет $L_{испр}$. После этого вертикальными юстировочными винтами сетки нитей совмещают изображение наблюдаемого предмета с горизонтальным штрихом сетки нитей.

Для контроля выполненных действий рекомендуется определить вновь значение МО.

Теодолиты 2Т5 и 2Т5К

Точный оптический теодолит 2Т5 (2Т5К) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов, для измерения расстояний с использованием нитяного дальномера. Оптический теодолит 2Т5 (рис. 52, а) имеет следующие основные особенности. Система вертикальной оси неповторительная; отсчет по угломерным кругам производится по одной стороне круга; оцифровка вертикального круга выполнена по секторам от 0 до 75° и от 0 до минус 75° и др. Зрительная труба обоими концами переводится через зенит. Между корпусом трубы и осью расположено клиновое кольцо 3 (см. рис. 52, а), вращением которого изменяют направление визирной оси зрительной трубы относительно горизонтальной оси при устранении коллимационной погрешности. Для установки прибора над точкой местности теодолит снабжен оптическим центриром.

Уровень при алидаде вертикального круга расположен в левой колонке теодолита. Изображение его пузырька, освещаемое через окно 7, передано на поворотную призму-лупу 6. Юстируют уровень двумя винтами, закрытыми пробкой. При измерении углов наклона концы пузырька совмещают установочным винтом.

Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита показано на рис. 53. Для вычисления углов наклона и места нуля используют формулы (58) и (59).

Теодолит 2Т5К (рис. 52, б) в отличие от теодолита 2Т5 снабжен самоустанавливающимся оптическим компенсатором, заменяющим уровень при алидаде вертикального круга и позволяющим использовать прибор в качестве нивелира с горизонтальным лучом визирования. Теодолит 2Т5КП в отличие от 2Т5К снабжен зрительной трубой прямого изображения.

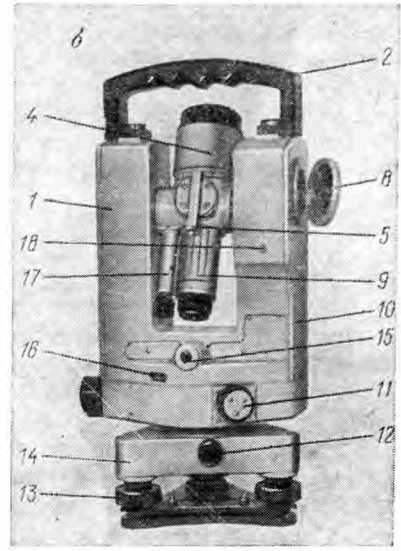
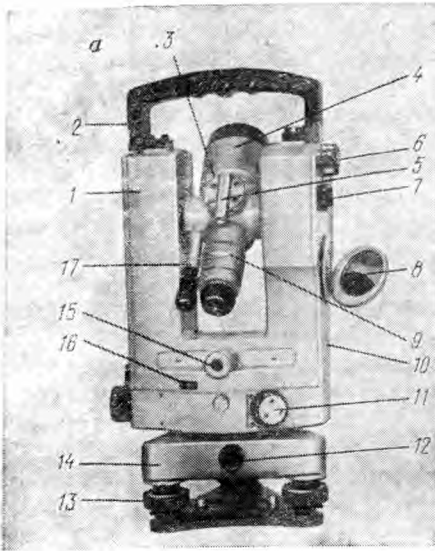


Рис. 52. Теодолиты:

a — 2Т5; *б* — 2Т5К. 1 — колонка; 2 — ручка; 3 — клиновое кольцо; 4 — зрительная труба; 5 — коллиматорный визир; 6 — призма-луна; 7 — окно; 8 — зеркало; 9 — кремальера; 10 — боковая крышка; 11 — рукоятка перевода горизонтального круга; 12 — закрепительный винт подставки; 13 — подъемный винт; 14 — подставка; 15 — окуляр оптического центра; 16 — иллюминатор круга-искателя; 17 — микроскоп; 18 — юстировочный винт для приведения МО к нулю

Основные исследования теодолитов 2Т5 и 2Т5К.

1. Определение рена отсчетного микроскопа (шкалового).

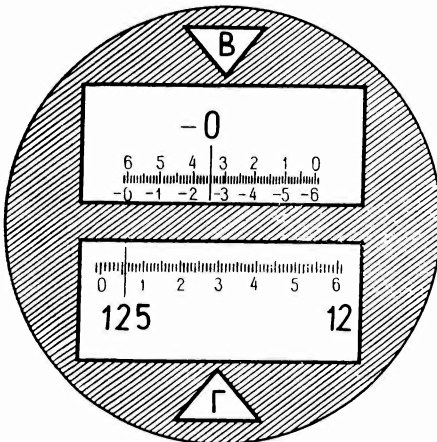


Рис. 53. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолитов 2Т5, 2Т5К, 2Т5КП: отсчет по горизонтальному кругу $125^{\circ}05.4'$; отсчет по вертикальному кругу $-0^{\circ}25.0'$

Изображение одного деления угломерного круга (см. рис. 53) должно быть равно 60 делениям шкалы микроскопа.

Рен горизонтального круга определяют так же, как у теодолита 2Т30, через 60° , а рен вертикального круга — на участках 0° ; 2° ; минус 2° при круге слева и справа.

Расхождения между значениями рена на различных участках круга не должно превышать $0,2''$ ($12''$). При среднем значении рена (r_{cp}) более $3''$ его исправляют следующим образом. Снимают

Таблица 23

| Отсчет по лимбу горизонтального круга | Отсчет N по концу шкалы в делениях | Рен в делениях шкалы $r = 60 - N$ | Примечание |
|---|--------------------------------------|-----------------------------------|--|
| 0° | 59,9 ^d | +0,1 | Теодолит 2Т5 № 0131, $N_0 = 60$ |
| 60 | 60,0 | 0 | |
| 120 | 59,9 | +0,1 | |
| 180 | 59,8 | +0,2 | |
| 240 | 60,0 | 0 | |
| 300 | 59,9 | +0,1 | |
| $\Sigma r = +0,5$ | | | |
| $r_{\text{ср}} = +\frac{0,5}{6} = +0,09^d$; $r_{\text{ср}} = +5,4''$ | | | |

крышку 10 (см. рис. 52, а), открывающую доступ к двум кронштейнам, в которых крепятся линзы объективов микроскопа горизонтального и вертикального кругов. Устранения рена добиваются перемещением соответствующих линз. Если изображения круга необходимо уменьшить, обе линзы перемещают вверх, если увеличить — вниз. Пример определения рена отсчетного микроскопа теодолита 2Т5 приведен в табл. 23.

2. Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга.

Для исследования на открытой ровной местности в 30—50 м от прибора по окружности через 45 или 60° устанавливают хорошо видимые визирные цели — марки.

В первом приеме визируют на марки по ходу часовой стрелки при неподвижном горизонтальном круге вначале при КП, а затем — при КЛ и делают отсчеты П и Л. Затем при двух положениях круга производят второй цикл измерений, незначительно сместив горизонтальный круг, вращая алидаду против хода часовой стрелки, и делают отсчеты П' и Л'.

Для каждого положения алидады находят полуразности и среднюю полуразность

$$d = 0,5(\text{П} - \text{Л}),$$

$$d' = 0,5(\text{П}' - \text{Л}'),$$

$$d_i = 0,5(d + d').$$

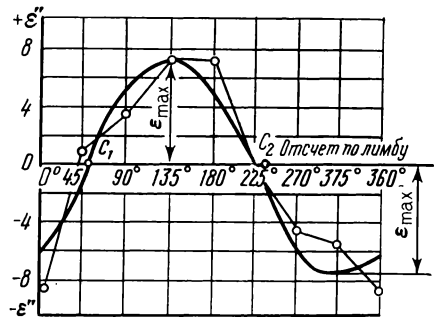


Рис. 54. График значений эксцентриситета на разных частях лимба

Далее вычисляют среднее значение коллимационной ошибки

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n},$$

где n — число средних полуразностей.

После этого определяют величину эксцентриситета

$$\varepsilon_i = d_i - C.$$

По полученным значениям ε_i строят график (рис. 54), который характеризует эксцентриситет алидады горизонтального круга на различных частях лимба. Полученные точки соединяют прямыми линиями и получают ломаную линию, которую затем сглаживают плавной кривой — синусоидой. Отклонение синусоиды от нанесенных точек не должно превышать точности отсчетного приспособления. По синусоиде графически определяют максимальное ε_{\max}^+ и минимальное ε_{\min}^- значения эксцентриситета и вычисляют абсолютное значение эксцентриситета в угловой и линейной мерах, а именно

$$\varepsilon_0'' = \frac{\varepsilon_{\max}^+ + |\varepsilon_{\min}^-|}{2}$$

и

$$e = \frac{\varepsilon_0'' R}{\rho''},$$

где e — абсолютное значение эксцентриситета; R — радиус лимба, мм; $\rho = 206\,265''$.

По графику также определяют отсчеты по лимбу, при которых эксцентриситет равен нулю. На рис. 54 $C_1 = 50^\circ$ и $C_2 = 230^\circ$. Величина ε_0 для теодолитов 2Т5 и 2Т5К не должна превышать $30''$.

Пример исследования теодолита 2Т5 приведен в табл. 24.

По данным, полученным из рис. 54, имеем

$$\varepsilon_{\max}^+ = +7,2'';$$

$$\varepsilon_{\min}^- = -7,8''.$$

По этим данным абсолютное значение эксцентриситета равно

$$\varepsilon_0'' = \frac{+7,2'' + |-7,8''|}{2} = 7,5''.$$

3. Исследования по определению цены деления уровня, увеличения зрительной трубы и точности визирования, определению постоянной нитяного дальномера выполняются так же, как для теодолитов ТЗО (2ТЗО).

Проверки и юстировки теодолитов 2Т5 (2Т5К)

1. Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси.

Порядок поверки и юстировки уровня принимают таким же, что для теодолита Т30 (2Т30).

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

Порядок поверки принимают таким же, что для теодолита Т30 (2Т30).

Юстировка этого условия для теодолитов 2Т5 (2Т5К) имеет особенность.

После первого вычисления коллимационной ошибки по формуле (60) повторяют ее определение и вычисляют вторично значение C . Разность между значениями коллимационной ошибки не должна превышать $15''$. Если среднее арифметическое коллимационной ошибки более $15''$, ее устранение производят вращением клинового кольца юстировочным ключом (рис. 55).

3. Горизонтальная ось должна быть перпендикулярна к вертикальной оси.

Поверку производят так же, как у теодолита Т30 (2Т30). При среднем значении смещения нижней точки на величину более двух биссекторов наклон оси рекомендуется устранить. Это устранение связано с частичной разборкой прибора, поэтому его следует производить в мастерских.

4. Основной вертикальный штрих сетки должен быть перпендикулярен к горизонтальной оси.

Поверку производят так же, как у теодолита Т30.

Юстировку выполняют поворотом корпуса окуляра, предварительно открепив четыре крепежных винта, скрепляющих его со зрительной трубой.

5. Место нуля вертикального круга должно быть известно или приведено к нулю.

Место нуля вычисляют по формуле (59). Перед отсчетом при работе теодолитом 2Т5 необходимо убедиться, что концы пузырька уровня при алидаде вертикального круга совмещены. При необходимости пузырек уровня выводят на середину с помощью установочного винта уровня.

Колебание $МО$ на различные точки не должно быть более $15''$, что будет говорить о правильности наблюдений. Если среднее арифметическое место нуля $МО_{ср}$ более $15''$, то его можно исправить следующим образом.

В теодолите 2Т5 наводят зрительную трубу на удаленную визирную цель и делают отсчеты L и P по вертикальному кругу. При этом пузырек уровня при алидаде вертикального круга должен находиться на середине. Вращением установочного винта уровня

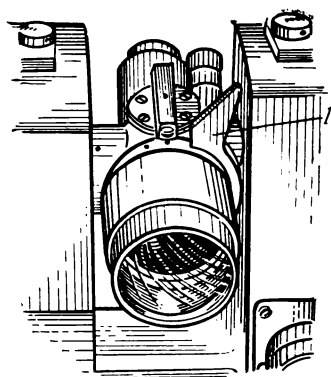


Рис. 55. Устранение коллимационной ошибки с помощью ключа 1

Т а б л и ц а 24

| № | Отсчет по лимбу | Отсчеты по шкаловому микроскопу | | | | | | | $d_i = \frac{d + d'}{2}$ | $e_i = d_i - C$ | e_i'' |
|----------------------|-----------------|---------------------------------|-------|---------------------|-------|-------|------------------------|--------|--------------------------|-----------------|---------|
| | | П | Л | $d = 0,5 (\Pi - Л)$ | П' | Л' | $d' = 0,5 (\Pi' - Л')$ | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0° | 07,0' | 06,8' | +0,10' | 17,0' | 17,0' | 0' | +0,05' | -0,14' | -8,4" | |
| 2 | 45 | 05,9 | 05,5 | +0,20 | 15,9 | 15,5 | +0,20 | +0,20 | +0,01 | +0,6 | |
| 3 | 90 | 10,4 | 10,0 | +0,20 | 20,4 | 20,0 | +0,30 | +0,25 | +0,06 | +3,6 | |
| 4 | 135 | 25,0 | 24,4 | +0,30 | 35,0 | 34,4 | +0,30 | +0,30 | -0,11 | +6,6 | |
| 5 | 180 | 30,0 | 29,4 | +0,30 | 40,0 | 39,4 | +0,30 | +0,30 | +0,11 | +6,6 | |
| 6 | 225 | 40,4 | 40,0 | +0,20 | 50,4 | 50,0 | +0,20 | +0,20 | +0,01 | +0,6 | |
| 7 | 270 | 40,2 | 40,0 | +0,10 | 50,3 | 50,0 | +0,15 | +0,12 | -0,07 | -4,2 | |
| 8 | 315 | 05,2 | 05,0 | +0,10 | 15,1 | 14,9 | +0,10 | +0,10 | -0,09 | -5,4 | |
| $\Sigma d_i = +1,52$ | | | | | | | | | 0 | 0 | |

$$C = + \frac{1,52}{8} = +0,19'; \quad C = +11''$$

ставят отсчет при круге лево $L_{\text{испр}} = L - MO_{\text{ср}}$, после юстировочными винтами уровня при алидаде вертикального круга совмещают изображения концов его пузырька (пузырек уровня приводят к середине). После юстировки поверку рекомендуется повторить.

Для теодолита 2Т5К приведение места нуля к нулю является обязательным. После определения среднего значения места нуля ($MO_{\text{ср}}$) и визирования на удаленную точку местности при положении КЛ устанавливают исправленный отсчет $L_{\text{испр}}$ вращением винта 18 (см. рис. 52, б). После юстировки поверку рекомендуется повторить.

6. Визирная ось оптического центрира должна совпадать с вертикальной осью.

Под теодолитом, установленным на штативе, закрепляют горизонтальный планшет с листом бумаги. Приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение и отмечают на планшете карандашом проекцию сетки нитей оптического центрира. Затем поворачивают алидаду горизонтального круга ровно на 180° и намечают на планшете вторую точку проекции сетки нитей. Если точки совпали, то условие считается выполненным. При несовпадении намечают между ними среднюю точку, с которой совмещают крест сетки нитей оптического центрира юстировочными винтами диафрагмы.

7. Компенсатор должен обеспечивать неизменный отсчет по вертикальному кругу при наклоне вертикальной оси в пределах $\pm 3'$ (для теодолита 2Т5К).

Для проверки этого условия выбирают на местности хорошо видимую визирную цель. Устанавливают теодолит так, чтобы один из подъемных винтов был расположен в направлении этой цели. Приведя вертикальную ось прибора в отвесное положение, визируют эту цель при круге право и делают отсчет по вертикальному кругу Π . Наводящим винтом зрительной трубы увеличивают отсчет Π на $3'$, после чего подъемным винтом подставки, расположенным в направлении цели, наводят центр сетки на визирную цель и делают отсчет по вертикальному кругу Π_1 . Затем наводящим винтом зрительной трубы уменьшают отсчет Π на $6'$ и тем же подъемным винтом подставки опять наводят центр сетки на ту же визирную цель. Делают отсчет по вертикальному кругу Π_2 и вычисляют разность отсчетов $\Pi_1 - \Pi_2 = d_1$ и $\Pi_2 - \Pi = d_2$, которые не должны различаться более чем на $0,1'$.

При невыполнении этого условия прибор должен быть направлен в ремонт.

§ 35. НИВЕЛИРЫ

Нивелир Н-3

Нивелир Н-3* — точный, предназначен для нивелирования III и IV классов, он может применяться также при различного рода инженерно-геодезических изысканиях (рис. 56).

* Цифры в шифрах нивелиров обозначают средние квадратические погрешности (мм) нивелирования на 1 км двойного хода.

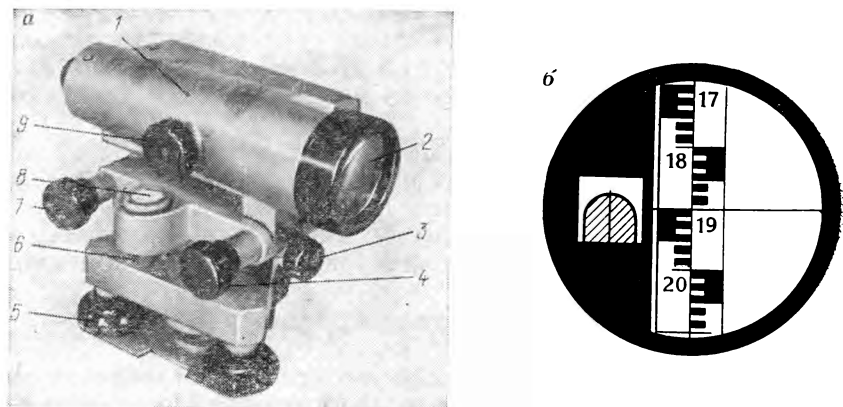


Рис. 56. Нивелир Н-3:

a — общий вид; *б* — поле зрения трубы. 1 — корпус зрительной трубы; 2 — объектив; 3 — закрепительный винт трубы; 4 — наводящий винт трубы; 5 — подъемный винт; 6 — юстировочный винт установочного (круглого) уровня; 7 — элевационный винт; 8 — установочный (круглый) уровень; 9 — головка механизма перефокусировки. Отсчет: 1900.

Нивелир Н-3 изготовлен с призмной системой, позволяющей совмещать изображение противоположных концов пузырька уровня (контактный уровень). Совмещение концов пузырька уровня, изображение которых передается в поле зрения зрительной трубы (рис. 56, б), осуществляется элевационным винтом 7 (рис. 56, а).

Зрительная труба имеет увеличение $30\times$, цена деления уровня (на 2 мм) составляет 15—18". Средняя квадратическая погрешность на 1 км двойного хода не превышает 3 мм.

При наличии компенсатора, применяемого для приведения визирной оси в горизонтальное положение, в шифре нивелира Н-3 добавляется буква К (Н-3К).

Нивелир Н-3 может изготавливаться с лимбом для измерения горизонтальных углов. При наличии лимба в шифре нивелира добавляется буква Л. Например, нивелир с компенсатором и лимбом, предназначенный для определения превышений со средней квадратической погрешностью 3 мм на 1 км двойного хода, имеет обозначение Н-3КЛ.

Нивелир Н-3К снабжен призмной компенсатором, расположенным между фокусирующей линзой и сеткой нитей. С помощью компенсатора визирная ось автоматически (в пределах наклона на $\pm 15'$) устанавливается в горизонтальное положение. Колебания компенсатора гасит демпфер поршневого типа. Компенсатор имеет ограничитель, предохраняющий нити подвески от обрыва. Юстировку компенсатора проводят в заводских условиях.

Для того чтобы компенсатор вступил в действие, вертикальную ось прибора приводят в отвесное положение с помощью подъемных винтов и круглого уровня. Вращение нивелира по азимуту выполняется с помощью наводящего винта зрительной трубы.

Нивелир Н-10КЛ

Нивелир Н-10КЛ — технический, предназначен для технического нивелирования со средней квадратической погрешностью не более 10 мм на 1 км двойного хода (рис. 57). Нивелир снабжен компенсатором и лимбом.

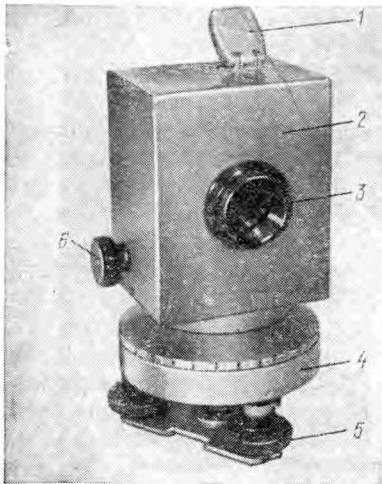


Рис. 57. Нивелир Н-10КЛ:

1 — крышка зеркала; 2 — кожух; 3 — объектив; 4 — подставка; 5 — подъемный винт; 6 — головка механизма перефокусировки

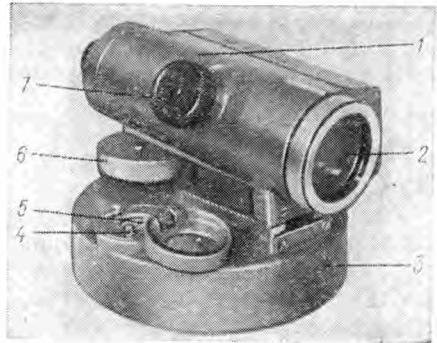


Рис. 58. Нивелир НТ:

1 — корпус зрительной трубы; 2 — объектив; 3 — вращающаяся подставка; 4 — юстировочный винт установочного (круглого) уровня; 5 — установочный (круглый) уровень; 6 — тангенциальный винт точного горизонтирования; 7 — головка механизма перефокусировки

Нивелир Н-10КЛ имеет увеличение зрительной трубы $20\times$, цена деления лимба горизонтального круга 1° , средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла составляет $6'$. Прибор в рабочее положение приводится по установочному (круглому) уровню с ценой деления (на 2 мм), равной $10'$. Верхняя часть прибора закрыта облегченным термоизоляционным кожухом. Для юстировки прибора имеются юстировочные винты оправы сетки нитей и уровня. Оптическая система прибора позволяет получить прямое изображение предметов. Компенсатор занимает одно и то же положение относительно плоскости горизонта в пределах углов наклона вертикальной оси нивелира $\pm 15'$. Постоянство положения компенсатора осуществляется с помощью шарикоподшипниковой подвески. Время затухания колебаний компенсатора, гасимых воздушным демпфером, не превышает 2 с.

Нивелир НТ

Нивелир предназначен для технического нивелирования и обеспечивает среднюю квадратическую погрешность нивелирования на 1 км хода 15 мм (рис. 58).

Нивелир НТ имеет контактный цилиндрический уровень, совмещение концов пузырька достигается тангенциальным винтом 6. Изображение концов пузырька уровня так же, как у нивелира Н-3, передается в поле зрения трубы.

Нивелир состоит из вращающейся части со зрительной трубой, цилиндрического уровня с системой призм, круглого уровня, тангенциального винта и неподвижной части с горизонтальным кругом, закрепляемой непосредственно на шаровой головке штатива.

В горизонтальное положение нивелир приводится следующим образом. Рукояткой станového винта ослабляется зажатие шаровой пяты, и вертикальная ось приводится в отвесное положение по круглому уровню. Затем вращением тангенциального винта совмещают изображение концов пузырька.

Поверки и юстировки нивелиров

1. Ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси.

Устанавливают пузырек уровня в нуль-пункт, что делается у нивелира НТ с помощью шаровой пяты, а у других нивелиров — подъемными винтами. Верхнюю часть прибора поворачивают на 180° . Если пузырек остается в нуль-пункте, то условие выполнено. В противном случае делают исправление. Для этого, действуя подъемными винтами (шаровой пятой у нивелира НТ), перемещают пузырек в направлении нуль-пункта на половину дуги отклонения, после чего юстировочными винтами приводят его на середину.

2. Основной горизонтальный штрих сетки нитей должен быть перпендикулярен к вертикальной оси.

Приводят вертикальную ось прибора в отвесное положение и наводят зрительную трубу на рейку, находящуюся в 20—30 м от нивелира, так, чтобы изображение рейки находилось у края поля зрения. Делают отсчет по рейке. Затем, вращая трубу, переводят изображение рейки в другой край поля зрения и делают второй отсчет.

Условие считается выполненным, если отсчеты окажутся одинаковыми. В противном случае делают исправление: ослабляют винты, соединяющие окуляр с трубой, и поворотом сетки нитей с оправой (за счет люфта винтов) устанавливают основной горизонтальный штрих на средний отсчет.

3. Визирная ось должна быть параллельна оси цилиндрического уровня (для нивелиров Н-3, НТ и других приборов, снабженных цилиндрическим уровнем и элевационным винтом).

Поверку выполняют в следующем порядке. На местности с помощью кольев или костылей закрепляют линию длиной 70—80 м (рис. 59). Прибор устанавливают на одинаковом расстоянии от концов линии, тщательно приводят пузырек уровня на середину и делают отсчеты по рейкам a_1 и b_1 .

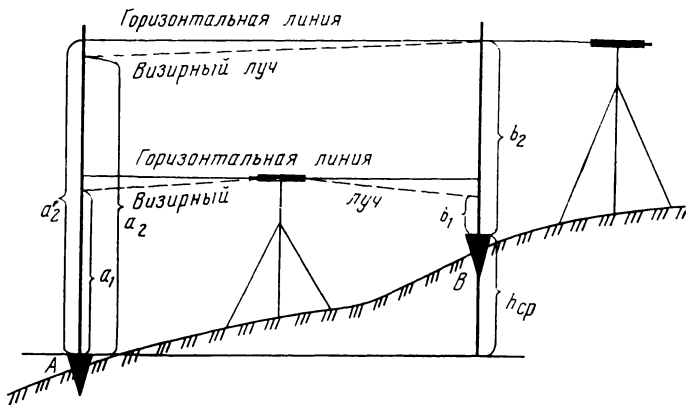


Рис. 59. Проверка основного геометрического условия нивелира

Затем определяют превышение h по формуле

$$h = a_1 - b_1.$$

Для контроля и повышения точности необходимо определять превышение h два-три раза, изменяя горизонт прибора, и за действительную его величину принимать среднее значение превышения $h_{\text{ср}}$.

После устанавливают прибор примерно в створе линии AB на расстоянии 3—5 м от точки B и, приведя пузырек на середину, делают отсчет b_2 , который принимается за истинный. Вычисляют теоретическое значение отсчета a'_2 по рейке, установленной в точке A , т. е.

$$a'_2 = h_{\text{ср}} + b_2.$$

Элевационным или тангенциальным винтом устанавливают среднюю нить на отсчет a'_2 , после чего приводят пузырек уровня на середину, действуя вертикальными юстировочными винтами уровня. После юстировки повторяют проверку. Расхождение наблюдаемого отсчета a_2 от вычисленного a'_2 не должно превышать 4 мм. Проверку производят также двойным нивелированием линии AB следующим образом.

Нивелир устанавливают над точкой A и измеряют с погрешностью не более 1 мм его высоту J_A (расстояние от центра окуляра до верха кола) и делают отсчет v_B по рейке, установленной в точке B . Затем меняют рейку и нивелир местами и, выполняя аналогичные действия на точке B , получают значения J_B и v_A . Вычисляют значения угла i между визирной осью и осью цилиндрического уровня по формуле

$$i'' = \frac{[(J_A + J_B) - (v_A + v_B)]}{2S} \rho'',$$

где S — горизонтальное расстояние между точками A и B , мм.

Для контроля и повышения точности измерение повторяют 2—3 раза.

Расхождение между отдельными значениями угла i не должно превышать $5''$. За окончательный результат его определения принимают среднее арифметическое значение

$$i_0 = \frac{i_1 + i_2 + \dots + i_n}{n},$$

где n — число испытаний.

Угол $|i_0|$ не должен быть более $10''$. При $|i_0| > 10''$ производят юстировку. Для этого устанавливают горизонтальный штрих при помощи элевационного (или тангенциального) винта на исправленный отчет (прибор находится в точке B)

$$v_A' = v_A + \frac{S i_0''}{\rho''},$$

где угол i_0 берут со своим знаком.

После установки отсчета v_A' приводят пузырек на середину, действуя юстировочными винтами уровня. Для контроля юстировки поверку повторяют.

4. Линия визирования должна быть горизонтальной (для нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования).

Поверки проводят так же, как у нивелиров с цилиндрическим уровнем и элевационным винтом (см. п. 3). Юстировку осуществляют вертикальными винтами при сетке.

5. Поверка правильности работы компенсатора (для нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования).

Приводят нивелир в рабочее положение по круглому уровню и делают отсчет l_0 по рейке, установленной на расстоянии около 40 м от него. Затем, вращая подъемные винты подставки, поочередно смещают пузырек круглого уровня на одно деление в сторону объектива, окуляра, вправо и влево, делая каждый раз отсчеты по рейке l_i . Эти отсчеты не должны отличаться от l_0 больше чем на 1 мм. Исправляют компенсатор на заводе.

§ 36. ТАХЕОМЕТР ДАЛЬТА 010А

Удобным и производительным при тахеометрической съемке является номограммный тахеометр Дальта 010А Народного предприятия «Карл Цейсс» (ГДР). В комплект тахеометра входит столик Карти с диаметром 250 мм, а также специальная топографическая рейка. Номограмма тахеометра Дальта 010А представляет собой систему кривых, распространенных на все поле зрения зрительной трубы и построенных по определенному закону (диаграмма проф. Н. Гаммера). Различают основную (начальную) кривую, от которой строят другие кривые — превышений и горизонтальных

проложений. Горизонтальные проложения S и превышения h между точками местности определяют по формулам

$$\left. \begin{aligned} S &= K_S (l_S - l_0) \\ h &= K_h (l_h - l_0) + i - l_0 \end{aligned} \right\}, \quad (61)$$

где K_S и K_h — соответственно коэффициенты кривой горизонтальных проложений и превышений; l_0 — отсчет по начальной кривой; l_S и l_h — соответственно отсчеты по кривой горизонтальных проложений и превышений; i — высота прибора.

Если основную кривую навести на высоту прибора ($i = l_0$), то превышение вычисляется по формуле

$$h = K_h (l_h - l_0). \quad (62)$$

Номинальное значение коэффициента K_h для различных кривых составляет $\pm 10, 20, 50$ и 100 , а коэффициента K_S равно $100, 200$. Поле зрения трубы тахеометра Дальта 010А показано на рис. 60. Средняя квадратическая погрешность определения превышения при $K_h = \pm 10$ не превышает $0,03$ м при расстоянии между точками 100 м, средняя квадратическая относительная погрешность расстояния при $K_S = 100$ составляет $1/1000$ (10 см на 100 м). Тахеометр Дальта 010А имеет автоматическую стабилизацию отсчетного индекса вертикального круга с помощью компенсатора с погрешностью, не превышающей $1''$. Диапазон работы компенсатора $\pm 4'$.

Тахеометр Дальта 010А должен быть поверен прежде всего как теодолит. Помимо этого, рекомендуется определить фактические коэффициенты дальномера $K_{S\phi}$ и превышений $K_{h\phi}$.

Для определения величины $K_{S\phi}$ на местности выбирается несколько базисов длиной 50 — 100 м, расположенных на местах с различными углами наклона.

Базисы тщательно измеряют лентой в прямом и обратном направлениях, а угол наклона — теодолитом. После этого вычисляют горизонтальное проложение линии S_0 , а затем находят коэффициент $K_{S\phi}$ по формуле

$$K_{S\phi} = K_S \frac{S_0}{S},$$

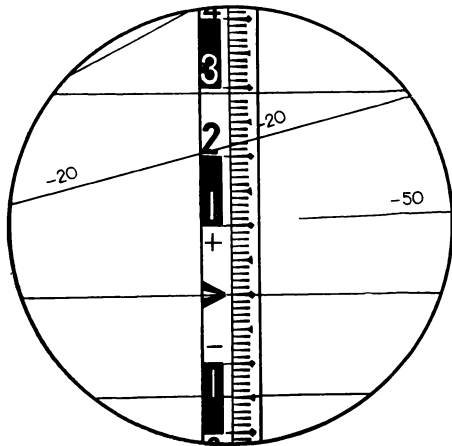


Рис. 60. Поле зрения тахеометра Дальта 010А:

отсчет по кривой $K_h = -20$ равен $l_h = 21,8$ см

где K_S — номинальный коэффициент дальномера; S — горизонтальное проложение линии, измеренное тахеометром.

За окончательное значение коэффициента $K_{h\phi}$ принимают среднее арифметическое из всех его определений. Для определения коэффициента $K_{h\phi}$ на местности выбирают несколько линий длиной не более 100 м с превышениями:

а) 2—10 м для определения коэффициентов, номинальное значение которых равно ± 10 ;

б) 3—15 м для определения коэффициентов, номинальное значение которых равно ± 20 .

Линии закрепляют на местности кольями, после чего определяют превышение h_0 точек местности с помощью геометрического нивелирования.

После этого вычисляют коэффициенты $K_{h\phi}$ по формуле

$$K_{h\phi} = K_h \frac{h_0}{h},$$

где K_h — номинальное значение коэффициента превышений; h — превышение, измеренное тахеометром.

Превышение h определяется тахеометром в прямом и обратном направлениях. За окончательное значение $K_{h\phi}$ принимается среднее арифметическое из всех определений.

§ 37. КИПРЕГЕЛЬ КН

Кипрегель номограммный КН (рис. 61) предназначен для производства топографических съемок. Кривые превышений и гори-

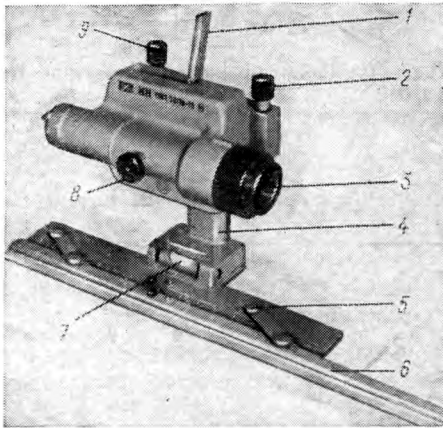


Рис. 61. Кипрегель КН:

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

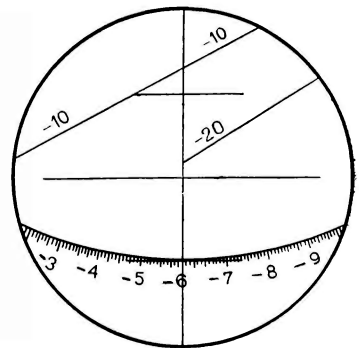


Рис. 62. Поле зрения трубы кипрегеля КН

горизонтальных проложений распространены на все поле зрения зрительной трубы (рис. 62) с коэффициентами $K_h = +10, 20, 100$ и $K_s = 100, 200$, изображения которых наблюдаются при круге лево. В поле зрения трубы видны изображения номограмм горизонтальных расстояний с коэффициентами 100 и 200. Начальная кривая расположена в нижней части поля зрения трубы. В комплект кипрегеля входит топографическая рейка с выдвигной пяткой, позволяющей установить нулевой штрих рейки на высоту прибора.

Формулы для определения превышений и горизонтальных проложений те же, что у тахеометра Дальта 010А. Перед отсчетом по рейке пузырек уровня при алидаде вертикального круга приводят на середину установочным винтом уровня 2 (см. рис. 61).

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 измерении прибором КН вычисляют по формулам

$$MO = \frac{\Pi - Л}{2}; \quad (63)$$

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{\Pi + Л}{2} \\ v &= \Pi - MO = Л + MO \end{aligned} \right\} \quad (64)$$

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. Проверка скошенного ребра линейки делается, 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.

Проверка и исправление производятся, как у теодолита Т30 (см. проверку уровня).

4. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к горизонтальной оси.

Проверку и юстировку производят 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.

Поверка производится так же, как третья поверка теодолита Т30. 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 по формуле (63). Колебание места нуля при наведении на различные точки не должно превышать 2'. Если среднее значение места нуля превышает 1', 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

$$П_{исп} = П - МО_{ср},$$

где $МО_{ср}$ — среднее значение места нуля.

Затем юстировочным 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.

§ 38. СВЕТОДАЛЬНОМЕР 2СМ2

Светодальномер 2СМ2 (рис. 63, а, б) предназначен для измерения расстояний до 2 км со средней квадратической погрешностью

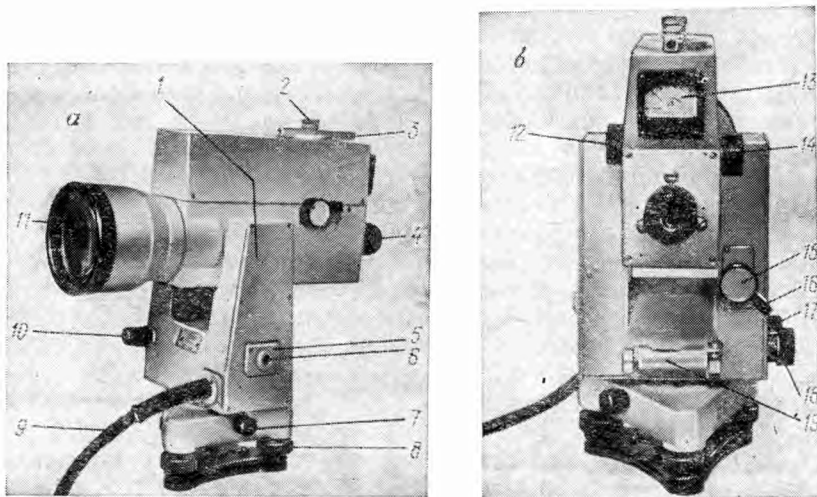
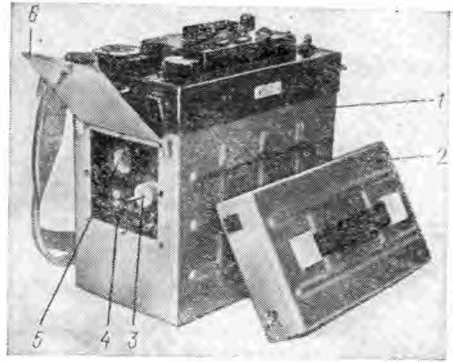


Рис. 63. Светодальномер 2СМ2 (приемопередатчик)

1 — головка; 2 — колпачок лампы-подсветки; 3 — коллиматорный визир; 4 — окуляр; 5 — крышка; 6 — оптический центрир; 7 — закрепительный винт подставки; 8 — подъемный винт; 9 — кабель; 10 — ручка установки напряжения питания ФЭУ; 11 — объектив; 12 — рукоятка «дистанция—ОКЗ»; 13 — контрольный прибор; 14 — ручка установки уровня сигнала; 15, 18 — наводящие винты; 16, 17 — рукоятки закрепительных винтов; 19 — уровень

Рис. 64. Электронный блок светодальномера 2СМ2:

1 — корпус; 2, 6 — крышки; 3 — разъем для подключения питания; 4 — гнезда для подключения тройника; 5 — разъем для подключения приемопередатчика



0,02 м. В качестве фазометрического устройства применен счетный блок.

Для разрешения неоднозначности производят измерения на трех масштабных частотах: $f_1=149,85$ кГц, $f_2=1498,5$ кГц, $f_3=14\,985$ кГц.

Приемопередатчик (см. рис. 63) служит для излучения модулированного светового сигнала, приема и детектирования отраженного излучения, преобразования полученного в результате детектирования электрического сигнала в низкочастотный сигнал и для его предварительного усиления.

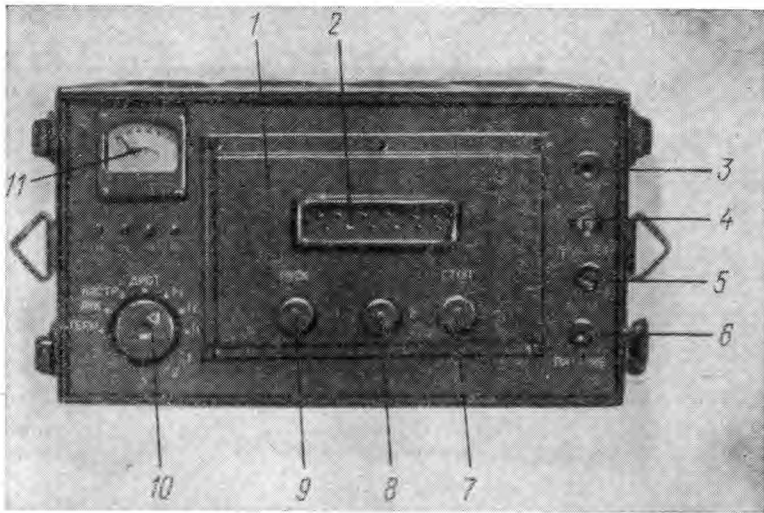


Рис. 65. Лицевая панель электронного блока:

1 — лицевая панель счетного блока; 2 — цифровое табло; 3 — ручка «НАСТР»; 4 — тумблер «ПОДСВЕТ»; 5 — тумблер «ТЕРМ»; 6 — тумблер «ПИТАНИЕ»; 7 — кнопка «СТОП»; 8 — тумблер переключения режимов работы счетного блока; 9 — кнопка «ПУСК»; 10 — переключатель режимов работы; 11 — контрольный прибор

Электронный блок (рис. 64) служит для создания масштабных частот и частот гетеродина, усиления и фильтрации сигнала, поступившего от приемопередатчика, логической обработки отсчетов на частотах f_3 , f_2 , f_1 и выдачи результатов измерения на цифровом электронном табло.

Переключатель 8 режимов работы (рис. 65) служит для контроля: нулевых отсчетов на частотах f_3 , f_2 , f_1 , настройки фильтра («НАСТР»), режима работы термостата («ТЕРМ»), работоспособности аккумулятора («АКК»), счетного блока (1, 2, 3). Во время измерения расстояния переключатель устанавливают в положение «дист». Показания при контроле считывают со шкалы контрольного прибора 11 и цифрового табло 2.

Около электронного табло на лицевой панели счетного блока расположены кнопки «ПУСК» для включения счетного блока и «СТОП» для прекращения счета. Между ними установлен тумблер 8, при переключении которого в положении I высвечивается результат измерения только один раз после каждого нажатия пусковой кнопки; при переключении тумблера в положение II результат измерения повторяется автоматически желаемое количество раз до его остановки нажатием кнопки «СТОП».

С правой стороны лицевой панели расположены: ручка 3 настройки фильтра «НАСТР», тумблер 4 для включения подсвета на ней «ПОДСВЕТ», тумблер 5 включения термостата «ТЕРМ» и тумблер 6 включения питания прибора «ПИТАНИЕ».

На боковой стенке электронного блока с левой стороны корпуса размещены разъемы для подключения источника питания и приемопередатчика, гнезда для подключения ручника (или теодолита) для работы ночью.

Во время работы в солнечную погоду, когда светящиеся цифры табло плохо видны, на оправу электронного табло надевают тубус.

Цифровое электронное табло (см. рис. 65) состоит из полупроводниковых индикаторов, образующих шесть разрядов. Первый разряд соответствует сотням метров измеренного расстояния, последний — миллиметрам. Таким образом, в светодальномере 2СМ2 неоднозначность разрешается до 1 км, а результат выдается до 1 мм. Показание электронного табло является результатом измерения расстояния на трех частотах, автоматически вычисленным логической схемой счетного блока.

Отражатель дальномера (рис. 66) состоит из девяти трипельпризм, собранных в три самостоятельных блока. Два крайних блока съемные, а один центральный — несъемный. В зависимости от длины измеряемой линии и условий прохождения сигнала используют то или иное количество блоков.

Дальномер и отражатели центрируют над пунктами с помощью оптических центров.

До начала работы проверяют функционирование следующих узлов и блоков светодальномера: а) напряжение источников питания; б) работу термостата; в) функционирование фильтра сиг-

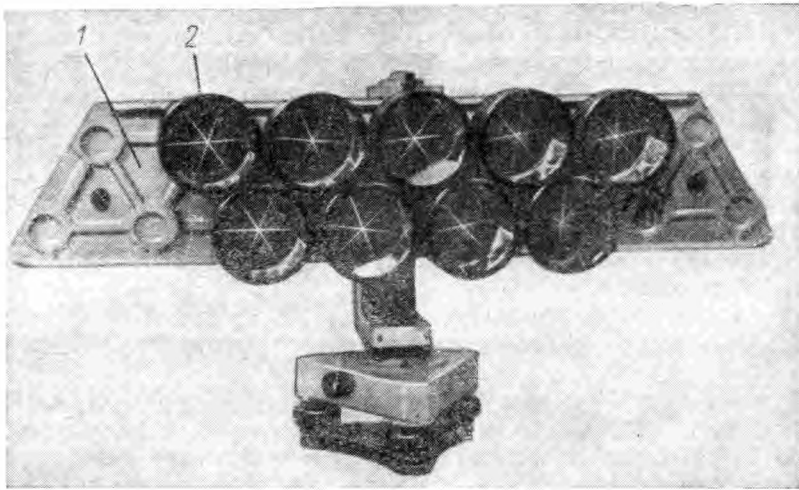


Рис. 66. Отражатель светодальномера 2СМ2:

1 — плата; 2 — трипельпризма в оправе

нального канала; г) контрольный режим 3; д) возможность изменения уровня сигнала ручкой его установки; е) схему блокировки счета, определение границ рабочей зоны и вычисление значения номинального уровня сигнала; ж) возможность установки начальных отсчетов в режиме ОКЗ; з) контрольные режимы 1, 2; и) схему автоматического переключения частот; к) схему индикации разрешения неоднозначности; л) оптический центрир приемопередатчика.

Перед началом работы выполняют следующие поверки и исследования: а) правильность показаний контрольного прибора электронного блока; б) функционирование всех узлов и блоков прибора; в) определение постоянной поправки светодальномера; г) определение нестабильности основной масштабной частоты; д) определение средней квадратической погрешности измерения расстояния одним приемом; е) определение поправки за циклическую погрешность.

Измерение расстояния светодальномером выполняют в следующем порядке:

1) в начальной точке устанавливают приемопередатчик на штатив и центрируют с помощью оптического центрира;

2) в конечной точке устанавливают штатив с подставкой и центрируют ее с помощью двустороннего оптического центрира, после чего вставляют в подставку отражатель и наводят его на приемопередатчик;

3) в начальной точке рядом со штативом устанавливают электронный блок и источник питания;

4) открыв крышку электронного блока, устанавливают тумблеры «ПИТАНИЕ», «ТЕРМ», «ПОДСВЕТ» в положение «выключено», подсоединяют кабель приемопередатчика к электронному блоку, а электронный блок к источнику питания;

5) устанавливают переключатель режимов работы в положение «АКК» — при показаниях контрольного прибора менее 44 мкА следует заменить источник питания;

6) устанавливают рукоятку «дистанция-ОКЗ» в положение «дистанция»;

7) наводят приемопередатчик на отражатель с помощью коллиматорного визира.

Примечание: при измерении расстояний до 200 м на объектив приемопередатчика одевают специальную диафрагму вырезом вверх.

8) после прогрева термостата включают тумблер «ПИТАНИЕ» и выключают счетный блок нажатием кнопки «СТОП». Устанавливают переключатель режима работы в положение «дистанция», рукоятку «дистанция-ОКЗ» — в положение «дистанция» и поворачивают ручку установки уровня сигнала по часовой стрелке до ограничения;

9) наводят приемопередатчик на отражатель по максимальному уровню отраженного сигнала;

10) настраивают фильтр сигнального канала, для этого переводят переключатель режимов работы в положение «НАСТР» и плавно поворачивают ручку «НАСТР» от одного крайнего положения до другого, пока стрелка контрольного прибора электронного блока не будет отслеживать поворот ручки. Устанавливают показания контрольного прибора 25 мкА;

11) устанавливают переключатель «дистанция-ОКЗ» в положение ОКЗ, включают счетный блок кнопкой «ПУСК» и снимают несколько отсчетов. Отсчеты должны быть от 0000 до 0200. Для установки отсчетов в указанных пределах вращают ручку f_3 ;

12) устанавливают переключатель режимов работы в положение «ДИСТ», включают счетный блок, снимают с табло два отсчета и записывают в журнал;

13) переводят переключатель режимов работы в положение f_3 , снимают и записывают пять отсчетов на частоте f_3 в режиме «дистанция»;

14) поворачивают рукоятку «дистанция-ОКЗ» в положение ОКЗ и, не изменяя напряжения питания ФЭУ, устанавливают уровень сигнала, равный установленному ранее в режиме «дистанция». Снимают и записывают пять отсчетов на частоте f_3 в режиме ОКЗ, а затем выключают счетный блок;

15) проводят дополнительно три наведения по максимальному уровню сигнала, при каждом наведении снимают и записывают в журнал по пять отсчетов на частоте f_3 в режимах «дистанция» и ОКЗ;

Полный результат измерения расстояния получают по формуле

$$D_{\Pi} = D_{\text{ср}} + n \cdot 1000,$$

где $D_{\text{ср}}$ — среднее значение полного результата измерения, полученное путем уточнения полного отсчета средним арифметическим из отсчетов на частоте f_3 ; n — целое число тысяч метров.

Для получения измеренного расстояния в полный результат D_{Π} вводят: C — постоянную поправку светодальномера; $\delta_{t,p}$ — поправку за температуру и давление воздуха; $\delta_{\text{ц}}$ — поправку за циклическую погрешность.

Таблица 25

Журнал измерения линии светодальномером 2СМ2

Пункт: 54 Линия: 54—55 Дата 20.08.84 Наблюдатель: Смирнов Ю. Г.
 Погода: солнечная Приближенная длина: 1,2 км
 Давление: $P=753$ мм рт. ст. Температура воздуха: $t = +12^{\circ}\text{C}$
 $K = +3,2$ мм; $H_{\text{пр}}=224,03$ м; $i_{\text{пр}}=1,48$ м; $H_{\text{отр}}=216,55$; $i_{\text{отр}}=1,50$ м.
 Прибор и отражатель установлены: над центрами пунктов

Полный отсчет на дистанцию
 $D' = 478,763$
 p

| Приемы | | I | II | III |
|--|-----|----------------|--------------|--------------|
| Отсчеты на дистанцию, м | 1 | 4 7 8, 7 9 4 | 4 7 8, 7 8 9 | 4 7 8, 8 6 2 |
| | 2 | 8 7 9 4 | 8 7 8 4 | 8 8 7 7 |
| | 3 | 8 7 9 6 | 8 7 8 5 | 8 8 9 4 |
| | 4 | 8 7 9 2 | 8 7 8 6 | 8 8 8 0 |
| | 5 | 8 7 9 4 | 8 7 8 9 | 8 8 8 8 |
| | Ср. | 4 7 8, 7 9 4 | 4 7 8, 7 8 7 | 4 7 8, 8 8 0 |
| Отсчеты на ОКЗ, м | 1 | 0, 1 0 5 | 0, 1 0 4 | 0, 1 8 9 |
| | 2 | 0 1 0 4 | 0 1 0 6 | 0 1 8 3 |
| | 3 | 0 1 0 6 | 0 1 0 7 | 0 1 9 3 |
| | 4 | 0 1 0 6 | 0 1 1 0 | 0 1 9 4 |
| | 5 | 0 1 0 6 | 0 1 0 8 | 0 1 9 5 |
| | Ср. | 0, 1 0 5 | 0, 1 0 7 | 0, 1 9 1 |
| D_p , м | | 4 7 8, 6 8 9 | 4 7 8, 6 8 0 | 4 7 8, 6 8 9 |
| $D_{\text{ср}}$, м | | 4 7 8, 6 8 6 | | |
| $D_{\Pi} = D_{\text{ср}} + n \cdot 1000$, м | | 1 4 7 8, 6 8 6 | | |

Вычисление горизонтального проложения

| Обозначения | Полный результат D_{Π}' , м | Поправки, мм | | | Постоянная C , мм | Горизонтальное проложение S , мм |
|-------------|---------------------------------|----------------|----------------|---------------------|---------------------|------------------------------------|
| | | δ_{ν} | $\delta_{t,p}$ | $\delta_{\text{ц}}$ | | |
| Результат | 1478,686 | -24 | +38 | +8 | -58 | 1478,650 |

$$S = D_{\Pi} + \delta_{\nu} + \delta_{t,p} + \delta_{\text{ц}} + C$$

Поправку за температуру и давление воздуха находят по формуле

$$\delta_{t,p} = KN,$$

где K — метеорологический коэффициент, определяемый по номограмме; N — число сотен метров в измеряемом расстоянии.

Поправку за циклическую погрешность $\delta_{ц}$ находят в результате специальных исследований.

Для получения горизонтального проложения вводят поправку за наклон линии к горизонту, вычисляемую по формуле

$$\delta_v = -\frac{h^2}{2D}.$$

Полевой журнал измерения линии светодальномером 2СМ2 приведен в табл. 25.

§ 39. СВЕТОДАЛЬНОМЕР СМ5

Светодальномер СМ5 (рис. 67) предназначен для измерения расстояний до 500 м со средней квадратической погрешностью, не превышающей 0,05 м. Приемопередатчик дальномера может применяться как в виде самостоятельного дальномера, так и в качестве насадки на теодолиты серии 2Т. Потребляемая мощность прибора около 5 Вт. Он питается от аккумулятора напряжением 6—8,5 В.

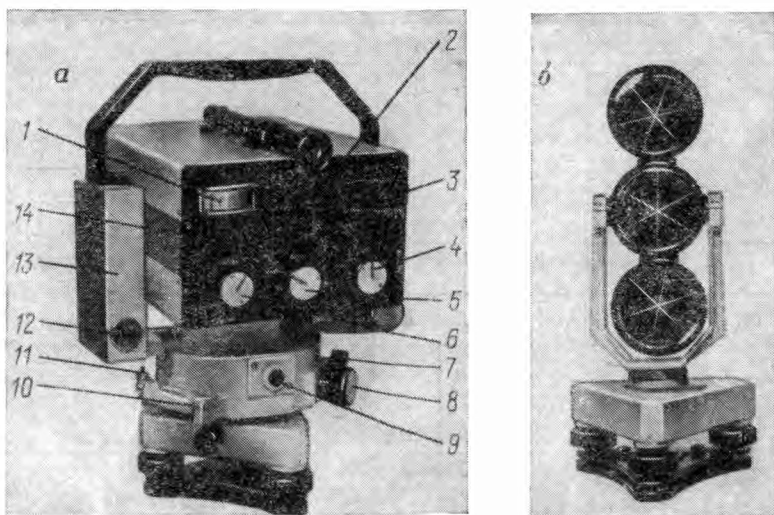


Рис. 67. Светодальномер СМ5:

a — приемопередатчик; *б* — отражатель. 1 — стрелочный прибор; 2 — лицевая панель; 3 — цифровое табло; 4 — переключатель «ГРУБО-ТОЧНО-АКК»; 5 — переключатель «ИЗМЕР—00000—0...9»; 6 — ручка «СИГНАЛ»; 7 — закрепительный винт; 8 — наводящий винт; 9 — окуляр оптического центра; 10 — цилиндрический уровень; 11 — юстировочный винт цилиндрического уровня; 12 — микрофон; 13 — крышка; 14 — ручка установки контрольного отсчета

Светодальномер работает на двух частотах: в режиме «ГРУБО» — 149,855 кГц, в режиме «ТОЧНО» — 14,985,5 кГц. Источником излучения является полупроводниковый светодиод на основе арсенида галлия с длиной волны излучения 0,9 мкм.

Диапазон однозначно измеряемого расстояния в режиме «ГРУБО» составляет 2—500 м. Результат измерения высвечивается на пяти индикаторах табло в сантиметрах. В режиме «ТОЧНО» измеряют последние десять метров. При этом результат измерения высвечивается на первых четырех индикаторах табло в миллиметрах.

Каждый высвечиваемый отсчет представляет собой разность отсчетов в режимах «дистанция» и ОКЗ. Коммутация режимов «дистанция» и ОКЗ осуществляется по командам программного устройства счетного узла. Начало высвечивания отсчета ($D_{\text{дист}} - D_{\text{окз}}$) сопровождается звуковым сигналом микротелефона.

Перед началом измерений с помощью резистора установки значения контрольного отсчета устанавливают постоянную поправку светодальномера равной нулю. Значение контрольного отсчета указывается в паспорте прибора. Для получения окончательного значения измеряемого расстояния отсчет ($D_{\text{дист}} - D_{\text{окз}}$) устанавливают в режиме «ТОЧНО» и вносят поправки за систематические погрешности.

Приемопередатчик (рис. 67,а) имеет устройство блокировки счета при попадании отраженного сигнала (амплитудный детектор, пороговое устройство, ключ), исключающее получение на табло ложных результатов при появлении помех в створе между приемопередатчиком и отражателем во время работы счетного узла. Напряжение с выхода амплитудного детектора дополнительно подается на стрелочный прибор для контроля уровня сигнала.

Питание всех схем приемопередатчика осуществляется через стабилизаторы вторичного источника питания (узел питания). Для уменьшения потребляемой мощности при наведении на отражатель отключается питание делителей частоты и счетного узла. На излучатель в этом режиме (режим «НАВЕДЕНИЕ») подается напряжение от отдельного генератора импульсов.

Уровни сигналов в режимах «ГРУБО», «ТОЧНО» и «НАВЕДЕНИЕ» выравниваются подбором коэффициента усиления ФЭУ в каждом из этих режимов. Общая регулировка уровня сигнала осуществляется резистором «СИГНАЛ», изменяющим выходное напряжение высоковольтного преобразователя.

Частота задающего кварцевого генератора подстраивается резистором «f», чувствительность стрелочного прибора — резистором «мкА». В режиме контроля напряжения первичного источника питания цена одного деления шкалы стрелочного прибора равна 0,33 В.

С дальномером применяют отражатели из трипельпризм (рис. 67, б).

Перед началом работы выполняют следующие проверки функционирования приемопередатчика:

1. Проверка схемы контроля напряжения источника питания.

Устанавливают переключатель 4 в положение «АКК», стрелка прибора приемопередатчика должна отклониться вправо по шкале (см. рис. 67).

2. Проверка индикаторов табло.

Включают приемопередатчик в режиме «СЧЕТ», устанавливают переключатель 5 в положение 0...9, переключатель 4 в положение «ГРУБО»;

наблюдают переключение цифр на индикаторах. Проверяют свечение всех сегментов индикаторов и возможность однозначного считывания всех цифр на каждом индикаторе.

3. Проверка нулевых отсчетов.

Устанавливают переключатель 5 в положение «00000», переключатель 4 в положение «ТОЧНО», ручку «СИГНАЛ» вращают против часовой стрелки до ограничения;

включают приемопередатчик в режиме «СЧЕТ» и снимают по табло несколько отсчетов — отсчеты должны находиться в диапазоне 9980—0020;

устанавливают переключатель 4 в положение «ГРУБО» и снимают несколько отсчетов — отсчеты должны находиться в диапазоне 99950—00050;

проверяют эти отсчеты для режимов «ТОЧНО» и «ГРУБО» в крайнем по часовой стрелке положении ручки «СИГНАЛ».

4. Проверка схемы установки значения контрольного отсчета.

Надевают на объектив приемопередатчика блок контрольного отсчета;

устанавливают переключатель 5 в положение «ИЗМЕР», переключатель 4 в положение «ТОЧНО», ручку «СИГНАЛ» вращают против часовой стрелки до ограничения;

включают приемопередатчик в режиме «СЧЕТ»;

проверяют последовательность цикла счета:

а) сброс на нули предыдущего отсчета, выдержка 0,5 с;

б) счет в режиме «ДИСТАНЦИЯ», время счета 1—2 с, счет индицируется сменой цифр табло;

в) переключение в режим ОКЗ, выдержка 0,5 с; переключение сопровождается щелчком переключателя «дистанция—ОКЗ»;

г) счет в режиме ОКЗ, время счета 1—2 с, счет индицируется сменой цифр на табло. Окончание цикла счета сопровождается кратковременным звуковым сигналом и щелчком переключателя «дистанция — ОКЗ»;

д) индикация результата ($D_{\text{дист}} - D_{\text{ОКЗ}}$) в течение 4 с.

5. Проверка схемы блокировки счета.

Включают приемопередатчик в режиме «НАВЕДЕНИЕ» и наводят его на отражатель по максимуму отраженного сигнала;

устанавливают переключатель 5 в положение «ИЗМЕР», переключатель 4 в положение «ТОЧНО», ручку «СИГНАЛ» против

часовой стрелки до ограничения, переводят переключатель 3 в положение «СЧЕТ»;

снимают несколько отсчетов по табло, затем плавно уменьшают уровень сигнала, отводя приемопередатчик от отражателя до тех пор, пока не заблокируется счет в режиме «дистанция». Снимают показания стрелочного прибора: счет должен блокироваться, начиная с сигнала 12 ± 5 дел.;

переводят переключатель 4 в положение «ГРУБО» и определяют уровень сигнала, при котором блокируется счет в режиме «ГРУБО». Счет должен блокироваться начиная с сигнала 12 ± 5 дел.;

устанавливают отражатель, устанавливают ручку «СИГНАЛ» по ходу часовой стрелки до ограничения. Проверяют отсутствие счета в режимах «ТОЧНО» и «ГРУБО».

6. Проверка правильности показаний стрелочного прибора.

Устанавливают переключатель в положение «ВЫКЛ», переключатель 4 — в положение «АКК», подключают к приемопередатчику источник питания Б5-29 и устанавливают на его выходе напряжение, соответствующее показанию стрелочного прибора приемопередатчика 21 дел.;

измеряют напряжение источника питания Б5-29 комбинированным прибором Ц4313.

Результат проверки считается удовлетворительным при отклонении показания Ц4313 от отметки 7,0 В не более 0,5 В.

Подстройкой резистора «мкА» добиваются, чтобы показанию стрелочного прибора приемопередатчика 21 дел. соответствовало показание Ц4313 7,0 В.

7. Определение циклической погрешности $\Delta D_{ц}$.

На местности или в помещении размечают одиннадцать точек, расстояния до которых от приемопередатчика равны $D_{к} \approx (2+i) \pm \pm 0,1$ м, где $i=0, 1, 2, \dots, 9, 10$, и измеряют расстояния до этих точек рулеткой с погрешностью не более 2,5 мм;

последовательно устанавливая отражатель над каждой точкой, измеряют светодальномером расстояния до каждой из них;

вычисляют значения $\Delta D_{ц} = D_{к_{изм}} - D_{к_0}$ для каждой из точек, где $D_{к_0}$ — результат измерения рулеткой, $D_{к_{изм}}$ — результат измерения светодальномером.

Условие поверки считается выполненным, если разность максимального и минимального значений $\Delta D_{ц}$ не более 15 мм.

8. Определение нестабильности частоты задающего кварцевого генератора.

Подключают частотомер к гнездам «f», установив переключатель частотомера «ВРЕМЯ СЧЕТА» в положение 10^4 мС;

включают приемопередатчик в режиме «СЧЕТ»;

снимают не ранее чем через 1 мин десять отсчетов частоты и вычисляют их среднее значение

$$f_{cp} = \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{10}}{10},$$

где f_1, f_2, \dots, f_{10} — отсчеты по частотомеру в Гц и десятых долях Гц;

определяют отклонение частоты задающего кварцевого генератора от номинального значения частоты по формуле

$$\Delta f = 10f_{\text{ср}} - (f_{\text{ном}} + \Delta f_t),$$

где $f_{\text{ср}}$ — значение частоты, определенное с помощью частотомера; $f_{\text{ном}}$ — номинальное значение частоты задающего кварцевого генератора, равное 14 985 500 Гц; Δf_t — поправка за температурное изменение частоты задающего кварцевого генератора в Гц, определяемая по графику, приводимому в паспорте прибора.

Результат поверки считается удовлетворительным, если $\Delta f \leq 150$ Гц.

Подстраивают частоту задающего кварцевого генератора с таким расчетом, чтобы отклонение Δf не превышало 10 Гц.

9. Среднюю квадратическую погрешность измерения расстояния одним приемом определяют по результатам измерения контрольных базисов 2, 50, 200 и 500 м, длины которых определены со средней квадратической погрешностью не более 3 мм. Каждый базис измеряют не менее чем четырьмя приемами. В приеме делают четыре наведения на отражатель и снимают по три отсчета в режиме «ТОЧНО» при каждом наведении.

Среднюю квадратическую погрешность m_S измерения расстояния одним приемом вычисляют по формуле

$$m_S = \sqrt{\frac{\sum_1^K \sum_1^n \Delta_S^2}{K \cdot n}},$$

где $\Delta_S = D_{\text{изм}} - D_0$; $D_{\text{изм}}$ — результат измерения базиса одним приемом; D_0 — длина базиса; K — число базисов ($K=4$); n — число приемов измерения каждого базиса ($n \geq 4$).

Результат поверки считается удовлетворительным, если $m_S \leq 30$ мм.

Подготовку прибора к работе и измерения выполняют в следующем порядке:

1. В начальной и конечной точках измеряемой линии устанавливают дальномер и отражатель и приводят их в рабочее положение.

2. Проверяют значение контрольного отсчета. Для этого надевают на объектив приемопередатчика блок контрольного отсчета, устанавливают ручку «СИГНАЛ» в крайнее положение против часовой стрелки, переключатель 5 — в положение «ИЗМЕР», переключатель 4 — в положение «ТОЧНО». Включают приемопередатчик в режиме «СЧЕТ». Снимают на табло несколько отсчетов. Если они отличаются от паспортного значения более чем на 5 мм, то ручкой устанавливают контрольного отсчета устанавливают паспортное значение отсчета.

Таблица 26

Журнал измерения линии светодальномером СМ5

Пункт: 33 Линия: 33—45 Дата: 20.07.84 Наблюдатель: Смирнов Ю. Г.
 Погода: солнечная. Тип отражателя: трехпризменный.
 Уровень сигнала в делениях: 70 делений.
 Контроль питания: 98 делений. Давление: $P = 743$ мм рт. ст.
 Температура воздуха: $t + 16^{\circ}\text{C}$;
 $K_p = +0,50$; $K_f = +0,50$;
 $H_{\text{пр}} = 151,70$ м; $i_{\text{пр}} = 1,58$ м; $H_{\text{отр}} = 149,26$ м; $i_{\text{отр}} = 1,52$ м.
 Прибор и отражатель установлены: над центрами пунктов.

| Измерения «БКО» | | Измерения «ГРУБО», м | |
|-----------------|---------|----------------------|---------|
| № п/п | Отсчеты | № п/п | Отсчеты |
| 1 | 129 | 1 | 423,98 |
| 2 | 127 | 2 | 423,92 |
| 3 | 128 | Ср. $D_{\text{гр}}$ | 423,95 |

| Измерения «ТОЧНО», м | | | Вычисление горизонтального проложения | |
|----------------------|-------|---------------------------|---|-----------|
| Приемы | № п/п | Отсчеты | Обозначения | Результат |
| 1 | 1 | 3,948 | Окончательный результат $D_{\text{ок}}, \text{ м}$ | 423,942 |
| | 2 | 3,942 | | |
| | 3 | 3,944 | | |
| | Ср. | 3,944 | $D_{\text{изм}} = D_{\text{ок}} + D_{\text{ок}} \times 10^{-5} \times$ $\times (K_p + K_f), \text{ м}$ | 423,946 |
| 2 | 1 | 3,940 | Поправка $\delta_v = -\frac{h^2}{2 D_{\text{ок}}}, \text{ мм}$ | —8 |
| | 2 | 3,942 | | |
| | 3 | 3,944 | | |
| | Ср. | 3,942 | | |
| 3 | 1 | 3,938 | Поправка за центрировку и редукцию $\delta_{c, r}, \text{ мм}$ | 0 |
| | 2 | 3,942 | | |
| | 3 | 3,940 | | |
| | Ср. | 3,940 | Горизонтальное проложение $S = D_{\text{изм}} + \delta_v + \delta_{c, r}, \text{ м}$ | 423,938 |
| | | $D_{\text{точн}} = 3,942$ | | |

3. С помощью зрительной трубы наводят приемопередатчик на отражатель — изображение отражателя должно быть в центре окружностей сетки нитей.

4. Включают приемопередатчик в режиме наведения (переключатель в положении «НАВЕДЕНИЕ») и небольшими изменениями ориентирования в горизонтальной и вертикальной плоскостях добиваются получения отраженного сигнала, индуцируемого по отклонению стрелки прибора вправо по шкале.

5. Вращением наводящих винтов наводят приемопередатчик по максимуму отраженного сигнала.

6. Установив переключатель 4 в положение «ГРУБО», а переключатель 5 в положение «СЧЕТ», снимают по табло один-два отсчета в режиме «ГРУБО» после звукового сигнала.

7. Устанавливают переключатель 4 в положение «ТОЧНО» и после звукового сигнала снимают по табло три отсчета.

8. Еще трижды наводят приемопередатчик на отражатель по максимуму отраженного сигнала и после каждого наведения снимают по три отсчета в режиме «ТОЧНО».

9. Измеряют температуру и давление воздуха.

Результат измерения расстояния вычисляют по формуле

$$D_{\text{изм}} = D_{\text{ок}} + D_{\text{ок}} \cdot 10^{-5} \cdot (K_n + K_f),$$

где $D_{\text{ок}}$ — окончательный результат измерения в режимах «ГРУБО» и «ТОЧНО»; K_n — метеорологический коэффициент, определяемый по номограмме; K_f — поправочный коэффициент, обусловленный температурным изменением частоты кварцевого генератора (находят по графику, приводимому в паспорте светодальномера).

Полевой журнал измерений светодальномером СМ5 приведен в табл. 26.

Глава VIII

ПОСТРОЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ

§ 40. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Для производства топографических съемок, решения разнообразных народнохозяйственных задач строят геодезические сети, которые позволяют:

получить координаты и высоты пунктов в общей для них системе геодезических координат;

иметь практически одинаковую точность планов в различных местах региона съемки;

обеспечить контроль качества топографических съемок и других топографо-геодезических и разбивочных работ.

Различают плановые и высотные геодезические сети. В результате построения геодезических сетей определяют плоские прямоугольные (X, Y) координаты пунктов, а также их высоты (H) , которые в совокупности (X, Y, H) позволяют определить положение пункта сети в общей для них системе геодезических координат.

Общим принципом построения геодезической сети является переход от «общего к частному», т. е. вначале строят редкую сеть пунктов с высокой точностью измерения элементов сети, которую затем сгущают пунктами, полученными путем построения геодезических сетей более низкой точности.

Таблица 27

| Показатели | Классы триангуляции | | | | Классы полигонометрии | | | |
|--|---------------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|-------------|-------------|------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Длина сторон, км | 20 и более | 7—20 | 5—8 | 5—8 | 20—25 | 7—20 | 3—8 | 0,25—2 |
| Средняя квадратическая погрешность измерения угла, угл. с | 0,7 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 0,4 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| Относительная средняя квадратическая погрешность измерения базиса или выходящей стороны | 1 : 400 000 | 1 : 300 000 | 1 : 200 000 | 1 : 200 000 | — | — | — | — |
| Относительная средняя квадратическая погрешность измерения стороны полигонометрического хода | — | — | — | — | 1 : 400 000 | 1 : 200 000 | 1 : 100 000 | 1 : 40 000 |
| Допустимая невязка треугольника, угл. с | 3 | 4 | 6 | 8 | — | — | — | — |

П л а н о в ы е геодезические сети создают методами триангуляции, полигонометрии, трилатерации или их комбинацией, высотные сети — методами геометрического, тригонометрического нивелирования, а также путем фотограмметрического определения высот пунктов.

Применение метода создания геодезической сети должно обосновываться топографическими условиями местности, чтобы обеспечить наибольший экономический эффект при ее построении.

Геодезические сети подразделяют на: государственную геодезическую сеть; геодезические сети сгущения; съемочные геодезические сети.

Государственная плановая геодезическая сеть состоит из сетей 1, 2, 3 и 4 классов, обобщенные технические показатели которых представлены в табл. 27.

Государственную нивелирную сеть создают геометрическим нивелированием I, II, III и IV классов. Она служит высотной основой для топографических съемок всех масштабов, а также любых геодезических измерений. Нивелирные сети I и II классов обеспечивают единую систему высот на всей территории страны и служат основой для изучения физической поверхности Земли, определения разностей уровней морей и океанов и решению многих современных научных задач по изучению вертикальных движений земной коры и др.

Т а б л и ц а 28

| Показатели | Классы нивелирования | | | |
|---|----------------------|-------------|--------------|--------------|
| | I | II | III | IV |
| Периметр полигона, км | 3000—4000 | 500—600 | 150—200 | — |
| Нормальная длина визирного луча, м | 50 | 65—75 | 75—100 | 100—150 |
| Неравенство плеч, м: | | | | |
| на станции | 0,5 | 1 | 2 | 5 |
| в ходе | 1 | 2 | 5 | 10 |
| Высота визирного луча над поверхностью Земли, м | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,2 |
| Допустимые невязки превышений в полигонах и ходах, мм (L в км) | $3\sqrt{L}$ | $5\sqrt{L}$ | $10\sqrt{L}$ | $20\sqrt{L}$ |

Технические показатели нивелирной сети представлены в табл. 28. Геодезическую сеть сгущения 1 и 2 разрядов и съемочную геодезическую сеть создают для топографической съемки местности, а также разбивочных работ при переносе на местность проектов землеустройства, мелиорации, сельского строительства и др.

Технические показатели плановых геодезических сетей сгущения приведены в табл. 29.

Высотная геодезическая сеть сгущения создается методом технического нивелирования. Допустимую невязку в сумме превышений в полигоне или ходе рассчитывают по формуле $f_h^{\text{доп}} = \pm 50 \sqrt{L}$, мм, где L — количество километров в ходе. При топографической съемке с высотой сечения рельефа 0,5—1,0 м высотная геодезическая сеть сгущения используется как съемочная сеть. Общая плотность государственной плановой геодезической сети и геодезических сетей сгущения должна быть не менее: на застроенных территориях — 4 пункта на 1 км²; на незастроенных — 1 пункт на 1 км²; на вновь осваиваемых территориях и в труднодоступных районах плотность пунктов может быть меньше в 1,5 раза.

Плотность пунктов съемочных сетей определяют рекогносцировкой и устанавливают в зависимости от масштаба топографической съемки, топографических условий местности и других факторов.

§ 41. СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СГУЩЕНИЯ

Геодезические сети сгущения 1 и 2 разрядов создают в виде типовых фигур триангуляции, а именно: цепи треугольников (рис. 68, а) между двумя исходными базисами, геодезического че-

Таблица 29

| Показатели | Разряды | |
|---|--------------|--------------|
| | 1 | 2 |
| А. Триангуляция | | |
| Длина стороны треугольника, км | 0,5—5 | 0,25—3 |
| Относительная предельная погрешность: базисной стороны, не более | 1 : 25 000 | 1 : 10 000 |
| определяемой стороны сети в наиболее слабом месте не более | 1 : 10 000 | 1 : 5000 |
| Наименьшее значение угла треугольника, угл. градус | 20 | 20 |
| Допустимая угловая невязка в треугольнике, угл. с | 20 | 40 |
| Средняя квадратическая погрешность измеренного угла, угл. с | 5 | 10 |
| Предельная длина цепи треугольников, км | 5 | 3 |
| Б. Полигонометрия | | |
| Длина хода между исходной и узловой точками или только между узловыми точками, км | 3 | 2 |
| Периметр полигона, км; не более | 15 | 10 |
| Длина стороны хода, км | 0,12—0,80 | 0,08—0,35 |
| Число сторон в ходе не более | 15 | 15 |
| Относительная продольная невязка хода | 1 : 10 000 | 1 : 5 000 |
| Средняя квадратическая погрешность измерения угла, угл. с | 5 | 10 |
| Допустимая угловая невязка, угл. с (n — число углов в ходе) | $10\sqrt{n}$ | $20\sqrt{n}$ |

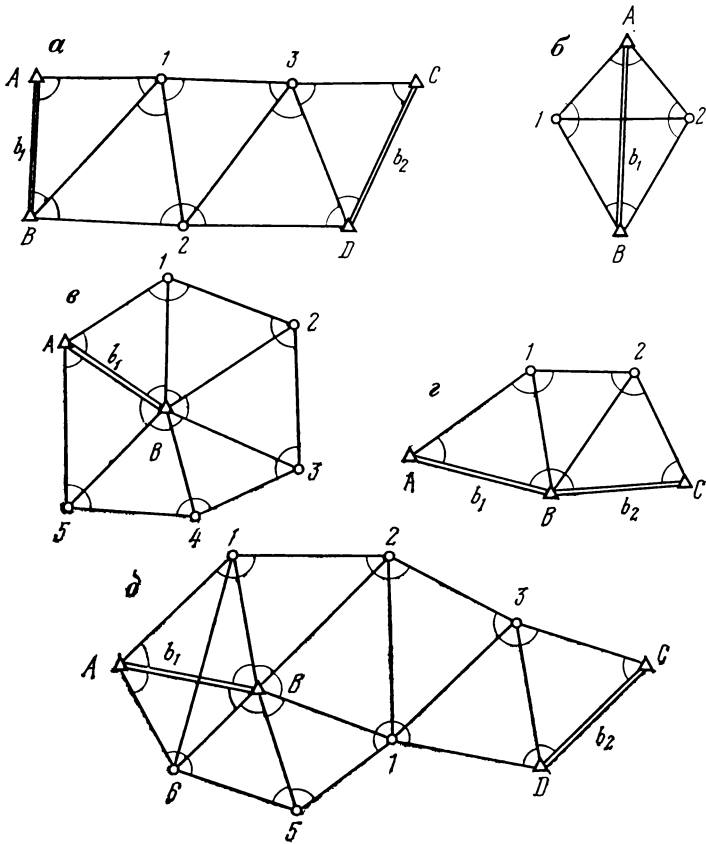


Рис. 68. Примерные схемы построения типовых фигур триангуляции 1 и 2 рядов:

а — цепь треугольников между двумя исходными базами; **б** — геодезический четырехугольник; **в** — центральная система; **г** — вставка в исходный угол; **д** — комбинация типовых фигур

тырехугольника (рис. 68, б), центральной системы (рис. 68, в), вставки в исходный угол (рис. 68, г) и др., а также их комбинацией (рис. 68, д), или путем проложения одиночного полигонометрического хода (рис. 69, а), системы полигонометрических ходов с одной (рис. 69, б) узловой точкой и более, создания сети полигонов (рис. 69, в).

Исходными пунктами для развития сетей сгущения служат пункты государственной геодезической сети 1—4 классов (на рисунках обозначены заглавными буквами латинского алфавита), а для сетей сгущения 2 разряда — пункты государственной геодезической сети и пункты триангуляции и полигонометрии 1 разряда. Каждый пункт триангуляции 1 и 2 разрядов должен определяться из треугольников, в которых измерены все углы.

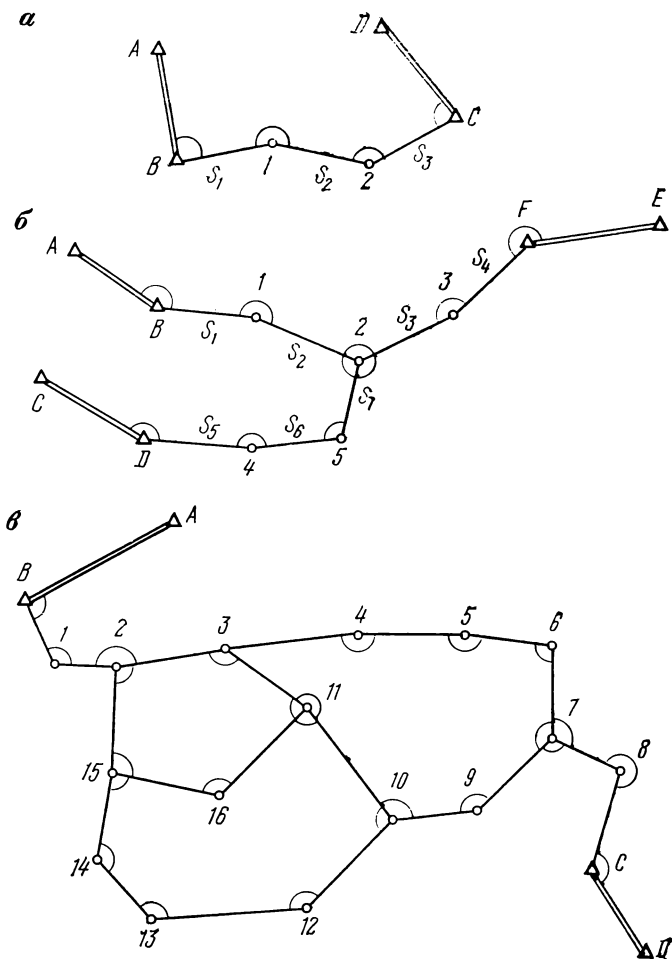
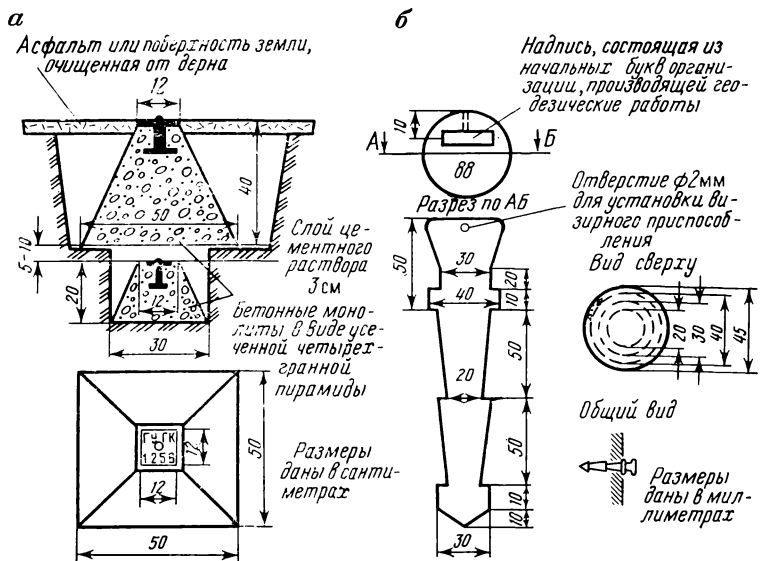


Рис. 69. Примерные схемы построения полигонометрических сетей 1 и 2 разрядов:
 а — одиночный полигонометрический ход; б — система ходов с одной узловой точкой;
 в — система полигонов

Выбор схемы построения геодезической сети сгущения зависит от топографических условий местности, ее назначения и практического использования пунктов на территории сельскохозяйственного предприятия.

Проект геодезических сетей сгущения разрабатывают на планах масштабов 1:10 000—1:25 000. Окончательное положение пунктов устанавливают детальной рекогносцировкой. Места установки пунктов триангуляции должны быть легко доступны, хорошо опознаваться на местности и обеспечивать долговременную со-



и 2 разрядов

Рис. 70. Центры пунктов триангуляции или полигонометрии 1 и 2 разрядов

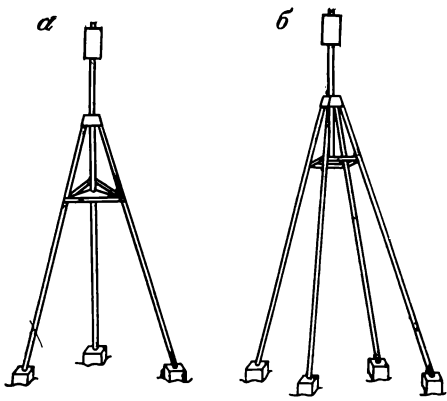


Рис. 71. Наружные знаки, устанавливаемые на пунктах триангуляции и полигонометрии 1

хранность центров и знаков. Пункты следует устанавливать на командных высотах, на непахотных землях.

При рекогносцировке ходов полигонометрии уточняют направления ходов и места установки знаков, чтобы обеспечить:

наиболее благоприятные условия для угловых и линейных измерений;

примерное равенство сторон хода;

долговременную сохранность полигонометрических знаков (нельзя устанавливать грунтовые знаки на пашне, болотах, оползнях и др.);

видимость между двумя смежными знаками и др.

Закрепление пунктов сетей сгущения 1 и 2 разрядов производят центрами, показанными на рис. 70, а (с сезонным промерза-

нием грунтов) и 70, б (для застроенных территорий). Наружные знаки представляют собой трехгранную (рис. 71, а) или четырехгранную (рис. 71, б) пирамиду из металлических труб или деревянных брусьев.

§ 42. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ НА ПУНКТАХ ТРИАНГУЛЯЦИИ 1 И 2 РАЗЯДОВ

На пунктах триангуляции 1 и 2 разрядов измерения горизонтальных направлений производят теодолитами Т5, 2Т5, 2Т5К способом круговых приемов, соответственно 4 и 3 приемами.

При измерении горизонтальных направлений теодолитом Т5 или равноточным ему полученные расхождения (колебания) не должны превышать допусков, указанных ниже:

| <i>Элементы наблюдений, к которым относятся допуски</i> | <i>Значение допускной</i> |
|--|---------------------------|
| Расхождения между результатами наблюдений направлений на начальный предмет в начале и конце полуприема, не более | 0,2' |
| Колебания в отдельных приемах направлении, приведенных к общему нулю, не более | 0,2' |

В триангуляционных сетях 1 и 2 разрядов можно производить наблюдения с земли (теодолитом со штатива) при условии прохождения визирного луча не ближе 1,5 м от земной поверхности. В этом случае центрирование теодолита производят оптическим центриром над центром пункта триангуляции с погрешностью, не превышающей 3 мм. При внецентренном положении прибора или при наличии редуций объектов визирования определяют элементы центрировок и редуций графически на центрировочном листе (рис. 72).

Для этого над центром знака устанавливают центрировочный столик (табурет) с приколотым к нему листом плотной бумаги (центрировочным листом). Определение ведут теодолитом Т30 или Т5 с трех станций таким образом, чтобы проектирующие вертикальные плоскости пересекались под углами, близкими к 120 или 60°.

Проектирование центра пункта *C*, вертикальной оси прибора *I* и визирной цели *V* производят при двух положениях вертикального круга (КП и КЛ) теодолита при расстояниях, несколько больших высоты знака или равных ей. Каждое направление отмечают двумя точками (при КП и КЛ) на краях центрировочного листа острием карандаша. Наметив между каждой парой среднюю точку, соединяют одноименные из них прямыми линиями. Если вместо точки в пересечении получится треугольник погрешностей, то искомая точка намечается в его середине, примерно в пересечении медиан. Стороны треугольника погрешностей не должны быть более 5 мм для проекций вертикальной оси прибора *I* и центра пункта *C*, а для визирной цели *V* — более 10 мм.

Измерив на центрировочном листе расстояния $l_{CI}=e$ и $l_{CV}=e_1$ с точностью до миллиметра, получают соответственно линейные

ТРИАНГУЛЯЦИЯ 1 РАЗРЯДА

ГРАФИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИВЕДЕНИЯ.

ЦЕНТРИРОВОЧНЫЙ ЛИСТ

на пункте Белое, пир 1 разряда, б/л^а
на чертеже 70°30'; 70°00'

3 августа 1979 г.
из наблюдений: 70°30'

Контрольный угол: *Быково—Белое—Сосновка*

Элементы центрировки:

- $e = 0,070$ м
- $\Theta = 150^{\circ}00'$ на пункт *Быково*
- $\Theta = 220^{\circ}30'$ на пункт *Сосновка*

Элементы редукции:

- $e_1 = 0,093$ м
- $\Theta_1 = 103^{\circ}00'$ для пункта *Быково*
- $\Theta_1 = 173^{\circ}00'$ для пункта *Сосновка*

Начальное направление на пункт *Быково*

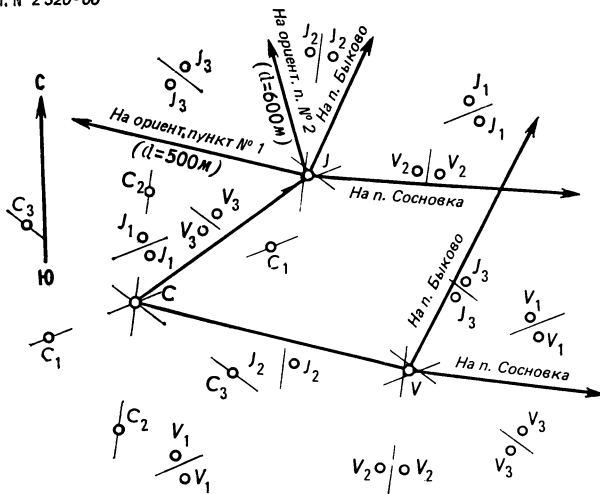
Направления на ориентирные пункты:

На чертеже:

- пункт *Быково* 0°00'
- пункт *Сосновка* 70°30'
- Ориент. п. № 1 260°00'
- Ориент. п. № 2 320°00'

Из наблюдений:

- 0°00'
- 70°30'
- 260°00'
- 320°30'



Определение производил: Петров

Проверил: Соколов

Рис. 72.

элементы центрировки и редукции. Их записывают в метрах непосредственно на центрировочном листе (см. рис. 72). Угловые элементы центрировки θ и редукции θ_1 строят при проекции вертикальной оси прибора I и визирной цели V . Из этих точек с помощью трехгранной линейки прочерчивают на центрировочном листе направления на два видимых пункта сети триангуляции. Углы θ и θ_1 измеряют транспортиром с округлением до долей градуса по ходу часовой стрелки от направления на проекцию центра пункта C до направлений, прочерченных на два других пункта. Для контроля определения угловых элементов θ и θ_1 находят транспортиром угол между этими направлениями, который не должен отличаться

от угла, полученного на пункте из наблюдений теодолитом, более чем на 2° при $l \leq 10$ см, на 1° при $10 \leq l < 20$ см и на $0,5^\circ$ при $l > 20$ см.

Таблица 30

Пункт — Белое

Дата 20.06.1982 г.

Погода: ясно, ветер слабый.

Видимость: хорошая

Время — 7 ч. 30 мин.

Изображение: спокойное

| Название направления | Круг | Отсчет по штрихам лимба | Отсчет по шкале | $\frac{Л + (\Pi \pm 180^\circ)}{2}$ | Значение направлений, приведенных к начальному |
|----------------------|------|-------------------------|-----------------|-------------------------------------|--|
| | | | | | |
| 1 прием | | | | | |
| Быково | КЛ | 0° | 02,8' | 0°03,00' | 0°00,00' |
| | КП | 180 | 03,2 | | |
| Сосновка | КЛ | 70 | 32,8 | +0,05 | 70 30,05 |
| | КП | 250 | 33,2 | 70 33,00 | |
| п. 1 | КЛ | 260 | 02,6 | +0,10 | 259 59,80 |
| | КП | 80 | 02,8 | 260 02,70 | |
| п. 2 | КЛ | 320 | 33,0 | +0,15 | 320 30,25 |
| | КП | 140 | 33,2 | 320 33,10 | |
| Быково | КЛ | 0 | 02,6 | +0,20 | |
| | КП | 180 | 03,0 | 002,80 | |

$$\Delta_{л} = -0,2'; \Delta_{п} = -0,2'; \Delta_{ср} = -0,2'$$

Измерение на пункте триангуляции горизонтальных направлений способом круговых приемов начинают при круге лево и производят следующим образом (рис. 73). Центрируют теодолит над центром пункта (Белое). Устанавливают на лимбе отсчет больше 0° на $2-5'$. Принимают за начальный хорошо видимый пункт (Быково) и, скрепив алидаду с кругом, наводят зрительную трубу на визирную цель этого пункта. Оставляя круг закрепленным, вращают алидаду по ходу часовой стрелки и визируют последовательно на визирные цели пунктов Сосновка, п. 1 и п. 2 и снова на пункт Быково, тем самым замыкая горизонт. При визировании на пункты делают отсчеты по горизонтальному кругу и записывают результаты наблюдений в журнал (табл. 30). Указанные действия составляют первый полуприем.

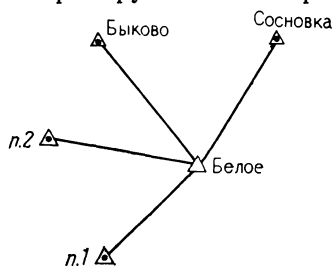


Рис. 73. Схема наблюдений на пункте Белое

Второй полуприем начинают с наведения на визирную цель начального пункта Быково, но при круге право (КП), предварительно переведя зрительную трубу через зенит при закрепленном круге. Вращением алидады против хода часовой стрелки наводят на ви-

зирные цели пунктов п. 2, п. 1, Сосновка и снова Быково. Запись результатов измерений в журнале во втором полуприеме ведут в обратном направлении, т. е. снизу вверх. Расхождения между соответствующими результатами наблюдений не должны превышать величин, приведенных на стр. 139.

Указанные действия составляют один (первый) прием. Число приемов, как отмечалось ранее, зависит от разряда триангуляции. Между приемами круг поворачивают на угол

$$\sigma^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{p},$$

где p — число приемов.

Таким образом, во втором приеме при $p=3$ отсчет по лимбу будет близок к 60° , а в третьем — к 120° .

В табл. 30 показаны значения направлений, приведенные к начальному, равному 0° . Они получены путем вычитания из всех измеренных средних отсчетов, т. е. $\frac{1}{2}[\text{Л} + (\text{П} \pm 180^{\circ})]$, первого среднего отсчета на начальный пункт, равного $0^{\circ}03,00'$. Одноименные направления, приведенные к общему нулю, не должны различаться более чем на $0,2'$.

Заметим, что в табл. 30 поправки в средние отсчеты из-за незамыкания горизонта рассчитаны по формуле

$$\delta_k = -\frac{\Delta_{\text{ср}}}{n} (k-1),$$

где $\Delta_{\text{ср}}$ — среднее значение незамыкания горизонта ($\Delta_{\text{ср}} = -0,2'$); n — число направлений в приеме; k — номер направления (при этом начальное направление принято за первое).

§ 43. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ ТРИАНГУЛЯЦИИ 1 И 2 РАЗЯДОВ

Предварительные вычисления

По исходным данным (табл. 31) и результатам полевых измерений (табл. 32) произвести предварительные вычисления триангуляции 2 разряда (рис. 74). По этим данным приведен пример решения задачи.

Порядок вычислений

Таблица 31

| Название пункта | Координаты $X, Y, м$ | Горизонтальное проложение $S, м$ | Дирекционный угол α | На пункт |
|-----------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------|----------|
| 1 | +4098,30 0,00 | 1854,01 | 64°01'16" | 2 |

1. Составляют схему измеренных направлений сети триангуляции (см. рис. 74), на которую выписывают из табл. 32 измеренные направления.

2. На схеме показывают исходную сторону пункт 1 — пункт 2, нумеруют треугольники римскими цифрами, обозначают промежуточные стороны и углы.

Таблица 32

| Название пунктов | Элементы приведения | Название направлений | Измеренные направления |
|------------------|--|----------------------|------------------------|
| 1 | $e = 0; e_1 = 0,030$ м; $\theta = 0^{\circ}00'$; $\theta_1 = 232^{\circ}00'$ на 3 | 1—3 | $0^{\circ}00'00''$ |
| | | 1—2 | 81 10 17 |
| | | 1—5 | 109 53 48 |
| 2 | $e = 0,030$ м; $e_1 = 0,035$ м; $\theta = 175^{\circ}00'$ на 4; $\theta_1 = 30^{\circ}00'$ на 4 | 2—4 | 0 00 00 |
| | | 2—5 | 89 27 38 |
| | | 2—1 | 205 53 02 |
| | | 2—3 | 265 16 56 |
| 3 | $e = 0; e_1 = 0,035$ м; $\theta = 0^{\circ}30'$ на 4 $\theta_1 = 231^{\circ}00'$ на 4 | 3—4 | 0 00 00 |
| | | 3—2 | 30 33 34 |
| | | 3—1 | 69 59 13 |
| 4 | $e = 0,025$ м; $e_1 = 0$; $\theta = 125^{\circ}00'$ на 5; $\theta_1 = 0^{\circ}15'$ на 5 | 4—5 | 0 00 00 |
| | | 4—2 | 41 11 30 |
| | | 4—3 | 95 54 38 |
| 5 | $e = 0,015$ м; $e_1 = 0,060$ м; $\theta = 205^{\circ}00'$ на 2; $\theta_1 = 285^{\circ}00'$ на 2 | 5—2 | 0 00 00 |
| | | 5—4 | 49 20 53 |
| | | 5—1 | 325 08 58 |

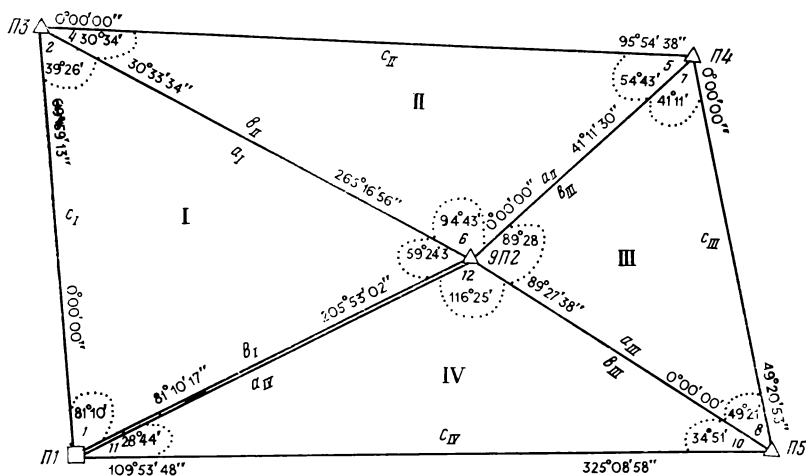


Рис. 74. Схема измеренных направлений триангуляции 2 разряда

3. По данным табл. 32 на схему (см. рис. 74) выписывают измеренные направления и по ним вычисляют измеренные углы с ок-

руглением до 1'. По каждому треугольнику находят сумму углов, которая не должна отличаться от 180° более чем на 1'.

4. В ведомости (табл. 33) по теореме синусов вычисляют стороны треугольников, т. е.

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = q.$$

Приняв сторону b за исходную, находят другие стороны по формулам

$$c = q \sin C,$$

$$a = q \sin A.$$

Вычисление сторон треугольников начинается от исходной стороны триангуляции. Величина q записывается над вычисляемыми сторонами треугольника. Длины сторон записывают с округлением до 10 м. Контролем решения треугольников является сходимость длины исходной стороны b_1 с ее вычисленным значением $a_{IV} = b_{1\text{выч}}$ (см. рис. 74). Расхождение (для данной сети) не должно быть более 20 м (для примера в табл. 33 эта разность получилась равной нулю).

5. Вычисляют поправки за центрировку и редукцию соответственно по формулам [8, с. 527—530]

Таблица 33

| № треугольников | Название пунктов | № углов | Углы | Синусы углов | Длина сторон, м |
|-----------------|------------------|---------|--------|--------------|-----------------|
| I | 3 | 2 | 39°26' | 0,635 | $q = 2910$ |
| | 2 | 3 | 59 24 | 0,861 | 1850 |
| | 1 | 1 | 81 10 | 0,988 | 2510 |
| | | | 180 00 | | 2880 |
| II | 4 | 5 | 54 43 | 0,816 | $q = 3530$ |
| | 6 | 6 | 94 43 | 0,997 | 2880 |
| | 3 | 4 | 30 34 | 0,509 | 3520 |
| | | | 180 00 | | 1800 |
| III | 5 | 8 | 49 21 | 0,759 | $q = 2370$ |
| | 2 | 9 | 89 28 | 1,000 | 1800 |
| | 4 | 7 | 41 11 | 0,658 | 2370 |
| | | | 180 00 | | 1560 |
| IV | 1 | 11 | 28 44 | 0,481 | $q = 3240$ |
| | 2 | 12 | 116 25 | 0,896 | 1560 |
| | 5 | 10 | 34 51 | 0,571 | 2900 |
| | | | 180 00 | | 1850 |
| | | | 180 00 | | |

$$c'' = \frac{e \sin(M + \theta)}{S} \rho''; \quad r'' = \frac{e_1 \sin(M_1 + \theta_1)}{S} \rho'',$$

где M — измеренное направление; $\rho'' = 206'' \cdot 10^3$.

Обозначив через $K = e\rho''$ и $K_1 = e_1\rho''$, эти формулы представляют в виде

$$c'' = \frac{K}{S} \sin(M + \theta),$$

$$r'' = \frac{K_1}{S} \sin(M_1 + \theta_1).$$

Пример вычисления поправок за центрировку и редукцию на пункте 5 представлен в табл. 34. Необходимые для вычислений стороны выписывают из табл. 33.

6. Измеренные направления (см. табл. 32) приводят к центрам пунктов. Поправка за центрировку в измеренные на пункте направления берут из вычислений на данном пункте, а поправки за редукцию — из вычислений на наблюдаемых с него пунктах. Например, поправки за центрировку на пункте 5 при наблюдениях соответственно на пункты 2, 4, 1 будут равны: $-0,8''$, $-1,3''$ и $+0,2''$. Поправки за редукцию по данным табл. 34 составят при наблюдениях с пункта 2 на пункт 5 $r_{2,5} = -7,7''$; с пункта 4 на пункт 5 $r_{4,5} = -2,2''$ и т. д.

Таблица 34

| Название пункта 5 | | | |
|------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| | $e = 0,015$ м | $e_1 = 0,060$ м | |
| | $\theta = 205^\circ 00'$ на п. 2 | $\theta_1 = 285^\circ 00'$ на п. 2 | |
| | $K = e\rho'' = 3094$ | $K_1 = e_1\rho'' = 12\,376$ | |
| Обозначения | На пункт | | |
| | 2 | 4 | 1 |
| $M + \theta_1$ | $285^\circ 00'$ | $334^\circ 20'$ | $250^\circ 09'$ |
| θ_1 | 285 00 | 285 00 | 285 00 |
| M | 0 00 | 49 20 | 325 09 |
| θ | 205 00 | 205 00 | 205 00 |
| $M + \theta$ | 205 00 | 254 20 | 170 09 |
| r'' | $-7,7''$ | $-2,2''$ | $-00''$ |
| $\text{Sin}(M_1 + \theta_1)$ | $-0,966$ | $-0,433$ | $-4,941$ |
| $K_1; S$ | 7,93 | 5,20 | 4,25 |
| $S, \text{ м}$ | 1560 | 2380 | 2910 |
| $K; S$ | 1,98 | 1,30 | 1,06 |
| $\text{Sin}(M + \theta)$ | $-0,423$ | $-0,962$ | $+0,171$ |
| c'' | $-0,8''$ | $-1,3''$ | $+0,2''$ |

Таблица 35

| Название направлений | Измеренные направления | c'' | r'' | $(c+r)''$ | $(c+r)''_0$ | Направления, приведенные к центрам пунктов |
|----------------------|------------------------|-------|-------|-----------|-------------|--|
| 1—3 | 0°00'00" | — | —2,4 | —2,4 | 0 | 0°00'00" |
| 1—2 | 81 10 17 | — | —3,2 | —3,2 | —0,8 | 81 10 16 |
| 1—5 | 109 53 48 | — | —4,0 | —4,0 | —1,6 | 109 53 46 |
| 2—4 | 0 00 00 | +0,3 | — | +0,3 | 0 | 0 00 00 |
| 2—5 | 89 27 38 | —3,9 | —7,7 | —11,6 | —11,9 | 89 27 26 |
| 2—1 | 205 53 02 | +1,2 | —2,4 | —1,2 | —1,5 | 205 53 00 |
| 2—3 | 265 16 56 | +2,1 | —2,5 | —0,4 | —0,7 | 265 16 55 |
| 3—4 | 0 00 00 | — | — | — | 0 | 0 00 00 |
| 3—2 | 30 33 34 | — | —2,3 | —2,3 | —2,3 | 30 33 32 |
| 3—1 | 69 59 13 | — | —1,9 | —1,9 | —1,9 | 69 59 11 |
| 4—5 | 0 00 00 | +1,8 | —2,2 | —0,4 | 0 | 0 00 00 |
| 4—2 | 41 11 30 | +0,7 | +2,0 | +2,7 | +3,1 | 41 11 33 |
| 4—3 | 95 54 38 | —1,0 | —1,6 | —2,6 | —2,2 | 95 54 36 |
| 5—2 | 0 00 00 | —0,8 | +4,1 | +3,3 | 0 | 0 00 00 |
| 5—4 | 49 20 53 | —1,3 | — | —1,3 | —4,6 | 49 20 48 |
| 5—1 | 325 08 58 | +0,2 | —0,6 | —0,4 | —3,7 | 325 08 54 |

Поправки за центрировку и редукцию выписывают в табл. 35. Там же вычисляют направления, приведенные к центрам пунктов, с округлением до 1".

7. По данным табл. 35 составляют схему направлений, приведенных к центрам пунктов (рис. 75), на которую выписывают приведенные направления, и по ним вычисляют горизонтальные углы, приведенные к центрам пунктов. Невязка в сумме углов треугольника не должна превышать 40" (см. табл. 29).

8. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность измерения угла по невязкам W в треугольниках по формуле

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[W^2]}{3N}},$$

где N — число треугольников.

Для данной сети триангуляции

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{769}{12}} = 8,0''.$$

Окончательные вычисления

Основными задачами окончательных вычислений являются уравнивание геодезической сети и получение неизвестных координат всех ее пунктов.

Порядок вычислений

1. В ведомость уравнивания (табл. 36) со схемы триангуляции (см. рис. 75) выписывают измеренные углы, приведенные к центрам пунктов.

Таблица 36

| № треуголь- ников | № углов | Измеренные углы i | Поправки первичные | | | Первично- исправленные углы i' | Поправка вторичные (i'') | Уравненные углы i''' | Сняусы углов i'''' | Стороны $S, м$ |
|-------------------------|------------|-------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|--|------------------------------------|------------------------------|----------------------------|--|
| | | | i (i') | II (i'') | (i) (i') | | | | | |
| I | 2 | 39°25'39" | +3" | +2" | +5" | 39°25'44" | +3" | 39°25'47" | 0,635132 | $q = 2919,09$ 1854,01 5212,55 2884,50 |
| | 3 | 59 23 55 | +4 | -3 | +1 | 59 23 56 | - | 59 23 56 | 0,860732 | |
| | 1 | 81 10 16 | +3 | +1 | +4 | 81 10 20 | -3 | 81 10 17 | 0,988152 | |
| | | 179 59 50 $W_I = -10''$ | +10 | 0 | +10 | 180 00 00 | 0 | 180 00 00 | | |
| II | 5 | 54°43'03" | +6 | +2 | +8 | 54 43 11 | +6 | 54 43 17 | 0,816354 | $q = 3533,39$ 2884,50 3521,41 1796,49 |
| | 6 | 94 43 05 | +7 | -3 | +4 | 94 43 09 | - | 94 43 09 | 0,996610 | |
| | 4 | 30 33 32 | +7 | +1 | +8 | 30 33 40 | -6 | 30 33 34 | 0,508432 | |
| | | 179 59 40 $W_{II} = -20''$ | +20 | 0 | +20 | 180 00 00 | 0 | 180 00 00 | | |
| III | 8 | 49°20'48" | +4 | +2 | +6 | 49 20 54 | +5 | 49 20 59 | 0,758700 | $q = 2367,85$ 1796,49 2367,74 1559,44 |
| | 9 | 89 27 26 | +5 | -3 | +2 | 89 27 28 | - | 89 27 28 | 0,999955 | |
| | 7 | 41 11 33 | +4 | +1 | +5 | 41 11 38 | -5 | 41 11 33 | 0,658591 | |
| | | 179 59 47 $W_{III} = -13$ | +13 | 0 | +13 | 180 00 00 | 0 | 180 00 00 | | |
| IV | 11 | 28°43'30" | -3 | +2 | -1 | 28 43 29 | +8 | 28 43 37 | 0,480636 | $q = 3244,53$ 1559,44 2905,55 1853,97 |
| | 12 | 116 25 34 | -3 | -4 | -7 | 116 25 27 | - | 116 25 27 | 0,895524 | |
| | 10 | 34 51 06 | -4 | +2 | -2 | 34 51 04 | -8 | 34 50 56 | 0,571414 | |
| | | 180 00 10 $W_{IV} = +10$ | -10 | 0 | -10 | 180 00 00 | 0 | 180 00 00 | | |

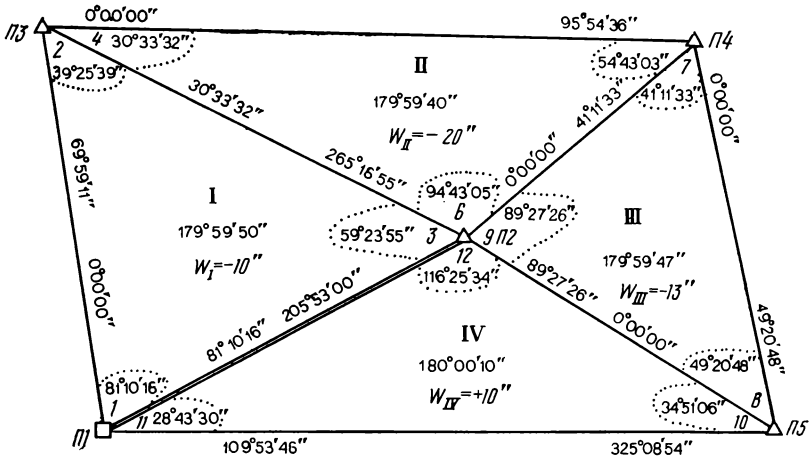


Рис. 75. Схема направлений, приведенных к центрам пунктов

2. Вычисляют первые поправки $(i)^1$ за условие фигур по формуле

$$(i)_k^1 = -\frac{1}{3} W_k,$$

где k — номер треугольника.

Поправки округляют до целых секунд так, чтобы их сумма была равна невязке с противоположным знаком. Результаты вычислений записывают в табл. 36.

3. Вычисляют предварительно исправленные углы при центральном пункте 2, для чего находят невязку W_Γ за условие горизонта (табл. 37).

Таблица 37

| № углов | Измеренные углы i | Первичные поправки i^1 | Исправленные углы $i' = i + (i)^1$ | Вторичные поправки за условие горизонта |
|---------|---------------------|--------------------------|--|---|
| 3 | 59°23'55" | +4" | 59°23'59" | -3" |
| 6 | 94 43 05 | +7 | 94 43 12 | -3 |
| 9 | 89 27 26 | +5 | 89 27 31 | -3 |
| 12 | 116 25 34 | -3 | 116 25 31 | -4 |
| | | | 360°00'13" | -13" |
| | | | $W_\Gamma = +13''$ | |
| | | | $W_\Gamma^{\text{доп}} = \pm 25'' \sqrt{n} = \pm 50''$ | |

Таблица 38

| № углов | Первично исправленные углы A_k | Сниусы углов A_k | $q_{A_k} = \text{ctg } A_k$ | № углов | Первично исправленные углы B_k | Сниусы углов B_k | $q_{B_k} = \text{ctg } B_k$ | $q_{A_k} + q_{B_k}$ | Вторичные поправки $(A_k)'' = -(B_k)''$ |
|---------|----------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------|----------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|---|
| 1 | 81° 10' 20" | 0,988154 | +0,16 | 2 | 39° 25' 44" | 0,635120 | +1,22 | +1,38 | -3,3" |
| 4 | 30 33 40 | 0,508457 | +1,69 | 5 | 54 43 11 | 0,816336 | +0,71 | +2,40 | -5,7 |
| 7 | 41 11 38 | 0,658609 | +1,14 | 8 | 49 20 54 | 0,758684 | +0,86 | +2,00 | -4,7 |
| 10 | 34 51 04 | 0,571446 | +1,44 | 11 | 28 43 29 | 0,480602 | +0,82 | +3,26 | -7,7 |

$$\Pi_1 = 0,189096$$

$$\Pi_2 = 0,189048$$

$$W'_\Pi = \left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2} - 1 \right) \rho'' = +52,6'';$$

$$\Sigma (q_{A_k} + q_{B_k})^2 = 22,29;$$

$$\Sigma (q_{A_k}^2 + q_{B_k}^2) = 12,3.$$

$$W_{\Pi}^{\text{доп}} \pm 2,5m_{\beta} \sqrt{\Sigma (q_{A_k}^2 + q_{B_k}^2)} = \pm 25'' \sqrt{12,3} = \pm 88'';$$

$$K = - \frac{W'_\Pi}{\Sigma (q_{A_k} + q_{B_k})^2} = \frac{+52,6''}{22,3} = -2,36''; \quad (A_k)'' = -(B_k)'' = K (q_{A_k} + q_{B_k}).$$

Контроль:

$$\Sigma (q_{A_k} + q_{B_k}) (A_k)'' = -W_\Pi = -52,8'' \approx -(+52,6'').$$

Таблица 39

| № действий | | Пункты | | | | | | | | | | |
|---------------|---|--------------|------------|------------|------------|------------|-----------|---|---|---|---|---|
| | | Исходные | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| | | Определяемые | | | | | | | | | | |
| 1 | Обозначения | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 |
| 1 | $\alpha_{иск}$ | 64°01'16" | 244°01'16" | 123°25'12" | 272°51'38" | 356°56'48" | 92°44'53" | | | | | |
| 5 | угол $\left(\frac{\beta}{\lambda}\right)$ | — | +59 23 56 | -30 33 34 | -95 54 50 | -84 11 55 | -28 43 37 | | | | | |
| 6 | α | 64 01 16 | 303 25 12 | 92 51 38 | 176 56 48 | 272 44 53 | 64 01 16 | | | | | |
| 11 | X, м | +4910,43 | +6499,13 | +6323,39 | +3959,01 | +4098,31 | | | | | | |
| 2 | $X_{иск}$ | +4098,30 | +4910,43 | +6499,13 | +6323,39 | +3959,01 | | | | | | |
| 10 | ΔX | +812,13 | +1588,70 | -175,74 | -2364,38 | +139,30 | | | | | | |
| 7 | $\cos \alpha$ | +0,438040 | +0,550772 | -0,049905 | -0,998580 | +0,047944 | | | | | | |
| 4 | S, м | 1854,01 | 2884,50 | 3521,41 | 2367,74 | 2905,55 | | | | | | |
| 8 | $\sin \alpha$ | +0,898956 | -0,834656 | +0,998754 | +0,053266 | -0,998850 | | | | | | |
| 9 | ΔY | +1666,67 | -2407,57 | +3517,02 | +126,12 | -2902,21 | | | | | | |
| 3 | $Y_{иск}$ | 0,00 | +1666,67 | -740,90 | +2776,12 | +2902,24 | | | | | | |
| 12 | $Y, м$ | +1666,67 | -740,90 | +2776,12 | +2902,24 | +0,03 | | | | | | |

4. Вычисляют вторые поправки в каждый из связующих углов треугольника в размере половины поправки за условие горизонта в центральный угол с противоположным знаком. Например, для второго треугольника вторые поправки в углы 5 и 4 будут равны:

$$(5)^{II} = ((4)^{II}) = -\frac{1}{2}(6)^{II} = +1,5''$$

и т. д.

5. Находят первичную поправку по формуле

$$(i)' = (i)^I + (i)^{II}$$

6. Вторичные поправки в связующие углы находят по первично исправленным углам i' (A_k и B_k). Вычисления производят по формулам, помещенным в соответствующих местах схемы решения задачи (табл. 38). Знаками Π_1 и Π_2 обозначены произведения синусов углов, помещенных в соответствующих столбцах табл. 38, т. е. $\Pi_1 = 0,988154 \times 0,508457 \times \dots \times 0,571446 = 0,189096$ и др. Отметим, что, если угол (A_k или B_k) будет больше 90° , то знак q_{A_k} или q_{B_k} будет отрицательным.

Вторичные поправки выписывают в табл. 36 и вычисляют уравненные углы i'' . Контроль вычислений: сумма уравненных углов в треугольнике должна быть равна 180° .

7. По уравненным углам с учетом значения исходной стороны по теореме синусов вычисляют стороны треугольников. Контроль решения: вычисленное значение исходной стороны $b_{1_{\text{выч}}}$ не должно отличаться от заданного более 5 см.

8. Вычисляют координаты пунктов центральной системы, решая прямую геодезическую задачу. В табл. 39 выписывают исходный дирекционный угол $\alpha_{1-2} = 64^\circ 01' 16''$ и исходные координаты пункта 1, т. е. $X_1 = +4098,30$ м и $Y = 0$ м. Наметив ходовую линию 1—2—3—4—5—1, вычисляют по данным табл. 36 соответствующие уравненные углы и обычным путем находят координаты пунктов

Таблица 40

| Название пункта | Координаты | | Длина стороны S, м | Дирекционные углы, α | На пункт |
|-----------------|------------|----------|--------------------|-----------------------------|----------|
| | K, м | Y, м | | | |
| 1 | +4098,30 | 0,00 | 1854,01 | 64°01'16" | 2 |
| | | | 2905,55 | 92 44 53 | 5 |
| | | | 5212,55 | 342 50 59 | 3 |
| 3 | +6499,13 | -740,90 | 3521,41 | 92 51 38 | 4 |
| | | | 2884,50 | 123 25 12 | 2 |
| | | | 5212,55 | 162 50 59 | 1 |
| 4 | +6323,39 | +2776,12 | 2367,84 | 176 56 48 | 5 |
| | | | 1796,49 | 218 08 21 | 2 |
| | | | 3521,41 | 272 51 38 | 3 |

Примечание: система координат — условная.

геодезической сети. Контроль вычисления координат пунктов: координаты исходного пункта 1, полученные в результате решения задачи, не должны отличаться от заданных более чем на 5 см.

9. Составляют каталог координат пунктов (табл. 40)*, куда выписывают координаты пунктов центральной системы, дирекционные углы направлений на один-два смежных пункта и расстояния до них и другие сведения.

10. Составляют отчетную схему триангуляции 2 разряда в масштабе 1 : 25 000. Ее оформление показано на рис. 76.

Уравнивание геодезического четырехугольника (окончательные вычисления)

В качестве дополнительного примера рассмотрим методику уравнивания (окончательные вычисления) геодезического четырехугольника 2 разряда (рис. 77), в котором 1 и 2 являются исходными пунктами, а 3 и 4 — определяемыми. Исходные данные в мест-

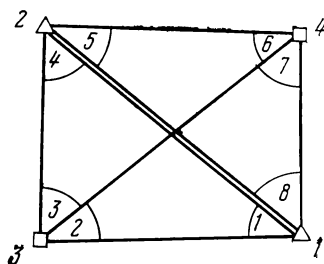
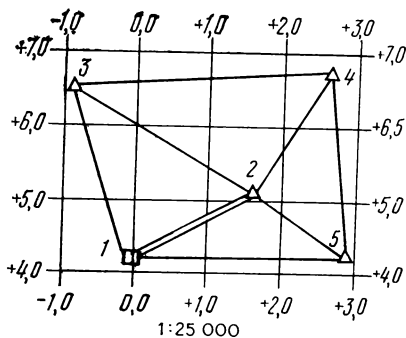


Рис. 76. Отчетная схема триангуляции 2 разряда

Рис. 77. Схема геодезического четырехугольника

ной системе координат для решения задачи представлены в табл. 41.

Таблица 41

| Название пункта | Координаты X, м Y, м | Горизонтальное проложение S, м | Дирекционный угол α | На пункт |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------|----------------------------|----------|
| 1 | 7248,61 70286,23 | 2210,30 | 313°18'43" | 2 |
| 2 | 8764,81 68677,95 | 2210,30 | 133 18 43 | 1 |

* В табл. 40 показан сокращенный вариант.

Таблица 42

| № углов | Измеренные углы | Поправки | | | Секунды исправленных углов i' | Поправки $(i)''$ | Уравненные углы i'' |
|---------------|-----------------|----------|------------|---------------------------|---|------------------|-----------------------|
| | | $(i)^I$ | $(i)^{II}$ | $(i)' = (i)^I + (i)^{II}$ | | | |
| 1 | 30°04'55" | -4" | +2" | -2 | 53" | +1" | 30°04'54" |
| 2 | 63 09 58 | -4 | +2 | -2 | 56 | -1 | 63 09 55 |
| 3 | 62 51 12 | -4 | -2 | -6 | 06 | +1 | 62 51 07 |
| 4 | 23 54 11 | -4 | -2 | -6 | 05 | -1 | 23 54 04 |
| $W_1 = +16''$ | 180 00 16 | -16 | 0 | -16 | 00 | 0 | 180 00 00 |
| 5 | 30 01 32 | +3 | -2 | +1 | 33 | +1 | 30 01 34 |
| 6 | 63 13 15 | +3 | -2 | +1 | 16 | -1 | 63 13 15 |
| 7 | 54 09 11 | +3 | +2 | +5 | 16 | +1 | 53 09 17 |
| 8 | 33 35 50 | +3 | +2 | +5 | 55 | -1 | 33 35 54 |
| $W_2 = -12''$ | 179 59 48 | +12 | 0 | +12 | 00 | 0 | 180 00 00 |
| 1 | 30 04 55 | -4 | +2 | -2 | $(1)^I = (2)^I = (3)^I = (4)^I = -\frac{W_1}{4} = -4''$; | | |
| 2 | 63 09 58 | -4 | +2 | -2 | $(5)^I = (6)^I = (7)^I = (8)^I = -\frac{W_2}{4} = +3''$; | | |
| 7 | 53 09 11 | +3 | +2 | +5 | $W'_3 = W_3 + (1)^I + (2)^I + (7)^I + (8)^I = -6'' - 2'' = -8''$; | | |
| 8 | 33 35 50 | +3 | +2 | +5 | $(1)^{II} = (2)^{II} = (7)^{II} = (8)^{II} = -\frac{W_3}{4} = +2''$; | | |
| $W_3 = -6''$ | 179°59'54" | -2" | +8" | +6" | $(3)^{II} = (4)^{II} = (5)^{II} = (6)^{II} = \frac{W'_3}{4} = -2''$; | | |

$$W_4 = W_1 + W_2 - W_3 = +10''$$

Ниже, в таблицах 42, 43, 44, приводятся результаты уравнивания геодезического четырехугольника. Необходимые для вычисления формулы приведены в соответствующих местах схем решения задачи. Их смысл соответствует данным, подробное описание которых приведено в § 43.

В табл. 42 выписаны измеренные углы i , приведенные к центрам пунктов. Допустимая невязка в сумме углов рассчитывается по формуле

$$W_{\beta}^{\text{доп}} = \pm 2,5m_{\beta} \sqrt{n},$$

где n — число углов.

Для геодезической сети 2 разряда $m_{\beta} = 10''$, поэтому допустимая невязка для сумм четырех углов (см. табл. 42) будет равна $W_{\beta} = \pm 50$. Таким образом, получившиеся невязки допустимы.

В табл. 43 приведено вычисление вторичных поправок в углы,

| № углов | Первично исправленные углы A_k | Сinus углов A_k | $q_{A_k} = \operatorname{ctg} A_k$ | № углов | Первично исправленные углы B_k | Сinus углов $\sin B_k$ | $q_{B_k} = \operatorname{ctg} B_k$ | $q_A + q_B$ | Вторичные поправки $(A_k)'' = - (B_k)''$ |
|---------|----------------------------------|-------------------|------------------------------------|---------|----------------------------------|------------------------|------------------------------------|-------------|--|
| 1 | 30°04'53" | 0,501230 | +1,73 | 2 | 63°09'56" | 0,892315 | +0,51 | +2,24 | +0,8" |
| 3 | 62 51 06 | 0,889828 | +0,51 | 4 | 23 54 05 | 0,405163 | +2,26 | +2,77 | +1,0 |
| 5 | 30 01 33 | 0,500390 | +1,73 | 6 | 63 13 16 | 0,892752 | +0,50 | +2,23 | +0,8 |
| 7 | 53 09 16 | 0,800254 | +0,75 | 8 | 33 35 55 | 0,553371 | +1,51 | +2,26 | +0,8 |

$$\Pi_1 = 0,178599$$

$$\Pi_2 = 0,178606$$

$$\Sigma (q_{A_k} + q_{B_k})^2 = 22,87; \quad \Sigma (q_{A_k}^2 + q_{B_k}^2) = 14,7.$$

$$W_{\Pi} = \left(\frac{\Pi_1}{\Pi_2} - 1 \right) \rho'' = -39,2 \cdot 10^{-6} \cdot 206'' \cdot 10^8 = -8,0''; \quad K_{\Pi} = -\frac{W_{\Pi}}{\Sigma (q_{A_k} + q_{B_k})^2} = -\frac{-8,0''}{22,9} = +0,35'';$$

$$W_{\Pi}^{\text{доп}} = \pm 2,5 m_{\beta} \sqrt{\Sigma (q_{A_k}^2 + q_{B_k}^2)} = \pm 25'' \sqrt{14,7} = \pm 96'' (1'36''); \quad (A_k)'' = - (B_k)'' = (q_{A_k} + q_{B_k}) K_{\Pi},$$

Контроль: $\Sigma (q_{A_k} + q_{B_k}) \cdot (A_k)'' = -W_{\Pi} = +8,2'' \approx -(-8,0'')$.

а в табл. 44 — окончательных сторон геодезического четырехугольника.

Вычисление координат определяемых пунктов приведено в табл. 45.

Таблица 44

| № углов | Уравненные углы i'' | Синусы углов i'' | Стороны, м |
|---------------|------------------------------------|----------------------------------|---|
| 4 2+3 1 | 23°54'04" 126 01 02 30 04 54 | 0,405159 0,808841 0,501234 | $q=2732,676$ 1107,17 2210,30 1369,71 |
| | 180 00 00 | | $q=1534,259$ |
| 6 3 4+5 | 63 13 15 62 51 07 53 55 38 | 0,892750 0,889830 0,808270 | 1369,71 1365,23 1240,10 |
| | 180 00 00 | | $q=1383,528$ |
| 1+8 2 7 | 63 40 48 63 09 55 53 09 17 | 0,896332 0,892312 0,800258 | 1240,10 1234,54 1107,18 |
| | 180 00 00 | | |

Таблица 45

| Обозначения | Пункты | | | |
|--|--------------|------------|------------|------------|
| | Исходные | | | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| | Определяемые | | | |
| | 3 | 3 | 4 | 4 |
| $\alpha_{исх}$ | 313°18'43" | 133°18'43" | 313°18'43" | 133°18'43" |
| Угол $\left(\begin{smallmatrix} \beta- \\ \lambda+ \end{smallmatrix}\right)$ | -30 04 54 | +23 54 04 | +33 35 54 | -30 01 34 |
| α | 283 13 49 | 157 12 47 | 346 54 37 | 103 17 09 |
| X, м | +7502,00 | +7502,00 | +8451,07 | +8451,07 |
| X _{исх} | +7248,61 | +8764,81 | +7248,61 | +8764,81 |
| ΔX | +253,39 | -1262,81 | +1202,47 | -313,74 |
| cos α | +0,228866 | -0,921951 | +0,974017 | -0,229808 |
| S, м | 1107,17 | 1369,71 | 1234,54 | 1365,23 |
| sin α | -0,973458 | +0,387307 | -0,226477 | +0,973236 |
| ΔY | -1077,78 | +530,50 | -279,59 | +1328,69 |
| Y _{исх} | +70 286,23 | +68 677,95 | +70 286,23 | +68 677,95 |
| Y, м | +69 208,45 | +69 208,45 | +70 006,64 | +70 006,64 |

Средние: $X_3=+7502,00$ м
 $Y_3=+69 208,45$ м

$X_4=+8451,07$ м
 $Y_4=+70 006,64$ м

§ 44. ВЫСОТНАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЕТЬ СГУЩЕНИЯ

Высотная геодезическая сеть сгущения строится путем проложения ходов технического нивелирования по пунктам съёмочного обоснования (геодезических сетей сгущения и съёмочных сетей).

Нивелирование производится по способу из середины, расстояния от прибора до реек не должно превышать 150 м при благоприятных условиях наблюдений. Неравенство плеч на станции допускается до 10 м, расстояние от прибора до реек измеряют шагами или нитяным дальномером. Работают обычно с двусторонними нивелирными рейками.

После установки прибора в рабочее положение наблюдение на станции производят в следующем порядке:

- отсчет по черной стороне задней рейки (1),
- отсчет по черной стороне передней рейки (2),
- отсчет по красной стороне передней рейки (3),
- отсчет по красной стороне задней рейки (4).

Отсчеты, неравенство высот нулей реек, а также превышения записывают в журнал (табл. 46).

Вычисляют неравенство высот нулей реек (5) и (6), а затем превышения (7) и (8). Среднее превышение в камеральных условиях записывают чернилами.

Таблица 46

Журнал технического нивелирования
Дата 20. VII. 1984 г.

Погода: ясно

| № станции | № точек | Отсчет по рейке | | Превышение, мм | Среднее превышение, мм |
|------------------------------|---|-----------------|-----------------|----------------|------------------------|
| | расстояние в метрах | задняя | передняя | | |
| <i>Ход пункт 1 — пункт 3</i> | | | | | |
| 1 | пункт 1—2 130 | 0840 (1) | 0885 (2) | —45 (7) | —42 |
| | | <u>5625 (4)</u> | <u>5665 (3)</u> | —40 (8) | |
| | | 4785 (5) | 4780 (6) | | |
| 2 | 2—X 100 | 1780 | 2760 | —980 | —981 |
| | | <u>6567</u> | <u>7549</u> | —982 | |
| | | 4787 | 4789 | | |
| Контроль- ные вычисления | $\Sigma_3 = 21\ 558 (9), \Sigma h = -2545 (13), \Sigma h_{\text{ср}} = -1272 (15).$ | | | | |
| | $\Sigma_{\text{п}} = 24\ 103 (10), \frac{\Sigma h}{2} = -1272 (14),$ | | | | |
| | $\Sigma_3 - \Sigma_{\text{п}} = -2545 (11),$ | | | | |
| | $\frac{\Sigma_3 - \Sigma_{\text{п}}}{2} = -1272 (12).$ | | | | |

Таблица 47

| № пункта | Измеренное превышение, мм | Число штативов | Поправки, мм | Исправленное превышение, мм | Высота, м |
|--------------------------------|---------------------------|----------------|--------------|-----------------------------|----------------|
| 3 | | | | | <u>108,054</u> |
| 4 | -1885 | 4 | +3 | -1882 | 106,172 |
| 5 | -1880 | 4 | +3 | -1877 | 104,295 |
| 6 | +1254 | 6 | +5 | +1259 | 105,554 |
| 7 | +4002 | 8 | +6 | +4008 | <u>109,562</u> |
| $\Sigma h_{\text{пв}} = +1491$ | | 22 | +17 | +1508 | |

$$\Sigma h_{\text{теор}} = +1508, f_h = -17 \text{ мм}, f_k^{\text{доп}} = \pm 10 \sqrt{22} = \pm 47 \text{ мм}.$$

Для контроля определения превышений на станции сравнивают их значения, полученные по черным и красным сторонам реек. Расхождение допускается не более 5 мм.

При работе с односторонними нивелирными рейками превышение на станции определяют при двух горизонтах прибора.

Камеральная обработка результатов измерений

1. Проводится постраничный контроль. Складывают задние (Σ_z) (9) и передние (Σ_n) (10) отсчеты, записанные в журнале на каждой странице. Далее производят действия (11), (12), (13), (14) и (15). Контролем служит равенство чисел (12), (14) и (15) в пределах ошибок округлений при вычислениях.

2. Составляется схема высотного съемочного обоснования, где показывают: средние превышения со своим знаком и направление (стрелкой), к которому они относятся; длину сторон между точками съемочного обоснования (в км) и число станций при нивелировании каждой линии; невязки в каждом полигоне и их допустимую величину, которую вычисляют по формуле

$$f_h^{\text{доп}} = \pm 50 \sqrt{L} \text{ мм}$$

или

$$f_h^{\text{доп}} = \pm 10 \sqrt{n} \text{ мм}^*,$$

где L — число километров в ходе или полигоне; n — число станций в ходе или полигоне.

3. Производят уравнивание нивелирных ходов или полигонов. Уравнивание одиночного нивелирного хода показано в табл. 47. Поправки в превышении распределены пропорционально числу штативов; в условиях равнинной местности они могут быть распределены пропорционально расстояниям между пунктами.

* При числе станций $n \geq 25$ на 1 км хода.

§ 45. ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ СЪЕМОЧНАЯ СЕТЬ

Геодезическая съемочная сеть, или короче, съемочная сеть создается для производства топографической съемки.

Плановая съемочная сеть строится в виде теодолитных ходов или заменяющей их микротриангуляции, прямых, обратных геодезических засечек. Высотная съемочная сеть, как отмечалось в § 44, может создаваться техническим нивелированием (обычно при топографических съемках с высотой сечения рельефа 0,5 и 1,0 м).

Высоты пунктов съемочной сети можно определить также тригонометрическим нивелированием или фотограмметрическим методом при топографических съемках с высотой сечения рельефа 2,0 м и более. Для условий сельской местности можно сочетать теодолитные ходы в застроенной части населенного пункта с микротриангуляцией на территориях, занятых посевами сельскохозяйственных культур.

Теодолитные ходы могут быть одиночными и прокладываться между исходными пунктами *B* и *C* (см. рис. 69, *a*), образовывать систему с одной узловой точкой (см. рис. 69, *б*) или систему теодолитных полигонов (см. рис. 69, *в*). Микротриангуляция строится обычно на открытой или полузакрытой территории в виде типовых фигур, т. е. центральной системы, геодезического четырехугольника и др. (см. рис. 68). Некоторые технические характеристики теодолитных ходов приведены в табл. 48.

Таблица 48

| № п/п | Наименование норм | Масштабы съемок | | | |
|-------|---|-------------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| | | 1:5000 | 1:2000 | 1:1000 | 1:500 |
| 1 | Максимальная длина теодолитных ходов между пунктами триангуляции или полигонометрии или между узловыми пунктами теодолитных ходов, служащих самостоятельной опорой: | | | | |
| | а) на застроенной территории, км | 4,0 | 2,0 | 1,2 | 0,8 |
| 2 | б) на незастроенной территории, км | 6,0 | 3,0 | 1,8 | 1,2 |
| | Минимальное число пунктов съемочного обоснования на 1 км ² : | | | | |
| 3 | а) на незастроенной территории | 4 | 12 | 16 | — |
| | б) на застроенной территории | Определяется рекогносцировкой | | | |
| 3 | Максимальная длина всячих теодолитных ходов, км (числитель), количество точек поворота (знаменатель): | | | | |
| | а) для застроенной территории | — | $\frac{0,2}{3}$ | $\frac{0,15}{3}$ | $\frac{0,10}{3}$ |
| | б) для незастроенной территории | $\frac{0,5}{3}$ | $\frac{0,3}{2}$ | $\frac{0,15}{1}$ | $\frac{0,15}{1}$ |

Относительная невязка теодолитного хода не должна превышать $1/2000$. Абсолютную невязку f_S теодолитного хода не следует допускать более $f_S = 0,4 \cdot M \cdot 10^{-3}$ на застроенной территории и $f_S = 0,6 \cdot M \cdot 10^{-3}$ на незастроенной территории (M — знаменатель численного масштаба съемки).

В теодолитных ходах длиной до 250 м при съемках в масштабах 1:5000—1:2000 и до 150 м — при съемках в масштабах 1:1000—1:500 критерием точности хода служит не относительная, а абсолютная невязка теодолитного хода, которая не должна превышать: 0,25 м при съемках в масштабах 1:5000 и 1:2000; 0,15 и 0,1 м соответственно при съемках в масштабах 1:1000 и 1:500.

При проложении теодолитных ходов в застроенной части сельского населенного пункта для съемок в масштабах 1:500—1:5000 следует одновременно определять координаты углов капитальных зданий, кварталов, болтов высоковольтных линий и пр., которые могут использоваться как пункты постоянной съемочной сети.

При проектировании микротриангуляции нужно иметь в виду, что количество треугольников между базами зависит от масштаба съемки и не должно превышать при съемках в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 соответственно 20, 17, 15 и 10.

Углы треугольников должны быть не менее 30° и не более 120°, а стороны не короче 150 м. Длина цепи треугольников не должна превышать данных, приведенных в табл. 48 (п. 1).

При составлении проекта съемочной сети, рекогносцировки местности с целью определения мест установки ее пунктов нужно руководствоваться следующим.

1. Между пунктами съемочной сети должны быть обеспечены взаимная видимость и благоприятные условия для измерения линий.

2. В застроенной части ходы должны прокладываться так, чтобы обеспечить благоприятные условия для съемки зданий и сооружений.

3. Местоположение пунктов съемочной сети должно обеспечивать удобную установку геодезических приборов при построении съемочного обоснования и съемочных работах.

4. Пункты съемочной сети нужно намечать на непахотных землях в таких местах, которые обеспечивают их сохранность.

5. На застроенной территории пункты съемочной сети следует намечать так, чтобы их местоположение в случае утраты можно было восстановить по линейным размерам от опорных контуров местности (углов зданий, сооружений и пр.). При рекогносцировке местности и закреплении пунктов нужно сделать необходимые измерения рулеткой и соответствующие зарисовки (абрис).

6. В проект съемочной сети рекомендуется также включать ориентирные местные предметы: трубы, колокольни, силосные башни и пр., а также центры крышек колодцев подземных сетей, цоколи существующих капитальных зданий и сооружений.

7. При проложении теодолитных ходов в застроенной территории следует предусматривать установку и определение створных точек. Длина линий (сторон) теодолитного хода не должна быть менее 20 м на застроенной территории и 40 м — на незастроенной.

Пункты съемочной сети закрепляют на местности знаками временной сохранности — деревянными столбами, металлическими трубами, а чаще — деревянными кольями, металлическими шты-

рями и др. Пункты съёмочных сетей нумеруют. Номер пишется на самих знаках или на специально установленных сторожках.

§ 46. ТЕХНИКА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИИ В ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДАХ И МИКРОТРИАНГУЛЯЦИИ

Горизонтальные углы в теодолитных ходах измеряют оптическим теодолитом Т30 (2Т30) одним полным приемом с перестановкой лимба между полуприемами на небольшую величину, равную $1-2^\circ$. Расхождение между двумя значениями угла, полученными из двух полуприемов, не должно превышать $2,0'$.

При измерении углов особое внимание следует обращать на вертикальность установки вех. При коротких линиях и там, где это возможно, наблюдать следует на шпильки, которые отвесно втыкают в торцы кольев, закрепляющих пункты съёмочного обоснования, или устанавливают сзади него. Центрировать теодолит над пунктом следует с погрешностью, не превышающей 5 мм. При наблюдении на веху перекрестие сетки надо наводить как можно ближе к ее основанию.

Горизонтальные углы могут быть правыми (β) и левыми (λ) по направлению теодолитного хода. Правый горизонтальный угол β вычисляют как разность

$$\beta = З - П,$$

где З и П — соответственно отсчеты по лимбу при визировании на вехи, установленные на заднем и переднем пункте теодолитного хода.

При вычислении угла λ используют формулу $\lambda = П - З$. Запись отсчетов и вычисление измеряемого угла производят в журнале (табл. 49).

В сетях микротриангуляции измеряют горизонтальные направления круговыми приемами. Центрируют теодолит особенно тщательно над центром пункта, редукции при установке визирных целей допускать не следует. Если в качестве визирных целей используют вехи, то обращают внимание на их вертикальность.

Измерение горизонтальных направлений теодолитом Т5 (2Т5, 2Т5К) производят одним приемом, а теодолитом Т30 (2Т30) — двумя.

При измерении горизонтальных направлений в первом полуприеме алидаду вращают по ходу часовой стрелки, а во втором — только против хода часовой стрелки. Между первым и вторым полуприемами зрительную трубу прибора переводят через зенит. При переходе от одного приема к другому лимб переставляют на величину $\sigma^\circ = 180^\circ : p$, где p — число приемов.

Измерение направлений в первом приеме начинают с отсчета, близкого к 0° . Незамыкание горизонта Δ в приеме допускают не более $0,2'$ и $1,0'$ соответственно при работе с теодолитами Т5 и Т30.

Колебание направлений, приведенных к начальному, в разных приемах не должны превышать $0,2'$ и $1,0'$ соответственно при работе с теодолитами Т5 и Т30.

Журнал измерения горизонтальных направлений круговыми приемами приведен в табл. 30.

Допустимая невязка в сумме измеренных углов треугольника равна $f_{\beta_{\text{доп}}} = \pm 1,5'$.

Измерение длин линий в теодолитных ходах производится стальными прокомпарированными лентами или 50-метровыми рулетками в прямом и обратном направлении (двумя лентами в прямом направлении), а также светодалномером, например СМ 5.

Относительное расхождение двойных измерений линий лентой или рулеткой не должно превышать 1/2000 в благоприятных условиях и 1/1000—1/1500 — в менее благоприятных.

При измерении лентой (рулеткой) коротких сторон расхождение двойных измерений не следует допускать более 0,03 м.

Поправка за компарирование ленты вводится в том случае, если она превышает 2 мм.

Поправка за наклон линии к горизонту δS_v учитывается, если угол наклона ν более $1,5^\circ$. Поправка вычисляется по формуле

$$\delta S_v = -2D \sin^2 \frac{\nu}{2},$$

где D — измеренное лентой (рулеткой) расстояние; ν — угол наклона местности.

Таблица 49

Журнал измерений теодолитного хода

Теодолит: Т30 № 0715
 Дата: 15 июля 1932 г.
 Лента стальная 20-метровая
 $l=20,000 \text{ м} \pm 1 \text{ мм}$

Погода: облачная
 Видимость: хорошая

| Номера пунктов или их названия | | Отчеты по лимбу | | Углы | | | | Длина линий, м |
|--------------------------------|------------------|-----------------|-----|----------------|-----|---------------|-----|----------------|
| станции | визирования | градус | мин | из полуприемов | | средние | | |
| | | | | градус | мин | градус | мин | |
| 5 | Первый полуприем | | | | | | | 4—5 |
| | 4 | 14 | 26 | 42 | 38 | 42 | 37 | 128,42 |
| | 6 | 331 | 48 | | | | | 128,40 |
| | Ср. 128,41 | | | | | | | |
| | Второй полуприем | | | | | | | |
| | 4 | 193 | 33 | 42 | 36 | (правый угол) | | 5—6 |
| | 6 | 150 | 57 | | | | | 218,25 |
| | Ср. 218,22 | | | | | | | |
| 218,20 | | | | | | | | |

Результаты измерений линий в прямом и обратном направлении записывают в журнале (см. табл. 49).

Недоступные для непосредственного измерения стороны определяют косвенным путем из решения двух треугольников, в каждом из которых измеряют базис мерной лентой в прямом и обратном направлениях и все углы.

Базисы в сетях микротриангуляции измеряют стальной компарированной штриховой лентой по кольям в прямом и обратном направлениях или двумя лентами в прямом направлении при постоянном натяжении, которое фиксируется динамометром*. Натяжение лент (проволок) должно быть таким же, как при компарировании мерных приборов.

Для базиса выбирается ровное, удобное для измерений место с твердым грунтом. Измеряют базис по кольям, которые устанавливают в створе измеряемой линии при помощи теодолита с интервалом, равным длине ленты. Колья забивают так, чтобы они возвышались над поверхностью земли на 2—3 см, причем толщина кола на верхнем срезе не должна быть менее 5 см.

Натяжение ленты производят баграми, а динамометр располагают у переднего конца ленты. Фиксацию концов ленты выполняют ножами, а также с помощью булавок, втыкаемых в торцы колея, или карандашом.

Температуру ленты измеряют термометром в металлической оправе, скрепленной с лентой.

Для приведения длины базиса к горизонту определяют техническим нивелированием в одном направлении превышения h кон-

Таблица 50

Вычисление длины базиса пункт 1 — пункт 2

Рабочее уравнение стальной ленты:

$$l = 20,000 \text{ м} + 0,5 \text{ мм} + 0,24(t - 20^\circ) \text{ мм}$$

| Направление хода | n | nl_0 , м | $n\Delta l$, мм | $\Sigma(t - 20^\circ)$ | $0,24 \times \Sigma(t - 20^\circ)$, мм |
|------------------|-----|------------|------------------|------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Прямо | 16 | 320,00 | +8 | +60° | +14 |
| Обратно | 16 | 320,00 | +8 | +30 | +7 |

| Направление хода | $-\Sigma \frac{h^2}{2l_0}$ | r , м | $\frac{h_r^2}{2r}$, мм | S , м | $\frac{S_1 - S_2}{S_1}$ |
|------------------|----------------------------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|
| 1 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Прямо | -100 | 4,429 | — | 324,351 | $\frac{1}{13000}$ |
| Обратно | -100 | 4,411 | — | 324,326 | |

* Можно использовать светодальномеры 2СМ-2.

цов пролетов с применением двусторонних нивелирных реек. (Иногда измеряют теодолитом углы наклона отрезков базиса с однообразным скатом). Остаток измеряют стальной прокомпарированной рулеткой.

Горизонтальное проложение базиса вычисляют по формуле

$$S = n(l_0 + \Delta l) + \alpha l_0 \Sigma(t - t_0) - \Sigma \frac{h^2}{2l_0} - \frac{h_r^2}{2r} + r,$$

где n — число отложений ленты (число полных пролетов); l_0 — номинальная длина ленты; Δl — поправка за компарирование; t и t_0 — соответственно температура ленты в моменты измерения и компарирования; h и h_r — соответственно превышение концов ленты и остатка; $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$; r — остаток.

Относительное расхождение двух измерений базиса не должно превышать 1 : 5000 его длины.

Вычисление длины базиса показано в табл. 50.

Окончательная длина базиса 324,34 м.

§ 47. УРАВНИВАНИЕ ОДИНОЧНОГО ТЕОДОЛИТНОГО ХОДА

Уравнивание теодолитного хода начинают с проверки вычислений в полевых журналах. Неверные результаты зачеркивают одной чертой и сверху пишут правильные. В журнале производят вычисления горизонтальных проложений при углах наклона отрезков более $1,5^\circ$.

Вычисление координат пунктов теодолитного хода производят в специальной ведомости (табл. 51).

После проверки журналов составляют схему теодолитного хода, куда выписывают средние значения всех измеренных углов, а против середины стороны теодолитного хода — ее горизонтальное проложение (рис. 78).

На схеме указывают угловую невязку хода f_β и допустимое ее значение, равное

$$f_\beta^{\text{доп}} = \pm 1' \sqrt{n},$$

где n — число углов в ходе.

Угловая невязка рассчитывается по формуле

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

где $\Sigma \beta_{\text{пр}}$ — сумма измеренных углов; $\Sigma \beta_{\text{т}}$ — теоретическое значение суммы этих углов.

Для вычисления теоретической суммы углов $\Sigma \beta_{\text{т}}$ применяют следующие формулы.

Для замкнутого теодолитного хода

$$\Sigma \beta_{\text{т}} = 180^\circ (n - 2).$$

Для разомкнутого теодолитного хода, опирающегося на два исходных пункта,

Таблица 51

| № пун- тов | Углы | | | Горизон- тальные продолже- ния | Приращения координат, м | | | | | | Координаты, м | | | | | |
|----------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------|---|-------------------------|-------------------------------------|---|------------|-----------------|-------------|---------------|-------------|---|---------|----|-------------|
| | Измеряе- мые Гори- зонтальные | исправлен- ные | Дирекцион- ные | | вычисленные | | | уровненные | | | ± | X | ± | Y | | |
| | | | | | ± | ΔX | ± | ΔY | ± | $\Delta X'$ | | | | | ± | $\Delta Y'$ |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | ± | ΔX | ± | ΔY | ± | $\Delta X'$ | ± | $\Delta Y'$ | ± | X | ± | Y |
| A | (левые) | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | $8^{\circ}41',8''$ | $8^{\circ}42',0''$ | $330^{\circ}55,5'$ | 126,35 | -- | 118,44 | + | 43,99 | - ⁺² | 118,48 | + | 44,01 | | 5246,90 | -- | 5873,48 |
| 1 | $137^{\circ}04,0'$ | $137^{\circ}04,3'$ | $159^{\circ}37,5'$ | 111,15 | -- | 49,94 | + | 99,30 | - ⁺² | 49,97 | + | 99,32 | | 5128,42 | -- | 5829,47 |
| 2 | $79^{\circ}00,8'$ | $79^{\circ}01,0'$ | $116^{\circ}41,8'$ | 168,93 | + | 162,62 | + | 43,75 | - ⁺³ | 162,57 | + | 45,78 | | 5078,45 | -- | 5730,15 |
| 3 | $279^{\circ}24,0'$ | $279^{\circ}24,2'$ | $15^{\circ}42,8'$ | 225,80 | -- | 95,84 | + | 204,45 | - ⁺⁵ | 95,91 | + | 204,50 | | 5241,02 | -- | 5684,37 |
| 4 | $70^{\circ}49,1'$ | $70^{\circ}49,3'$ | $115^{\circ}07,0'$ | 212,50 | + | 211,36 | + | 21,99 | - ⁺⁴ | 211,30 | + | 22,03 | | 5145,11 | -- | 5479,87 |
| C | $256^{\circ}59,7'$ | $257^{\circ}00,0'$ | $5^{\circ}56,3'$ | 844,73 | + | 109,76 | + | 415,48 | - ⁺⁶ | 109,51 | + | 415,64 | | 5356,41 | -- | 5457,84 |
| D | $831^{\circ}59,4'$ | $832^{\circ}00,8'$ | $82^{\circ}56,3'$ | $\Sigma \Delta X_{\text{т}}$ | + | $109,51 \Sigma \Delta Y_{\text{т}}$ | + | 415,64 | | | | | | | | |
| $\Sigma \beta_{\text{пр}}$ | | | | $f_x =$ | + | 0,25 | | $f_y =$ | | | | | | | | |
| $\Sigma \beta_{\text{т}}$ | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f_{β} | -1,4 | | | | | | | | | | | | | | | |
| $f_{\beta}^{\text{доп}}$ | $\pm 2,4$ | | | | | | | | | | | | | | | |

 $f_{\text{абс}}=0,30$ $f_{\text{отн}}=1:2800$

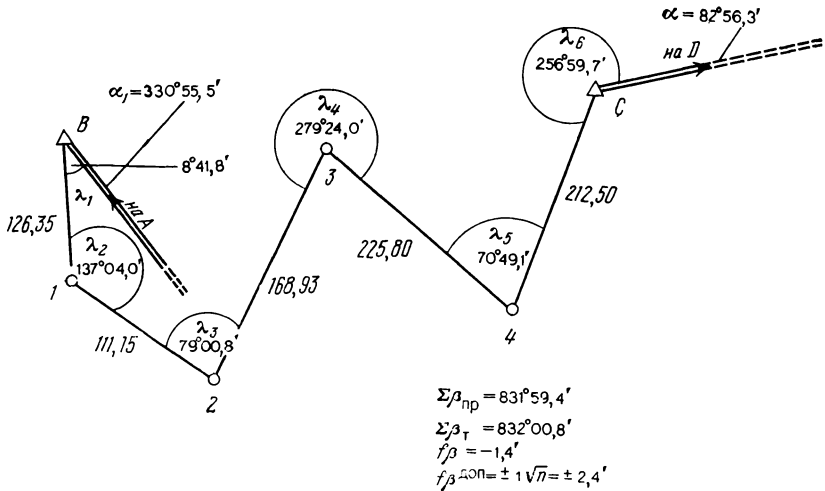


Рис. 78. Схема теодолитного хода

$$\Sigma \lambda_{\text{т}} = \alpha_{\text{к}} - \alpha_{\text{н}} + 180^\circ \cdot n \text{ (для левых углов),}$$

$$\Sigma \beta_{\text{т}} = \alpha_{\text{н}} - \alpha_{\text{к}} + 180^\circ \cdot n \text{ (для правых углов),}$$

где n — число измеренных углов; $\alpha_{\text{н}}$ — дирекционный угол начальной исходной стороны (на рис. 78 $\alpha_{\text{н}} = \alpha_{AB} = \alpha_1$); $\alpha_{\text{к}}$ — дирекционный угол конечной исходной стороны (на рис. 78 $\alpha_{\text{к}} = \alpha_{CD} = \alpha_2$).

Измеренные углы выписывают в ведомость координат (см. табл. 51) пунктов теодолитного хода. Допустимую угловую невязку распределяют поровну на каждый угол в пределах ошибок округлений. Поправки выписывают над каждым из измеренных углов. Сумма всех поправок в углы должна равняться невязке с обратным знаком, а сумма исправленных углов (λ' или β') — ее теоретическому значению.

Вычисляют дирекционные углы сторон теодолитного хода по формулам

$$\alpha_{B-1} = \alpha_{A-B} + \lambda'_1 - 180^\circ,$$

$$\alpha_{1-2} = \alpha_{B-1} + \lambda'_2 - 180^\circ,$$

$$\alpha_{C-D} = \alpha_{4-C} + \lambda'_6 - 180^\circ.$$

Если бы при вычислениях использовались углы вправо по ходу лежащие (β_i), то формула для вычисления дирекционных углов имела следующий вид:

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i - \beta'_i + 180^\circ,$$

т. е. дирекционный угол последующей линии равен дирекционному углу предыдущей линии плюс 180° , минус правый исправленный угол между этими линиями. Вычисленные дирекционные углы записывают в графу 4 табл. 51.

Приращения координат вычисляют по формулам

$$\Delta X = S \cos \alpha;$$

$$\Delta Y = S \sin \alpha.$$

Вычисленные приращения складывают и получают их практические суммы:

$$\Sigma \Delta X_{\text{пр}} \text{ и } \Sigma \Delta Y_{\text{пр}}.$$

Теоретическое значение этих сумм равно:
для замкнутого теодолитного полигона

$$\Sigma \Delta X_{\text{т}} = 0,$$

$$\Sigma \Delta Y_{\text{т}} = 0;$$

для разомкнутого теодолитного хода, опирающегося на два исходных пункта,

$$\Sigma \Delta X_{\text{т}} = X_{\text{к}} - X_{\text{н}},$$

$$\Sigma \Delta Y_{\text{т}} = Y_{\text{к}} - Y_{\text{н}},$$

где $X_{\text{к}}$ и $X_{\text{н}}$ — соответственно абсциссы конечного и начального исходных пунктов хода (на рис. 78 $X_{\text{к}} = X_{\text{С}}$; $X_{\text{н}} = X_{\text{В}}$); $Y_{\text{к}}$ и $Y_{\text{н}}$ — соответственно ординаты исходных конечного и начального пунктов хода (на рис. 78 $Y_{\text{к}} = Y_{\text{С}}$; $Y_{\text{н}} = Y_{\text{В}}$).

Невязки в приращениях координат находят по формулам

$$f_X = \Sigma \Delta X_{\text{пр}} - \Sigma \Delta X_{\text{т}},$$

$$f_Y = \Sigma \Delta Y_{\text{пр}} - \Sigma \Delta Y_{\text{т}}$$

и показывают их в графах 6 и 7 табл. 51.

Для оценки качества измерений в теодолитном ходе вычисляют абсолютную невязку в периметре

$$f_{\text{абс}} = \sqrt{f_X^2 + f_Y^2},$$

которая считается допустимой, если она не превышает $1/2000$ длины хода ΣS , т. е.

$$f_{\text{абс}} \leq \frac{\Sigma S}{2000}$$

или относительная невязка

$$\frac{f_{\text{абс}}}{\Sigma S} \leq \frac{1}{2000}.$$

Если невязка $f_{\text{абс}}$ оказалась допустимой, то невязки по осям координат распределяют с обратным знаком на соответствующие приращения координат пропорционально горизонтальным проложениям линий. Поправки записывают в графах 6 и 7 табл. 51 и делают контроль вычислений:

сумма поправок в приращения по каждой оси должна равняться невязке с обратным знаком;

сумма уравненных приращений координат ($\Delta X'$, $\Delta Y'$) по каждой оси должна равняться теоретической сумме приращений (графы 8 и 9 табл. 51).

После уравнивания приращений координат вычисляют координаты всех точек теодолитного хода по формулам

$$X_{i+1} = X_i + \Delta X'_i,$$

$$Y_{i+1} = Y_i + \Delta Y'_i.$$

Их помещают в графах 10 и 11 табл. 51.

При вычислении координат должны получить координаты конечного исходного пункта (на рис. 78 пункт *C*), что служит контролем вычисления координат пунктов теодолитного хода.

§ 48. УРАВНИВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ С ОДНОЙ УЗЛОВОЙ ТОЧКОЙ

На рис. 79 показана схема теодолитных ходов с узловой точкой — пунктом *З* и узловой линией 2—*З*. В этой системе исходными являются пункты геодезических сетей сгущения *A*, *B*, *C*, *D*, *E* и *F*.

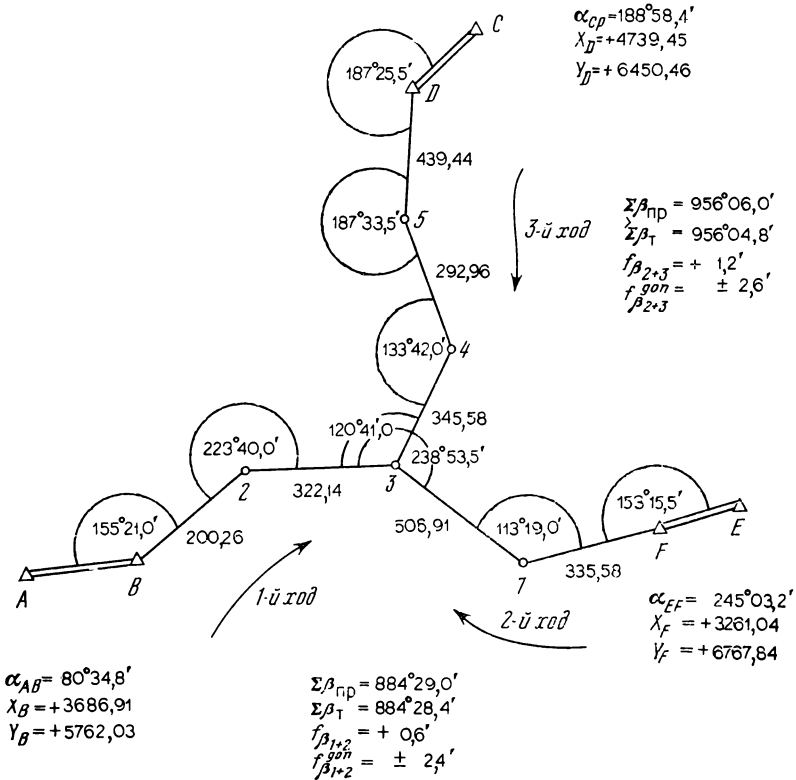


Рис. 79. Схема теодолитных ходов с одной узловой точкой

Таблица 52

| № пунктов | Углы | | | Горизонтальные проложения, м | Приращение координат, м | | | | | | Координаты, м | | | | | | |
|-------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------|------------------------|---------|----|---------------|---|---|---|-----|--|--|
| | измерительные горизонтальные | исправленные | дирекционные | | вычисленные | | | уровненные | | | ± | X | ± | Y | | | |
| | | | | | ΔX | ± | ΔY | ± | ΔX' | ± | | | | | ΔY' | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | | | | | | |
| A | (левые) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B | 55°21,0' | 155°21,0' | 80°34,8' | 200,26 | 112,19 | 165,88 ⁺⁶ | 112,12 | 165,94 | 3686,91 | + | 5762,03 | | | | | | |
| 2 | 223 40,0 | 223 40,0 | 55 55,8 | | -7 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | 99 35,8 | 322,14 | -12 | 317,63 ⁺¹⁰ | 53,81 | 317,73 | 3799,03 | + | 5927,97 | | | | | | |
| | | | | 522,36 | | | | | | | | | | | | | |
| Σλ _{пр} | 379 01,0 | 379 01,0 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Σλ _т | 379 01,0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f _λ | +0,0 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| f _λ ^{доп} | = ±1,4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | f _X = +0,19 | | | f _Y = -0,16 | | | | | | | | | |
| | | | | | f _{абс} = 0,25 | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | 0,25 | | | 1 | | | | | | | | | |
| | | | | | f _{отн} = 522 | | | 1100 | | | | | | | | | |

Продолжение табл. 52

| № пунктов | Углы | | | Горизонтальные проложения, м | Приращения координат, м | | | | | | Координаты, м | |
|-------------------|---------------------------|--------------|--------------|------------------------------|-------------------------|------------|----------|------------|-----------|-----------|---------------|---|
| | измеренные горизонтальные | исправленные | дирекционные | | вычисленные | | | уровненные | | | X | Y |
| | | | | | ± ΔX | ± ΔY | ± ΔX' | ± ΔY' | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | |
| Ход 2 | | | | | | | | | | | | |
| E | (правые) | | | | | | | | | | | |
| F | 153°15,5' ± 2 | 153°15,3' | 245°03,2' | | | | | | | | | |
| 7 | 113 19,0 ± 2 | 113 18,8 | 271 47,9 | 335,58 | 10,53 + 8 | 335,41 - 4 | 10,61 + | 335,45 - | 3261,04 + | 6767,84 + | | |
| 3 | 238 53,5 ± 2 | 238 53,3 | 338 29,1 | 508,91 | 473,45 + 12 | 186,64 - 5 | 473,57 + | 186,69 - | 3271,65 + | 6432,39 + | | |
| 2 | | | 279 35,8 | 844,49 | 483,98 + | 522,05 - | 484,18 + | 522,14 - | 3745,22 + | 6245,70 + | | |
| Σβ _{лр} | 505 28,0 | 505 27,4 | | | | | | | | | | |
| Σβ _г | 505 27,4 | | | | | | | | | | | |
| fβ | +0,6 | | | | | | | | | | | |
| fβ ^{доп} | ±1,7 | | | | | | | | | | | |

$f_x = -0,20 \quad f_y = +0,09$

$f_{абс} = 0,22$

$f_{отн} = \frac{0,22}{844} = \frac{1}{3800}$

Продолжение табл. 52

| № пунктов | Углы | | | Горизонтальные продолжения | Приращения координат. м | | | | | | Координаты, м | |
|------------------|---------------------------|--------------|--------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|--------|------------|---------|---------|---------------|-----|
| | измеренные горизонтальные | исправленные | дирекционные | | вычисленные | | | уровненные | | | ± X | ± Y |
| | | | | | ± ΔX | ± ΔY | ± | ± ΔX' | ± ΔY' | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | | |
| Х о д 3 | | | | | | | | | | | | |
| C | (правые) | | | | | | | | | | | |
| D | 187°25,5' | 187°25,7' | 188°58,4' | 439,44 | 439,36 ⁺⁵ | 11,84 ⁻⁸ | 439,31 | 11,92 | 4739,45 | 6450,46 | + | + |
| 5 | 187°33,5' | 187°33,7' | 181°32,7' | 292,96 | 291,35 ⁺³ | 30,70 ⁻⁵ | 291,32 | 30,65 | 4300,14 | 6438,54 | + | + |
| 4 | 133°42,0' | 133°42,1' | 173°59,0' | 345,58 | 263,64 ⁺⁴ | 223,42 ⁻⁷ | 263,60 | 223,49 | 4008,82 | 6469,19 | + | + |
| 3 | 120°41,0' | 120°41,1' | 220°16,9' | 1077,98 | 994,35 | 204,56 | 994,23 | 204,76 | 3745,22 | 6245,70 | + | + |
| 2 | | | 279°35,8' | | | | | | | | | |
| Σβ _{np} | 629 22,0 | 629 22,6 | | | | | | | | | | |
| Σβ _г | 629 2,26 | | | | | | | | | | | |
| fβ | -0,6 | | | | | | | | | | | |
| f _{доп} | ±2,0' | | | | | | | | | | | |

$f_x = -0,12$ $f_y = +0,20$

$f_{acc} = 0,23$

$f_{отн} = \frac{0,23}{1078} = \frac{1}{4600}$

Уравнивание системы производят отдельно, т. е. вначале уравнивают горизонтальные углы, а затем — приращения координат. Вычисления координат пунктов теодолитных ходов производят в ведомости координат (табл. 52), куда вписывают измеренные (β — правые и λ — левые) углы (графа 2), горизонтальные проложения (графа 5), координаты (X и Y) исходных геодезических пунктов (графы 10 и 11).

Уравнивание горизонтальных углов

Формулы для решения задачи:

$$\alpha_{2-3}^{\text{ок}} = \frac{\alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 + \alpha_3 p_3}{p_1 + p_2 + p_3} = \frac{\sum_{i=1}^3 \alpha_i p_i}{\sum_{i=1}^3 p_i}.$$

Рабочая формула имеет вид

$$\alpha_{2-3}^{\text{ок}} = \alpha_0 + \frac{\sum_{i=1}^3 \varepsilon_{\alpha_i} \cdot p_i}{\sum_{i=1}^3 p_i},$$

где $\alpha_{2-3}^{\text{ок}}$ — окончательное значение дирекционного угла узловой линии 2—3; α_0 — приближенное значение дирекционного угла этой же узловой линии; $\varepsilon_{\alpha_i} = \alpha_i - \alpha_0$ (остатки); $i = 1, 2, 3$ (номер хода); α_i — дирекционный угол узловой линии 2—3, полученный по i -му ходу; $p_i = K/n_i$ (вес дирекционного угла); n_i — число углов в i -м ходе.

Вычисление α_{2-3} возможно при условии допустимости невязок по ходам

$$\begin{aligned} f_{\beta_{1+2}} &= \alpha_2 - \alpha_1, & f_{\beta_{1+2}}^{\text{доп}} &= \pm 1' \sqrt{n_1 + n_2}; \\ f_{\beta_{2+3}} &= \alpha_3 - \alpha_1, & f_{\beta_{2+3}}^{\text{доп}} &= \pm 1' \sqrt{n_2 + n_3}. \end{aligned}$$

Дирекционный угол узловой линии 2—3, подсчитанный по каждому из трех ходов, составит:

по первому ходу

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \alpha_{AB} + (\Sigma\lambda)_{1\text{хода}} - 180^\circ \cdot n_1 = 80^\circ 34,8' + 379^\circ 01,0' - \\ &\quad - 180^\circ \cdot 2 = 99^\circ 35,8'; \end{aligned}$$

по второму ходу

$$\begin{aligned} \alpha_2 &= \alpha_{EF} - (\Sigma\beta)_{2\text{хода}} + 180^\circ \cdot n_2 \pm 180^\circ = 245^\circ 03,2' - 505^\circ 28,0' + \\ &\quad + 180^\circ \cdot 3 - 180^\circ = 99^\circ 35,2'; \end{aligned}$$

по третьему ходу

$$\begin{aligned} \alpha_3 &= \alpha_{CD} - (\Sigma\beta)_{3\text{хода}} + 180^\circ \cdot n_3 \pm 180^\circ = 188^\circ 58,4' - 629^\circ 22,0' + \\ &\quad + 180^\circ \cdot 4 - 180^\circ = 99^\circ 36,4'. \end{aligned}$$

Таблица 53

| Номер хода i | α_i | ε_{α_i} | n_i | $p_i = \frac{K}{n_i};$ $K=6$ | $p_i \varepsilon_{\alpha_i}$ | f_{β_i} | $p_i f_{\beta_i}$ | Проверка допустимости невязок |
|-----------------------------|------------|--------------------------|-------|---------------------------------|------------------------------|---------------|-------------------|---|
| 1 | 99°35,8' | +0,6' | 3 | 3,0 | +1,8' | +0,0' | +0' | $f_{\beta_{1+2}} = 0,6'$ |
| 2 | 35,2 | 0 | 3 | 2,0 | 0 | +0,6 | +1,2 | $f_{\beta_{1+2}}^{\text{доп}} = \pm 2,4'$ |
| 3 | 36,4 | +1,2 | 4 | 1,5 | +1,8 | -0,6 | -0,9 | $f_{\beta_{2+3}} = +1,2'$ |
| $\alpha_0 = 99^\circ 35,2'$ | | | | 6,5 | 3,6 | | +0,3 | $f_{\beta_{2+3}}^{\text{доп}} = \pm 2,6'$ |

$$\alpha_{2-3}^{\text{ок}} = 99^\circ 35,2' + \frac{3,6'}{6,5} = 99^\circ 35,8'; \quad \omega = +0,05'$$

Контроль: $\omega \sum p_i f_{\beta_i} = +0,3'$.

Найденные значения выписывают в табл. 53. Там же приводят значения невязок по ходам, рассчитанных по формулам:

$$f_{\lambda_i} = \alpha_i - \alpha_{2-3}^{\text{ок}} \quad (\text{для левых углов});$$

$$f_{\beta_i} = \alpha_{2-3}^{\text{ок}} - \alpha_i \quad (\text{для правых углов}).$$

Контролем вычисления служит равенство

$$\sum_{i=1}^3 p_i f_{\beta_i} = 0$$

или

$$\sum_{i=1}^3 p_i f_{\lambda_i} = 0.$$

Так как окончательное значение α_{2-3} округлено (более точное значение $\alpha_{2-3} = 99^\circ 35,754'$, а ошибка округления составит $\omega = 99^\circ 35,8' - 99^\circ 35,754' = +0,05'$), то

$$\sum_{i=1}^3 p_i f_{\beta_i} = \omega \sum_{i=1}^3 p_i.$$

Уравнивание приращений координат
Формулы для решения задачи:

$$X_3^{\text{ок}} = \frac{\sum_{i=1}^3 X_i p_i}{\sum_{i=1}^3 p_i} = X_0 + \frac{\sum_{i=1}^3 \varepsilon_{X_i} p_i}{\sum_{i=1}^3 p_i},$$

$$Y_3^{\text{ок}} = \frac{\sum_{i=1}^3 Y_i p_i}{\sum_{i=1}^3 p_i} = Y_0 + \frac{\sum_{i=1}^3 \varepsilon_{Y_i} p_i}{\sum_{i=1}^3 p_i},$$

где $X_3^{\text{ок}}$ и $Y_3^{\text{ок}}$ — окончательные значения координат узловой точки 3; X_0 и Y_0 — приближенные значения координат;

$$\varepsilon_{X_i} = X_i - X_0 \text{ и } \varepsilon_{Y_i} = Y_i - Y_0 \text{ (остатки);}$$

$i=1, 2, 3$ (номер хода); X_i и Y_i — координаты узлового пункта 3, полученные по каждому i -му ходу; $p_i = K/L_i$ (веса координат), L_i — длина i -го хода.

Вычисление координат X_3 и Y_3 возможно при условии допустимости невязок по ходам, т. е.

$$f_{X_{1+2}} = X_2 - X_1, \quad f_{Y_{1+2}} = Y_2 - Y_1;$$

$$f_{L_{1+2}} = \sqrt{f_{X_{1+2}}^2 + f_{Y_{1+2}}^2};$$

$$\frac{f_{L_{1+2}}}{L_{1+2}} \leq \frac{1}{2000}.$$

$$f_{X_{2+3}} = X_3 - X_2, \quad f_{Y_{2+3}} = Y_3 - Y_2;$$

$$f_{L_{2+3}} = \sqrt{f_{X_{2+3}}^2 + f_{Y_{2+3}}^2},$$

$$\frac{f_{L_{2+3}}}{L_{2+3}} \leq \frac{1}{2000}.$$

Результаты вычислений невязок и проверку допустимости оформляют в табл. 54.

Т а б л и ц а 54

| Название хода | Длина хода, км | Невязки, м | | | $\frac{f_{\text{абс}}}{L}$ |
|---------------|----------------|------------|-------|------------------|----------------------------|
| | | f_X | f_Y | $f_{\text{абс}}$ | |
| 1+2 | 1,36 | -0,39 | +0,25 | 0,47 | 1/3000 |
| 2+3 | 1,92 | +0,08 | +0,11 | 0,14 | 1/13000 |

Координаты узловой линии, рассчитанные по каждому из ходов, равны

$$X_1 = X_B + (\Sigma \Delta X)_{1 \text{ хода}} = +3686,91 + 58,50 = +3745,41 \text{ м;}$$

$$Y_1 = Y_B + (\Sigma \Delta Y)_{1 \text{ хода}} = +5762,03 + 483,51 = +6245,54 \text{ м;}$$

$$X_2 = X_1 + (\Sigma \Delta X)_{2 \text{ хода}} = +3261,04 + 483,98 = +3745,02 \text{ м;}$$

$$Y_2 = Y_1 + (\Sigma \Delta Y)_{2 \text{ хода}} = +6767,84 + (-522,05) = +6245,79 \text{ м;}$$

$$X_3 = X_D + (\Sigma \Delta X)_{3 \text{ хода}} = +4739,45 + (-994,35) = +3745,10 \text{ м;}$$

Таблица 55

| № п/п | $X_i, \text{ м}$ | $\varepsilon x_i',$ см | $p_i^2 X_i$ | $f X_i',$ см | $p_i^2 X_i$ | $L_i, \text{ км}$ | $p_i = \frac{K_{i-1}}{L_i},$ $K=1$ | $p_i f Y_i',$ см | $f Y_i',$ см | $p \varepsilon Y_i',$ | $\varepsilon Y_i',$ см | $Y_i, \text{ м}$ |
|------------------|------------------|---------------------------|-------------|-----------------|-------------|-------------------|---------------------------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------|------------------|
| 1 | +3745,41 | +39 | +74,1 | +19 | +36 | 0,52 | 1,9 | -30 | -16 | 0 | 0 | +6245,54 |
| 2 | +3745,02 | 0 | 0 | -20 | -24 | 0,84 | 1,2 | +11 | +9 | +30 | +25 | +6245,79 |
| 3 | +3745,10 | +8 | +7,2 | -12 | -11 | 1,08 | 0,9 | +18 | +20 | +32,4 | +36 | +6245,90 |
| $X_0 = +3745,02$ | | | | | | | | | | | | 6245,54 |

$$X_3^{\text{ок}} = +3745,02 + \frac{0,813}{4} = +3745,22 \text{ м}$$

$$Y_3^{\text{ок}} = +6245,54 + \frac{0,624}{4,0} = +6245,70 \text{ м}$$

$$\omega_X = +0,003 \text{ м}$$

$$\omega_Y = +0,004 \text{ м}$$

$$\text{Контроль: } \omega_X \sum_{i=1}^3 p_i = +0,01 \text{ м}$$

$$\omega_Y \sum_{i=1}^3 p_i = +0,01 \text{ м}$$

$$Y_3 = Y_D + (\Sigma \Delta Y)_{\text{зхода}} = +6450,46 + (-204,56) = +6245,90 \text{ м.}$$

Их выписывают в табл. 55.

Там же приводят значения невязок по каждому из 3-х ходов, рассчитанных по формулам

$$f_{X_i} = X_i - X_3^{\text{ок}},$$

$$f_{Y_i} = Y_i - Y_3^{\text{ок}}.$$

Контролем вычисления служат равенства

$$\sum_{i=1}^3 p_i f_{X_i} = 0,$$

$$\sum_{i=1}^3 p_i f_{Y_i} = 0.$$

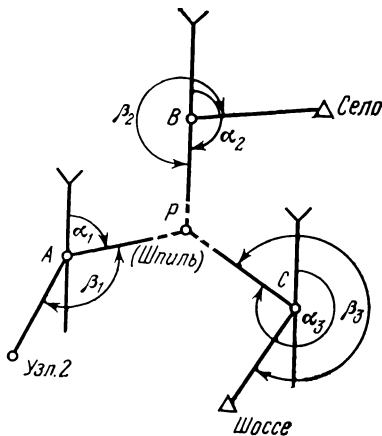
Так как окончательные значения $X_3^{\text{ок}}$ и $Y_3^{\text{ок}}$ округлены ($\omega_X = +0,003$ и $\omega_Y = +0,004$), то

$$\text{и} \quad \Sigma p_i f_{X_i} = \omega_X \Sigma p_i$$

$$\Sigma p_i f_{Y_i} = \omega_Y \Sigma p_i.$$

§ 49. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ПУНКТА ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ ЗАСЕЧКАМИ

Положение пунктов съемочной сети, как отмечено в § 45, может быть получено прямыми и обратными геодезическими засечками. На рис. 80 и 81 показаны схемы этих засечек, ниже приводятся формулы для вычислений координат пункта.



← Рис. 80. Схема прямой засечки

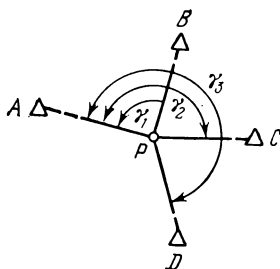


Рис. 81. Схема обратной засечки

1. *Прямая засечка.* Исходными являются пункты А, В, С, Село, Шоссе, Узловая 2. На местности измеряются горизонтальные углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$. Определяемым является пункт Р. Для повышения точности

сти определения координат пункта P необходимо на местности выбирать такую комбинацию исходных пунктов, чтобы угол при засекаемой точке был близок к 90° , а расстояния от исходных до определяемого пункта были примерно одинаковы. Не допускается иметь этот угол менее 30° и более 150° . Для нахождения координат пункта P достаточно два исходных пункта A и B , третий C служит для контроля правильности его определения.

Формулы для вычислений с тангенсами дирекционных углов имеют следующий вид (формулы Гаусса):

$$X_P = \frac{X_A \operatorname{tg} \alpha_1 - Y_A - X_B \operatorname{tg} \alpha_2 + Y_B}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2};$$

$$Y_P = (X_P - X_A) \operatorname{tg} \alpha_1 + Y_A;$$

$$Y_P = (X_P - X_B) \operatorname{tg} \alpha_2 + Y_B \text{ (контроль вычислений).}$$

Дирекционные углы α_1 и α_2 вычисляют по формулам

$$\alpha_1 = \alpha_{\text{Уал-2-A}} - \beta_1 + 180^\circ,$$

$$\alpha_2 = \alpha_{\text{Село-B}} - \beta_2 + 180^\circ.$$

Вычисления помещают в табл. 56.

Таблица 56

| Название исходного и определяемого пункта | Дирекционный угол α и ордината определяемого пункта Y , м | Абсциссы пунктов X , м | $\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_2}$ | Ординаты пунктов Y , м |
|---|--|--------------------------|--|--------------------------|
| I вариант | | | | |
| A | $67^\circ 52,8'$ | $+1186,67$ | $+2,46024$ | $+1918,16$ |
| B | $187^\circ 01,0$ | $+1477,35$ | $+0,12308$ | $+1122,65$ |
| P | $+10,95,76$ | $+1258,86$ | $+2,33716$ | $+1095,76$ |
| II вариант | | | | |
| B | $187^\circ 01,0$ | $+1477,35$ | $+0,12308$ | $+1122,65$ |
| C | $304^\circ 30,5$ | $+1181,96$ | $-1,45456$ | $+1207,50$ |
| P | $+1095,74$ | $+1258,79$ | $+1,57764$ | $+1095,72$ |
| | Среднее | $+1258,82$ | | $+1095,74$ |

Контроль измерений: $\delta_X = X_{\text{Iвар}} - X_{\text{IIвар}} = 1258,86 - 1258,79 = +0,07$ м;

$\delta_Y = Y_{\text{Iвар}} - Y_{\text{IIвар}} = 1095,76 - 1095,73 = +0,03$ м;

$$\delta_P = \sqrt{\delta_X^2 + \delta_Y^2} = 0,08 \text{ м.}$$

Допустимая величина $\delta_P^{\text{доп}}$ зависит от масштаба съемки и равна $0,2$ мм на плане.

Если один из дирекционных углов α_1 или α_2 близок к 90° (270°), но ни один из них не близок к 0° (180° , 360°), то можно использовать формулы с котангенсами этих углов:

$$Y_P = \frac{Y_A \operatorname{ctg} \alpha_1 - X_A - Y_B \operatorname{ctg} \alpha_2 + X_B}{\operatorname{ctg} \alpha_1 - \operatorname{ctg} \alpha_2};$$

$$X_P = X_A + (Y_P - Y_A) \operatorname{ctg} \alpha_1.$$

Контроль:

$$X_P = X_B + (Y_P - Y_B) \operatorname{ctg} \alpha_2.$$

2. *Обратная засечка.* Для определения координат пункта P съёмочной сети обратной засечкой необходимо иметь три исходных пункта: A , B и C (см. рис. 81).

Для контроля правильности решения задачи необходим дополнительный исходный пункт D .

На определяемом пункте P измеряют углы γ_1 , γ_2 , γ_3 . При решении задачи используют следующие формулы:

$$1. a = \operatorname{ctg} \gamma_1; \quad b = \operatorname{ctg} \gamma_2.$$

$$2. X'_B = X_B - X_A; \quad Y'_B = Y_B - Y_A;$$

$$X'_C = X_C - X_A; \quad Y'_C = Y_C - Y_A.$$

Таблица 57

| | | | | | |
|---|-----------------------------------|------------|---|--------------|------------|
| 1 | γ_1 | 110°04'57" | 3 | k_1 | +1603,34 |
| | γ_2 | 226 44 18 | | k_3 | -3958,73 |
| | $a = \operatorname{ctg} \gamma_1$ | -0,365 602 | | $k_1 - k_3$ | |
| | $b = \operatorname{ctg} \gamma_2$ | +0,941 090 | | | +5562,07 |
| 2 | X_B | +5654,41 | | k_2 | -2089,94 |
| | X_C | +8143,61 | | k_4 | -700,29 |
| | X_A | +6393,71 | | $k_2 - k_4$ | |
| | $X'_B = X_B - X_A$ | -740,30 | 4 | | -1389,65 |
| | $X'_C = X_C - X_A$ | +1749,90 | | | c |
| | Y_B | +1264,09 | | c^2 | 0,062428 |
| | Y_C | +1277,59 | | $k_2 - ck_1$ | -1689,36 |
| | Y_A | +3624,69 | | $k_4 - ck_3$ | -1689,36 |
| | $Y'_B = Y_B - Y_A$ | -2360,60 | 6 | ΔY | -1590,10 |
| | $Y'_C = Y_C - Y_A$ | -2347,10 | | Y_A | +3624,69 |
| | | | 7 | Y_P | +2034,59 м |
| | | | | ΔX | +397,28 |
| | | | | X_A | +6393,71 |
| | | | | X_P | |
| | | | | | +6790,99 м |

Контроль:

$$X'_B - X'_C = X_B - X_C; \quad Y'_B - Y'_C = Y_B - Y_C.$$

$$3. \quad k_1 = aY'_B - X'_B, \quad k_2 = aX'_B + Y'_B;$$

$$k_3 = bY'_C - X'_C, \quad k_4 = bX'_C + Y'_C.$$

$$4. \quad c = \frac{k_2 - k_4}{k_1 - k_3} = \text{ctg } \alpha_{AP}.$$

$$5. \quad k_2 - ck_1 = k_4 - ck_3 \text{ (контроль вычислений).}$$

$$6. \quad \Delta Y = \frac{k_2 - ck_1}{c^2 + 1}, \quad \Delta X = c\Delta Y.$$

$$7. \quad Y_P = Y_A + \Delta Y, \quad X_P = X_A + \Delta X.$$

Вычисления помещают в табл. 57.

Следует отметить, что контроль вычислений в данном способе решения задачи является неполным. Для контроля измерений, как отмечалось, необходимо иметь четвертый исходный пункт и решить еще раз обратную засечку. Допустимое значение $\delta_P^{\text{доп}}$ (см. решение прямой засечки) равно 0,2 мм на плане.

§ 50. ПЕРЕДАЧА КООРДИНАТ С ВЕРШИНЫ ЗНАКА НА ЗЕМЛЮ

При построении съемочных сетей возникает необходимость передачи координат с исходного пункта, неудобного для производства угловых измерений, например, шпиля башни и др., на грунтовый пункт, который затем используют при вычислительной обработке теодолитных ходов и микротриангуляции. Для передачи координат с пункта A на грунтовый пункт P намечают два базиса $b_1 = S_{1P}$ и

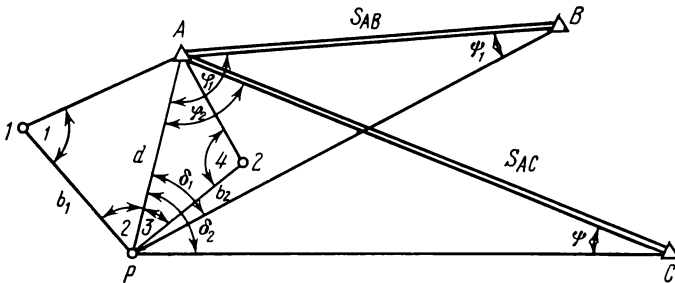


Рис. 82. Схема передачи координат с вершины знака на землю

$b_2 = S_{2P}$ (рис. 82) с таким расчетом, чтобы в треугольниках $AP1$ и $AP2$ угол при точке A не был менее 30° и более 150° . Конечные точки базисов закрепляют кольями. Для решения задачи измеряют (см. рис. 82): базисы b_1 и b_2 с относительной погрешностью не более $1/2000$; горизонтальные углы 1, 2, 3 и 4; δ_1 и δ_2 теодолитом Т5 одним полным приемом, а Т30 — двумя.

Запись результатов измерений производят в журнале построения съёмочной сети.

Координаты пункта P находят дважды по формулам

$$X'_P = X_A + d_{cp} \cos(\alpha_{AB} + \varphi_1) = X_A + \Delta X'_{AP},$$

$$Y'_P = Y_A + d_{cp} \sin(\alpha_{AB} + \varphi_1) = Y_A + \Delta Y'_{AP}.$$

Контроль определения координат пункта P :

$$X''_P = X_A + d_{cp} \cos(\alpha_{AC} + \varphi_2) = X_A + \Delta X''_{AP},$$

$$Y''_P = Y_A + d_{cp} \sin(\alpha_{AC} + \varphi_2) = Y_A + \Delta Y''_{AP}.$$

Расхождения в вычисленных координатах допускают не более 0,1 м, т. е. $|X'_P - X''_P| \leq 0,1$ м и $|Y'_P - Y''_P| \leq 0,1$ м.

За окончательные значения координат пункта P принимают

$$X_P = \frac{X'_P + X''_P}{2} \quad \text{и} \quad Y_P = \frac{Y'_P + Y''_P}{2}.$$

Неизвестные в этих формулах значения стороны d_{cp} , углов φ_1 и φ_2 находят следующим образом:

1. Определение расстояния $d_{cp} = S_{AP}$

$$d' = \frac{b_1}{\sin(1+2)} \sin 1, \quad d'' = \frac{b_2}{\sin(3+4)} \sin 4;$$

$$\frac{|d' - d''|}{d_{cp}} \leq \frac{1}{2000}.$$

При выполнении этого условия находят

$$d_{cp} = \frac{d' + d''}{2}.$$

2. Определение угла φ_1 :

$$\varphi_1 = 180^\circ - (\delta_1 + \psi_1);$$

$$\sin \psi_1 = \frac{d_{cp}}{S_{AB}} \sin \delta_1.$$

Таблица 58

Вычисление расстояния $d_{cp} = S_{AP}$

| Обозначение углов | Углы | Синусы углов | Обозначения сторон | Стороны, м |
|-------------------|-----------|--------------|--------------------|------------|
| 1+2 | 111°04,6' | 0,93310 | b_1 | 76,72 |
| 1 | 49 25,5 | 0,75956 | d' | 62,45 |
| 2 | 61 39,1 | — | — | — |
| 3+4 | 131°36,9' | 0,74762 | b_2 | 61,49 |
| 3 | 82 14,7 | — | d'' | — |
| 4 | 49 22,2 | 0,73893 | — | 62,42 |

$$\frac{|d' - d''|}{d_{cp}} = \frac{0,03}{62,44} \approx \frac{1}{2100}; \quad d_{cp} = 62,44 \text{ м.}$$

3. Определение угла φ_2 :

$$\varphi_2 = 180^\circ - (\psi_2 + \delta_2),$$

$$\sin \psi_2 = \frac{d_{CP}}{S_{AC}} \sin \delta_2.$$

Вычисление координат пункта P показано в табл. 58, 59, 60.

Таблица 59

Вычисление вспомогательных углов ψ_1 , ψ_2 , φ_1 и φ_2

| Обозначения | Значения величин | Обозначения | Значения величин |
|---------------------|------------------------|---------------------|------------------|
| d_{CP} | 62,44 м | d_{CP} | 62,44 м |
| $\sin \delta_1$ | 0,50007 | $\sin \delta_1$ | 0,96524 |
| S_{AB} | 52,72 м | S_{AC} | 297,10 м |
| $\sin \psi_1$ | 0,59227 | $\sin \psi_2$ | 0,20286 |
| ψ_1 | $36^\circ 19,1'$ | ψ_2 | $11^\circ 42,2'$ |
| δ_1 | $30^\circ 00,1'$ | δ_2 | $74^\circ 51,0'$ |
| $\psi_1 + \delta_1$ | $66^\circ 19,4'$ | $\psi_2 + \delta_2$ | $86^\circ 33,2'$ |
| φ_1 | $113^\circ 40,6^\circ$ | φ_2 | $93^\circ 26,8'$ |

Таблица 60

Вычисление координат пункта P

| Обозначения | Значение величин | Обозначения | Значения величин |
|---------------------------|-------------------|------------------------|-------------------|
| α_{AB} | $142^\circ 22,9'$ | α_{AC} | $162^\circ 37,9'$ |
| φ_2 | $113^\circ 40,6'$ | ψ_2 | $93^\circ 26,8'$ |
| $\alpha_{AB} + \varphi_1$ | $256^\circ 03,5'$ | $\alpha_{AC} + \psi_2$ | $256^\circ 04,7'$ |
| X'_P | +5246,89 м | X''_P | +5246,91 м |
| $\Delta X'_{AP}$ | -15,04 | $\Delta X''_{AP}$ | -15,02 |
| X_A | +5261,93 м | X_A | +5261,93 м |
| α_{CP} | 62,44 | d_{CP} | 62,44 м |
| Y_A | -5812,88 м | Y_A | -5812,88 м |
| $\Delta Y'_{AP}$ | -60,60 | $\Delta Y''_{AP}$ | -60,61 |
| Y'_P | -5873,48 м | Y''_P | -5873,49 м |

Полученные расхождения $|X'_P - X''_P| = 0,02$ м $|Y'_P - Y''_P| = 0,01$ м не превышают допуска 0,1 м. Окончательные значения координат: $X_P = +5246,90$ м; $Y_P = -5873,48$ м.

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

§ 51. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ И СОДЕРЖАНИЕ СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ

К топографическим съемкам относят: теодолитную, мензульную и тахеометрические съемки.

Теодолитную съемку применяют главным образом при съемке местности с капитальной застройкой. Она состоит из съемки деталей фасадов зданий, проездов и внутриквартальных территорий.

Мензульную и тахеометрическую съемку применяют при инженерно-геодезических изысканиях в основном для сельского строительства, а также для землеустройства, когда применение аэрофотосъемки затруднено или экономически нецелесообразно.

Основные технические требования, предъявляемые к съемочным работам, приведены в табл. 61.

Таблица 61

| Масштаб съемки | Сечение рельефа, м | Вид съемки | Максимальное расстояние между пикетами, м | Максимальное расстояние от прибора до рейки при съемке рельефа, м | Максимальное расстояние от прибора до рейки при съемке ситуации, м | |
|----------------|--------------------|------------------|---|---|--|-------------------------------|
| | | | | | при съемке твердых контуров | при съемке нетвердых контуров |
| 1:1000 | 0,5 | Мензульная | 30 | 150 | 60 | 100 |
| | | Тахеометрическая | 20 | 150 | 60 | 100 |
| | То же | 60 | 200 | 60 | 100 | |
| 1:2000 | 0,5 | » | 50 | 200 | 60 | 100 |
| | | | 40 | 200 | 100 | 150 |
| | 1,0 | » | 70 | 250 | 100 | 150 |
| 1:5000 | 0,5 | » | 60 | 250 | 100 | 150 |
| | | | 70 | 250 | 150 | 200 |
| | 1,0 | » | 100 | 300 | 150 | 200 |
| | | | 80 | 300 | 150 | 200 |
| | | | 120 | 350 | 150 | 200 |
| 2,0 | » | 100 | 350 | 150 | 200 | |

Обязательному отображению на планах масштабов 1:5000—1:1000 подлежат все объекты, выражающиеся в масштабе плана и предусмотренные действующими условными знаками. Подлежат обязательной съемке отдельно стоящие деревья на незастроенной территории. На застроенной территории деревья толщиной 5 см, расположенные на проездах и площадях, в садах, подлежат подервной съемке только в масштабе 1:1000. Съемка группы деревьев ограничивается контуром, а при линейной посадке — крайними деревьями с пояснительными подписями на плане.

При съемке сельскохозяйственных угодий выделяются участки, занятые пашнями, залежами, лугами, выгонами, парниками, садами и пр.

Наименьшая площадь участков, подлежащих съемке, для хозяйственно ценных угодий составляет 20 мм^2 на плане, а для всех других — 50 мм^2 на плане.

При съемке леса определяют породу, среднюю высоту деревьев и толщину их на высоте груди, а также выделяют контуры редколесья, вырубок, гари, полян и сельскохозяйственных угодий, находящихся среди леса.

При съемке болот определяется глубина, степень проходимости (легкопроходимые, труднопроходимые и непроходимые) и растительный покров. Граница полосы отвода железных и шоссейных дорог, а также граница землепользования снимаются в том случае, если они закреплены на местности межевыми знаками, заборами, канавами и пр.; ограждения снимаются с подразделением на металлические, каменные, глинобитные, деревянные, растительные и пр.

Съемка рек, ручьев, канав и других протоков при ширине их более 3 мм на плане ведется по двум сторонам, а при ширине от 1 до 3 мм — по одной стороне. При съемке протоков должны быть определены высоты уреза воды геометрическим нивелированием с указанием даты. Горизонт высоких вод устанавливается по опросу местных жителей. Высота горизонта высоких вод определяется при съемочных работах.

При съемке искусственных сооружений на автомобильных дорогах определяются высоты верхнего пролета (проезжей части) моста, низа трубы и уреза воды под мостом. В журнале по топографической съемке делаются зарисовки сооружений, описывается их состояние, указывается диаметр труб, ширина, длина моста и пр.

На планах показывают воздушные линии электропередач высокого и низкого напряжения, а также линии телефона, радио, телеграфа. При этом в масштабе $1:2000$ — $1:1000$ снимаются все столбы электролиний и линий связи, а в масштабе $1:5000$ — только поворотные столбы, а также указывается число проводов и напряжение. Однако при специальном задании в масштабе $1:5000$ могут быть сняты полностью все опоры.

Всякого рода подземные сооружения и кабели снимаются только по особым требованиям, но обязательно отображаются выходы подземных сооружений.

В застроенной части населенного пункта показывают жилые и нежилые здания с указанием назначения, материала стен и этажности. При съемке в масштабе $1:5000$ нежилые строения индивидуального пользования снимаются в случае, если их площадь составляет не менее 1 мм^2 на плане.

Архитектурные выступы и уступы зданий и сооружений снимаются, если их величина более $0,5 \text{ мм}$ на плане. На территории населенного пункта показывают границы приусадебных земель, приусадебных и других участков.

При съемках в масштабе 1:1000—1:2000 в приусадебном участке могут быть выделены земли, занятые под садами, сенокосами, виноградниками и пр.

На планах масштаба 1:1000—1:5000 показывают горные выработки (скважины, шурфы и пр.), а также пункты геодезической сети.

§ 52. ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

Съемочные работы выполняют с пунктов съемочных сетей способами:

прямоугольных координат (перпендикуляров) для объектов, расположенных вдоль теодолитных ходов. Длина перпендикуляра не должна превышать 8, 6 и 4 м соответственно в масштабах 1:2000, 1:1000 и 1:500. При применении эккера эти расстояния можно увеличить до 60, 40 и 20 м;

линейных засечек, когда четкий контур местности удален от исходных точек не дальше длины мерного прибора. При съемке способом линейных засечек следует стремиться к тому, чтобы исходная сторона и линии засечек образовали равносторонний треугольник;

угловых засечек, если невозможно измерить расстояние до характерных точек объекта (центра силосной или водонапорной башни др.). Угол при засекаемой точке не должен быть менее 30° и более 150°, а расстояние до нее не более 120 м при съемке в масштабе 1:2000 и 250 м— в масштабе 1:5000;

полярных координат при съемке остальных объектов. При этом способе расстояние от исходного пункта съемочной до контурной точки, измеренное нитяным дальномером, не должно превышать данных, приведенных в табл. 61.

Результаты теодолитной съемки отражают в абрисе (рис. 83 и 84), соблюдая следующие правила:

для удобства записей измерений размеры объектов, выражающиеся в масштабе плана, на абрисе могут быть непропорциональны друг другу, однако общее очертание объектов по возможности должно отражать подобие их взаимного положения и формы; архитектурные выступы следует зарисовывать, если их размер на плане будет более 0,5 мм; объекты, не выражающиеся в масштабе плана (столбы и опоры воздушных линий электропередач и связи, выходы подземных сооружений и пр.), допускается зарисовывать соответствующими условными знаками;

прямыми линиями можно отображать только те контуры, для которых действительное отклонение от прямолинейных в отдельных точках не превышает 0,5 мм на плане;

на застроенных территориях необходимо зарисовывать границы отдельных усадеб и контуры других объектов, расположенных внутри приусадебного участка (залежи, пруды и др.);

на участке съемки с массивом древесной растительности следует выделять и показывать на абрисе контуры молодой поросли,

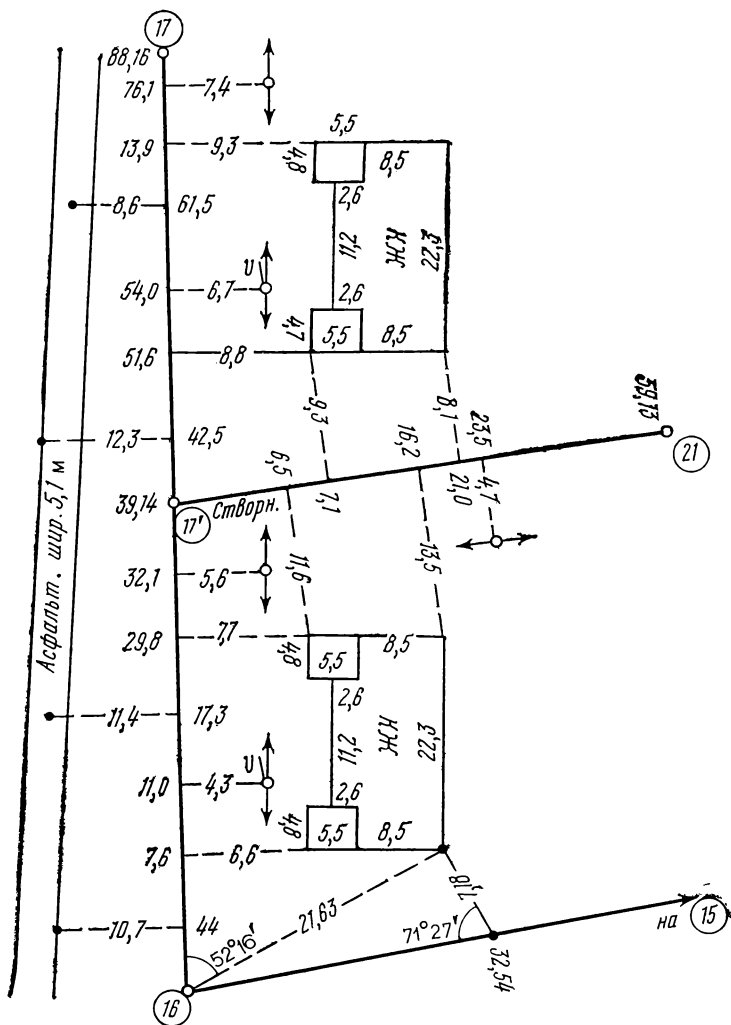


Рис. 83. Абрис теодолитной съемки застроенной территории

редколесья, вырубков, кустарников и др.; отображению в абрисе подлежат также просеки, лесные дороги, тропинки, отдельно стоящие деревья.

Все зарисовки в абрисах необходимо вести четко и аккуратно, располагая объекты с таким расчетом, чтобы оставалось свободное место для записей результатов измерений. В связи с этим на одном листе абриса не следует размещать более 2—3 исходных линий, на основе которых планируется производить съемку местности.

Составление плана теодолитной съемки

С помощью линейки Дробышева (или другим способом) строят координатную сетку остро заточенным твердым карандашом. При контроле построения измерителем расхождение в длине сторон и диагоналей квадратов не должно превышать 0,2 мм. Сетку подписывают на краях планшета соответственно размеру участка съемки и значениям координат всех пунктов съемочной сети. Пункты теодолитных ходов и створные точки наносят на план по координатам с контролем по значениям горизонтальных проложений (допустимые расхождения — 0,2 мм).

На план наносят по координатам углы кварталов, капитальных зданий и другие точки ситуации, снятые аналитическим способом. Ситуацию наносят на план по результатам измерений, записанным в абрисах. Контурные вычерчивают остро заточенным карандашом в полном соответствии с условными знаками для данного масштаба.

Карандашный оригинал тщательно проверяют путем сличения с местностью или применения контрольных промеров, показанных в абрисе. При обнаружении грубых искажений или недоснятых контуров необходимо внести исправления на основе дополнительных или контрольных измерений. Проверенный и откорректированный план вычерчивают тушью согласно действующим условным знакам [14].

§ 53. МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

Основными приборами для мензульной съемки являются мензула и кипрегель.

В подготовительный период изготавливают планшет, строят координатную сетку и наносят пункты съемочной сети.

Для изготовления планшета используется лист чертежной бумаги «Гознак», который наклеивают для предохранения плана от деформации на лист высококачественной фанеры или алюминия толщиной 2—3 мм.

Лицевую сторону бумаги в течение 5—7 мин равномерно смачивают водой, после чего на обратную сторону наносят тонкий слой взбитого до пены яичного белка. Затем лист бумаги кладут на фанеру, прикрывают его сверху другим листом чистой бумаги и разглаживают от середины к краям до тех пор, пока не останется неровностей (воздушных пузырьков).

Надрезанные по углам края листа бумаги «Гознак» подвертывают и приклеивают к боковым граням, а также к обратной стороне листа фанеры. На обратную сторону фанеры наклеивают крахмальным клейстером предварительно увлажненный лист плотной белой бумаги. Планшет высушивают в сухом помещении и прикрепляют мелкими медными гвоздиками к мензульной доске. Мензульную съемку можно выполнять на синтетической бумаге (СБ) пленочного типа.

Координатную сетку строят с помощью линейки Дробышева или координатографа. В результате стороны квадратов должны быть равны 10,00 см, а их диагонали — 14,14 см. Отклонение от этих размеров не должно быть более 0,02 см.

Пункты наносят на планшет по координатам с помощью измерителя и масштабной линейки. Контроль осуществляется по горизонтальным проложениям между пунктами, выписанными из ведомости координат. Расхождение допускается не более 0,02 см (практически один укол измерителя). На планшете карандашом надписывают номера пунктов (в числителе) и их высоты с округлением до 0,01 м (в знаменателе).

Порядок работы на пункте (съёмочной точке) может быть принят следующий.

1. Мензулу устанавливают на съёмочной точке, предварительно ориентируя ее на глаз. Над закрепленным пунктом местности центрируют точку его отображения на планшете с погрешностью, не превышающей половины точности масштаба съёмки. В масштабах 1 : 2000 — 1 : 1000 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 осуществляется 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 записи 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

$$h = S \operatorname{tg} v. \quad (65)$$

Если основную кривую наводят не на высоту прибора i , а на какую-либо другую точку рейки, имеющую высоту v , то

$$h = S \operatorname{tg} v + i - v. \quad (66)$$

Высоту исходного контрольного пункта вычисляют по формуле

$$H_{\text{контр}} = H_{\text{ст}} + h.$$

Расхождение этого значения с исходной высотой не должно превышать $0,04S$ м, где S — 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 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 $0,5$ мм на плане. Соответствующие наколы сразу же соединяют вслед за набором пикетов, а полученный на планшете контур глазомерно сравнивают с контуром местности. На следующей съёмочной точке съёмку контуров начинают с тех точек, которые были сняты на предыдущей станции.

Съёмку рельефа производят одновременно со съёмкой 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.

В условиях равнинной местности максимальное расстояние между пикетами не должно превышать данных, указанных в табл. 61.

Высоты пикетов вычисляют по формуле

$$H_{\text{пик}} = H_{\text{ст}} + h,$$

где $H_{\text{ст}}$ — высота съёмочной точки; h — превышение, измеренное по номограмме 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 (иногда накол используется как запятая при записи высот пикетов) с округлением до $0,1$ м при съёмке рельефа с высотой сечения 1 м и больше и с точностью до $0,01$ м при высоте сечения через $0,5$ м.

На плане через каждые 20 см отмечают урезы воды рек и ручьев, высоты которых определяют дважды (с контролем), и записывают в журнал с указанием даты наблюдения.

Рельеф местности изображают на плане горизонталями в сочетании с высотами и условными знаками.

Горизонтالي 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 проводят полугоризонтالي. Горизонтали снабжают указателями направления скатов — скатштрихами. Скатштрихи обычно ставят у вершин, седловин, котловин, а также по склонам, где это необходимо для удобства чтения рельефа. Горизонтали по изображениям построек проводят пунктиром, по изображениям грунтовых дорог — сплошными линиями.

Изыртые 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 съемочного обоснования бывает недостаточно для съемки всего участка, а дальнейшее сгущение путем проложения теодолитных ходов или построением триангуляции экономически нецелесообразно, определяют дополнительные съемочные точки путем проложения мензульных ходов. Мензульные ходы должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 62.

Таблица 62

| Масштаб съемки | Максимальная длина стороны, м | Максимальная длина хода между исходными пунктами, м | Максимальное число съемочных точек в ходе |
|----------------|-------------------------------|---|---|
| 1:5000 | 250 | 1000 | 5 |
| 1:2000 | 200 | 500 | 5 |
| 1:1000 | 100 | 250 | 3 |

Горизонтальные проложения в мензульном ходе измеряют по номограмме кипрегеля в прямом и обратном направлениях, при этом относительное расхождение линий не должно превышать 1/200. Превышения определяют тригонометрическим нивелированием при двух положениях вертикального круга в прямом и обратном направлениях, вычисляя по формулам (65) и (66). Рас-

хождение между прямыми и обратными превышениями не должно быть более 4 см на каждые 100 м расстояния.

Относительная невязка для мензульного хода, проложенного между пунктами теодолитных ходов или микротриангуляции, не должна превышать 1/300 его длины. Невязку распределяют на планшет по способу параллельных линий.

Допустимую высотную невязку мензульного хода, опирающегося на точки с исходными высотами, вычисляют по формуле

$$f_h^{\text{доп}} = \pm 0,04 \frac{L}{\sqrt{N}}, \text{ см,}$$

где L — длина мензульного хода, выраженная в метрах; N — число сторон хода.

Для примера уравнивание превышений и вычисление высот съёмочных точек приведены в табл. 63.

Таблица 63

| № съёмочной точки | Расстояние, м | Превышения, м | | | Высота съёмочной точки, м |
|-------------------|---------------|---------------|----------|-------------|---------------------------|
| | | прямые | обратные | средние | |
| 2 | 100,0 | -1,96 | +1,93 | -3 -1,94 | <u>109,30</u> |
| 30 | 102,0 | +0,45 | -0,47 | -2 +0,46 | 107,34 |
| 31 | 170,5 | -1,02 | +1,06 | -4 1,04 | 107,78 |
| 32 | 125,0 | -0,48 | +0,49 | -2 -0,48 | 106,70 |
| 4 | 497,5 | | | | <u>106,20</u> |

$$\begin{aligned} \Sigma h_{\text{пр}} &= -3,00; \\ \Sigma h_{\text{т}} &= H_4 - H_2 = -3,10; \\ f_h &= +0,10; \\ f_h^{\text{доп}} &= \pm 0,10 \end{aligned}$$

Съёмочными точками могут служить также переходные точки, которые определяются в плановом отношении прямой засечкой, полярным способом или путем промеров по створу.

В тех случаях, когда оригиналы топографической съёмки не вычерчивают в полевых условиях, составляются калька высот и калька контуров. При простых формах рельефа и несложной ситуации обе кальки можно совмещать в одну. Кальки составляются в процессе съёмки ежедневно, допускается разрыв от съёмки до составления кальки не более трех дней.

На кальке высот показывают все пункты съёмочного обоснования, включая точки мензульных ходов и переходные точки с их номерами и высотами верха знака и у земли, пикеты и их высоты. Кальку составляют черной тушью, вычерчивают согласно таблицам действующих угловых знаков. На кальку контуров наносят условными знаками всю ситуацию и предметы местности с

выпиской высот полов первого этажа зданий и сооружений, а также высотами крышек колодцев, искусственных сооружений и других объектов, которые снимаются в данном масштабе.

Урезы воды в ручьях, водоемах подписывают зеленой тушью, номера зданий — красной, все остальное вычерчивают черной тушью.

§ 54. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Тахеометрическую съемку выполняют с пунктов съемочных сетей, включающих:

1) пункты теодолитных ходов или микротриангуляции (см. § 45), высоты которых определяют техническим нивелированием (см. § 74). Такая высотная съемочная сеть создается при съемках с высотой сечения рельефа 1; 0,5 и 0,25 м (на спланированных участках);

2) пункты тахеометрических ходов, прокладываемых на местности при съемках с высотой сечения рельефа 2 м и более. Горизонтальные углы в тахеометрических ходах измеряют теодолитом ТЗО одним полным приемом (см. § 45), расстояния — дальномером в прямом и обратном направлениях. Превышения между точками определяют тригонометрическим нивелированием в прямом и обратном направлениях. Расхождения допускаются не более 4 см на каждые 100 м расстояния.

Допустимую угловую невязку в тахеометрическом ходе рассчитывают по формуле

$$f_{\beta}^{\text{доп}} = \pm 1' \sqrt{n},$$

где n — число углов в ходе.

Допустимая абсолютная невязка определяется как

$$f_{\text{абс}}^{\text{доп}} = \frac{L}{400 \sqrt{N}},$$

где L — длина хода; N — число линий в ходе.

Допустимая высотная невязка равна

$$f_h^{\text{доп}} = \pm 0,04 \frac{L}{\sqrt{N}}, \text{ см,}$$

где L выражено в метрах.

Порядок выбора на местности пикетов остается тот же, что и при мензульной съемке. Однако количество пикетов на единицу площади при тахеометрической съемке увеличивается примерно в 1,2—1,3 раза, что объясняется составлением плана в камеральных условиях. Максимальные расстояния от прибора до топографической рейки при съемке ситуации и рельефа, которые измеряют нитяным дальномером, приведены в табл. 61.

Перед производством съемочных работ должны быть определены постоянные нитяного дальномера (см. § 34).

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 (МО).

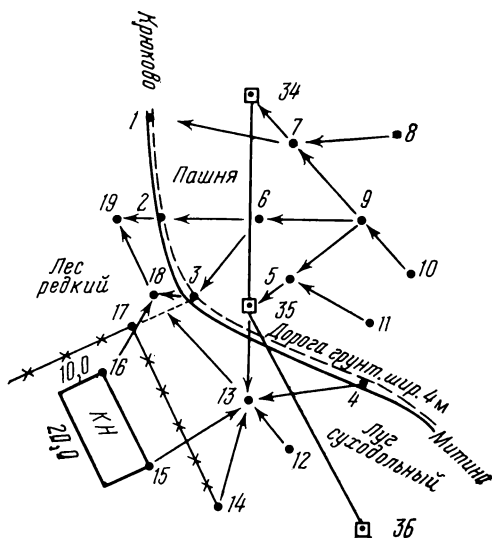


Рис. 85. Абрис тахеометрической съемки

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. При углах наклона более 3° вводят поправку в длину линии, измеренную нитяным дальномером. Результаты съемки фиксируют в журнале и на абрисе (рис. 85), где показывают все пикеты, ситуацию пояснительными подписями или условными обозначениями, а также характерные элементы рельефа — тальвеги, водоразделы, перегибы скатов и пр. Рекомендуются 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 результатов тахеометрической съемки заключается в следующем.

1. Проверяют полевые журналы и составляют схемы съемочного обоснования.

2. Вычисляют угловые и линейные невязки по ходам и устанавливают их допустимость.

3. Уравнивают ходы, вычисляют плоские прямоугольные координаты пунктов съемочной сети.

4. Уравнивают превышения и вычисляют высоты съемочных точек.

5. Вычисляют высоты пикетов и горизонтальные проложения линий, измеренных дальномером. Для определения превышений и горизонтальных проложений теодолитами ТЗО, 2Т5 используют формулы

$$h = 0,5(100l + \Delta) \sin 2v + i - v;$$

$$S = (100l + \Delta) \cos^2 v,$$

где $100l + \Delta$ — расстояние, измеренное по дальномеру; i — высота прибора; v — высота точки наведения; v — угол наклона.

Обычно необходимые величины не вычисляют, а выбирают из тахеометрических таблиц [10].

6. Наносят на план пункты съемочного обоснования и пикеты. Рядом с пикетом пишут его высоту.

7. Используя абрис, на плане строят контуры и объекты местности.

8. Методом линейного интерполирования проводят горизонталы с принятой высотой сечения рельефа.

План вычерчивают в карандаше, тщательно сличают с местностью, после чего вычерчивают тушью.

При оформлении планов можно использовать новые технические средства, например, самоприклеивающиеся переводные изображения (СПИ), которые нашли применение в чертежно-графических и оформительских работах.

Самоприклеивающиеся переводные изображения, не требующие предварительного замачивания в воде, являются разновидностью декалькомании — способа механического перенесения заранее отпечатанного изображения на воспринимающую поверхность. СПИ представляет собой полиграфическое изделие, выполненное методом трафаретной печати, основными элементами которого являются полиэтиленовая пленка, красочная пленка, липкий клеевой слой.

Для нанесения изображения необходимо наложить СПИ клеевой стороной на заданный участок поверхности, которая должна быть гладкой, сухой и чистой, и ориентировать переносимое изображение. После этого с небольшим нажимом потереть его гладким жестким предметом и осторожно удалить пленку. Для более прочного закрепления изображения накладывают на переведенное изображение защитную бумагу и точно так же ее приглаживают.

§ 55. НИВЕЛИРОВАНИЕ ЗАСТРОЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Нивелирование застроенной территории разделяется на нивелирование кварталов, участков, а также проездов. Цель этих работ заключается в получении топографического плана участка местности в масштабах 1 : 1000 или 1 : 2000 с высотой сечения рельефа 0,25—0,5 м.

Нивелирование кварталов делается 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 прокладывается 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 $H_{исх,i}$ и $H_{исх,q}$:

$$ГП_1 = H_{исх,i} + v_1;$$

$$ГП_2 = H_{исх,q} + v_2,$$

где v_1 и v_2 — отсчеты по рейкам, установленным на соответствующих исходных пунктах.

Если $|ГП_1 - ГП_2| \leq 30$ мм, то вычисляют среднее значение

$$ГП = \frac{ГП_1 + ГП_2}{2}$$

с округлением до 0,01 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 пи-

кетов зависит от характера рельефа, принятой высоты сечения и масштаба плана. При съемках в масштабах 1:2000, 1:1000 и 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 $H_{\text{пик}}$ вычисляют по формуле

$$H_{\text{пик}} = \text{ГП} - v,$$

где v — 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.

§ 56. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Контроль качества съемочных работ выполняют камерально и в полевых условиях.

Камерально проверяют: правильность составления схем планового и высотного обоснования; подсчет невязок и их допустимых значений; правильность записей в полевых журналах измерений углов и превышений и др.

В результате камерального контроля делается заключение о качестве выполненных работ, намечается порядок полевого контроля. Полевой контроль производится визуально путем сравнения плана с местностью, а также путем контрольных измерений.

При необходимости контролируют построение планового и высотного съемочного обоснования.

Контроль качества съемки контуров может быть выполнен сравнением:

1) графических координат контурных точек, снятых с плана, с их значениями, вычисленными по измеренным при контроле на местности горизонтальным углам и расстояниям;

2) отрезков между контурными точками на плане с их значениями, найденными из натуральных измерений.

Рассмотрим каждый из способов контроля.

В первом способе с ближайших пунктов контрольного теодолитного хода или контрольных опорных точек, положение которых определено другими способами, делают съемку контролируе-

мых контурных точек, в результате которой получают горизонтальные углы и расстояния, порядок и точность измерения которых с помощью теодолита, ленты или оптического дальномера описаны в § 46. По этим данным вычисляют плоские прямоугольные координаты $x_{0,i}$, $y_{0,i}$ контрольных точек ($i=1, 2, \dots, n$), а затем — разности координат

$$\delta X_i = X_i - X_{0,i};$$

$$\delta y_i = Y_i - Y_{0,i},$$

где X_i и Y_i — графические координаты контурных точек.

Далее находят случайную погрешность положения контурной точки на плане, за которую принимают модуль (абсолютное значение) случайного радиуса-вектора

$$r_i = \sqrt{\delta X_i^2 + \delta Y_i^2}.$$

За критерий качества съемки контуров принимают среднюю погрешность положения, оценка которой по данным контрольных измерений равна

$$\theta_t = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n}.$$

При контроле качества съемки контуров необходимо выделить группы контролируемых объектов:

Группа А. Застроенная территория с многоэтажной капитальной застройкой.

Группа В. Застроенная и незастроенная территории с четкими очертаниями на плане объектов и контуров местности.

Группа С. Застроенная и незастроенная территории с нечеткими очертаниями на плане предметов и контуров местности; горные районы.

Среднюю погрешность съемки контуров следует вычислять для каждой группы контролируемых объектов, при этом число контрольных контурных точек зависит от размера контролируемой территории и составляет 15—25. Вычисленная погрешность θ_t для контролируемых групп объектов не должна превышать данных, представленных ниже.

| Группы контролируемых объектов | А | В | С |
|---|-----|-----|-----|
| Допустимая средняя погрешность положения $\theta_t^{\text{доп}}$ на | | | |
| плане, мм | 0,3 | 0,5 | 0,7 |

За предельную допустимую погрешность Δ_t положения контурной точки на плане принимают величину $\Delta_t = 2\theta_t^{\text{доп}}$. Случайные погрешности r_i не должны превышать этого предела, при этом количество погрешностей r_i , близких по величине к допуску Δ_t , не должно быть более 10% от общего числа контрольных измерений.

Описанный порядок контроля точности топографических планов дает объективную количественную характеристику их качест-

ва в соответствии с принятыми стандартами, в то же самое время он является трудоемким.

На практике часто используют второй способ контроля — сравнение расстояний (отрезков) между близлежащими контурными точками, по результатам которого вычисляют модуль разности

$$|\Delta S_i| = |S_i - S_{o,i}|,$$

где S_i и $S_{o,i}$ — соответственно горизонтальные расстояния между контурными точками, измеренными на плане и местности.

Приняв для близлежащих контурных точек (практически находящихся друг от друга на расстоянии, не превышающем половину средней длины стороны между пунктами съемочной сети на контролируемом участке) разности ΔS_i равноточными, получают оценку средней погрешности расстояния

$$\theta_S = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta S_i|}{n},$$

где n — число контрольных промеров.

Среднюю погрешность θ_t для близлежащих контурных точек можно получить по формуле

$$\theta_t = 1,6\theta_S.$$

При значительном расстоянии между контролируемыми контурными точками принимается $\theta_t = 1,2\theta_S$. Вычисленное по этим формулам значение θ_t не должно превышать установленного допуска (см. выше).

Съемка рельефа контролируется с контрольных станций путем набора контрольных пикетов. Плановое положение пункта при контроле мензульной съемки на незастроенной территории определяется чаще графическими способами (решением задачи Потенота и пр.). Высота пункта определяется не менее чем с двух ближних пунктов съемочного обоснования.

Вычислив высоты контрольных пикетов $H_{k,i}$, находят случайную погрешность ΔH_i высоты точки H_i , рассчитанной по горизонталям плана,

$$\Delta H_i = H_i - H_{k,i}.$$

Оценку средней погрешности высоты точки в условиях одностороннего по сложности рельефа находят по формуле

$$\theta_H = \frac{\sum_{i=1}^n |\Delta H_i|}{n},$$

где n — число контрольных пикетов.

Вычисленные средние погрешности не должны превышать:

для местности с углами наклона до $2^\circ - 1/4$ принятой высоты сечения;

для местности с углами наклона от 2 до 6° для планов масштабов 1:5000 и 1:2000 и до 10° для планов масштаба 1:1000 — 1/3 высоты сечения рельефа.

Для местности с углами наклона свыше 6° для планов масштабов 1:5000 и 1:2000 и более 10° для планов масштабов 1:1000 число горизонталей должно соответствовать разности высот точек, взятых на перегибах скатов, а средние погрешности высот точек, определенных при контроле на характерных местах рельефа, не должны быть 1/3 принятой высоты сечения рельефа.

При съемках в масштабах 1:2000 и 1:5000 с высотой сечения 0,5 м средние погрешности высот точек не должны быть более 0,17 м.

Данные контрольных измерений показывают на кальках высот и контуров цветной тушью, а результаты контроля съемочных работ оформляют соответствующим актом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Взнуздаев С. В., Смирнов А. С.* Теодолит (методические указания). М., МИИЗ, 1980.
2. *Геодезические работы при землеустройстве / А. В. Маслов, Г. И. Горохов, Э. М. Ктиторов и др.* М., Недра, 1976.
3. *Гордеев А. В., Батраков Ю. Г., Труньков И. И.* Математическая обработка результатов измерений триангуляции 2 разряда (методические указания). М., МИИЗ, 1983.
4. *Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.* М., Недра, 1982.
5. *Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного и поселкового строительства СН 212-73.* М., Изд-во литературы по строительству, 1974.
6. *Кемниц Ю. В.* Теория ошибок измерений. М., Недра, 1967.
7. *Лысов Г. Ф.* Поверки и исследования теодолитов и нивелиров в полевых условиях. М., Недра, 1978.
8. *Маслов А. В., Гордеев А. В., Батраков Ю. Г.* Геодезия. М., Недра, 1980.
9. *Неумывакин Ю. К.* Практическое руководство по геодезии для архитектурной службы района. М., Недра, 1979.
10. *Никулин А. С.* Тахеометрические таблицы. М., Недра, 1964.
11. *Практикум по высшей геодезии (вычислительные работы) / И. В. Яковлев, Н. А. Беспалов, В. П. Глузов и др.* М., Недра, 1982.
12. *Салищев К. А.* Картография. М., Высшая школа, 1982.
13. *Условные знаки для топографической карты масштаба 1:10 000.* М., Недра, 1977.
14. *Условные знаки для топографических планов масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500.* М., Недра, 1973.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Абрис** 183, 192
Азимут 57
Алиquotная дробь 5
Базис 162
Вертикальный круг 98, 106
Вес результата измерения 33
Винт 98, 106, 112, 113
Высота прибора 115, 117
Высота сечения рельефа 48, 51, 53
Высота точек 41, 53, 77
Вычисления геодезические 8
Геодезические сети 132
Геодезические сети сгущения 135
Геонд 41, 57
Горизонталь 51
Горизонтальное направление 139
Горизонтальное проложение 42
Государственная плановая сеть 134
Государственная нивелирная сеть 134
Грубые ошибки 6
Дирекционный угол 57, 58
Дисперсия 7
Закрепление пунктов 138
Заложение 49, 55, 76
Засечка линейная 183
 — обратная 177
 — прямая 176
Зоны земной поверхности 39
Зрительная труба 98, 106, 112, 118
Измерения геодезические 4
 — горизонтальных направлений 141, 160
 — горизонтальных углов 160
 — линий лентой 161
 — линий светодальномером 123, 130
 — превышений 117, 118, 156
Исследования теодолита 99, 106
Калька контуров и высот 97, 190
Карта 39
Картографическая проекция 39
Коллимационная ошибка 104
Координатная сетка 47, 59, 67
Координаты 41, 45, 68
Масштабы планов и карт 42, 63, 64, 66, 67
Мензульная съемка 186
Место нуля 98, 119
Меридиан 39, 44, 57, 69
Микроскоп шкаловый 99, 106
 — штриховой 98
Невязка абсолютная 166
 — в превышениях 157
 — в приращениях 166
 — в углах 163
 — относительная 166
Номенклатура топографических планов и карт 43
Номограмма кипрегеля 118
 — тахеометра 117
Обратная геодезическая задача 22
Округление чисел 9, 13
Определение площадей 84
Оптический центрир 111
Ориентирование горизонтального круга 192
Ориентирование линий, карт и планов 56
Ориентирование мензульного планшета 187
Осевой меридиан 39, 41, 58
Отражатель 123, 126
Отсчет 98, 99, 106
Оценка точности измеренных величин 26
Палетки 84, 91
Параллель 39, 44, 45, 46, 69
Передача координат 178
Пикет 188
План топографический 40
Планиметр 88
Планшет 186
Погрешность измерения 5, 8
Полигон 10
Полигонометрия 134
Поправка за компарирование 162
 — наклон линии 161
 — редукцию 140, 145
 — центрировку 140, 145
Постраничный контроль 156
Превышение 52, 53
Предельная погрешность 8
Приращения координат 69
Профиль 80
Прямая геодезическая задача 21
Разграфка топографических планов и карт 43
Рельеф 50
Рен отчетного микроскопа 99, 106
Рчмб 57
Сближение меридианов 48, 59
Скатурих 51, 52
Склонение магнитной стрелки 48, 57
Схема построения полигонометрических сетей 137
 — типовых фигур триангуляции 136
 — съёмочная сеть 158
Съёмка мензульная 186
 — тахеометрическая 191
 — теодолитная 183
Техническое средство измерения 4, 5
Точность визирования 101
 — измерений геодезических 4, 5
 — измерения линий 160
 — измерения углов 139
Точность масштаба 43
Трансверсаль 64
Угол горизонтальный 72
 — наклона 75, 98, 99
Уклон линии 75
Условные знаки 49
Физическая величина 4
Формы рельефа 51
Ход висячий 158
 — мензульный 190
 — нивелирный 156
 — тахеометрический 191
 — теодолитный 160
Центрировочный лист 140
Цифры значащие 12, 14, 15
Числа точные и приближенные 10
Эксцентриситет алидады горизонтального круга 107
Эллипсоид земной 38, 41, 57

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| Предисловие | 3 |
| Глава I. Геодезические измерения и их точность | 4 |
| Глава II. Основы геодезических вычислений | 8 |
| § 1. Общие правила | 8 |
| § 2. Числа точные и приближенные | 10 |
| § 3. Правила арифметических действий с приближенными числами | 13 |
| § 4. Приближенные вычисления с помощью радианной меры угла | 16 |
| § 5. Вычисления на ЭКВМ | 18 |
| Глава III. Оценка точности измеренных величин и их функций | 26 |
| § 6. Общие замечания | 26 |
| § 7. Оценка точности по отклонениям результатов многократных измерений одной величины от ее истинного значения | 26 |
| § 8. Оценка точности по результатам многократных равноточных измерений одной и той же величины | 29 |
| § 9. Оценка точности угловых измерений по невязкам в полигонах и ходах | 30 |
| § 10. Оценка точности по разностям двойных равноточных измерений | 31 |
| § 11. Оценка точности по разностям двойных неравноточных измерений | 32 |
| § 12. Оценка точности функций измеренных величин | 35 |
| Глава IV. Изучение топографических карт и планов | 39 |
| § 13. Общее понятие о картах и планах | 39 |
| § 14. Масштабы планов и карт | 42 |
| § 15. Разграфка и номенклатура топографических планов и карт | 43 |
| § 16. Внешнее оформление листов карт и планов | 47 |
| § 17. Топографические условные знаки | 49 |
| § 18. Изображение рельефа на картах и планах | 50 |
| § 19. Ориентирование карт и планов | 56 |
| § 20. Составление кратко топографического описания участка карты или плана | 61 |
| Глава V. Измерения на картах и планах | 62 |
| § 21. Определение расстояний между заданными точками | 62 |
| § 22. Определение масштаба карты, плана и аэрофотоснимка | 67 |
| § 23. Определение координат точек на топографических картах и планах | 68 |
| § 24. Измерение углов на картах и планах | 72 |
| § 25. Определение уклонов линий местности на карте | 75 |
| § 26. Определение высот точек, расположенных между горизонталями | 77 |
| § 27. Описание рельефа по заданному маршруту | 78 |
| § 28. Построение профиля по заданной линии | 80 |
| § 29. Проектирование водоема | 82 |
| § 30. Проведение на карте линии заданного уклона | 83 |
| Глава VI. Определение площадей | 84 |
| § 31. Общие сведения | 84 |
| § 32. Измерение площадей на планах и картах | 87 |
| § 33. Порядок определения площадей земельных участков | 92 |
| Глава VII. Геодезические приборы, их поверки и юстировки | 97 |
| § 34. Теодолиты | 97 |
| § 35. Нивелиры | 111 |
| § 36. Тахеометр Дальта 010А | 116 |
| § 37. Кипрегель КН | 118 |
| § 38. Светодальномер 2СМ2 | 120 |
| § 39. Светодальномер СМ5 | 126 |
| Глава VIII. Построение геодезического обоснования | 132 |
| § 40. Назначение и классификация геодезических сетей | 132 |
| § 41. Схемы построения плановых геодезических сетей сгущения | 135 |
| § 42. Измерение горизонтальных направлений на пунктах триангуляции 1 и 2 разрядов | 139 |
| § 43. Математическая обработка результатов измерений триангуляции 1 и 2 разрядов | 142 |
| § 44. Высотная геодезическая сеть сгущения | 156 |
| § 45. Геодезическая съемочная сеть | 158 |
| § 46. Техника геодезических измерений в теодолитных ходах и микротриангуляции | 160 |
| § 47. Уравнивание одиночного теодолитного хода | 163 |
| § 48. Уравнивание системы теодолитных ходов с одной узловой точкой | 167 |
| § 49. Определение координат пункта геодезическими засечками | 175 |
| § 50. Передача координат с вершины знака на землю | 178 |
| Глава IX. Топографические съемки | 181 |
| § 51. Общие требования и содержание съемочных работ | 181 |
| § 52. Теодолитная съемка | 183 |
| § 53. Мензуральная съемка | 186 |
| § 54. Тахеометрическая съемка | 191 |
| § 55. Нивелирование застроенной территории | 194 |
| § 56. Контроль качества топографической съемки | 195 |
| Список литературы | 198 |
| Предметный указатель | 199 |

45 коп.

НЕДРА

THE UNIVERSITY OF CHICAGO PRESS