

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

Уважаемый читатель!

Если вы скопируете данный файл,
Вы должны незамедлительно удалить его сразу после ознакомления с содержанием.
Копируя и сохраняя его Вы принимаете на себя всю ответственность, согласно действующему международному законодательству .
Все авторские права на данный файл сохраняются за правообладателем.
Любое коммерческое и иное использование кроме предварительного ознакомления запрещено.

Публикация данного документа не преследует никакой коммерческой выгоды. Но такие документы способствуют быстрейшему профессиональному и духовному росту читателей и являются рекламой бумажных изданий таких документов.

528(04)
X35
Б.С. ХЕЙФЕЦ, Б.Б. ДАНИЛЕВИЧ

ПРАКТИКУМ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ



ВВЕДЕНИЕ

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Для решения научно-технических и практических задач геодезии необходимо: 1) составление проекта геодезических работ; 2) выполнение геодезических измерений согласно проекту при помощи специальных геодезических инструментов; 3) математическая вычислительная обработка этих измерений, включая оценку их точности, и 4) графическое оформление результатов измерений.

Перечисленные этапы решения геодезических задач, разнообразных по содержанию и назначению объединяются общей теорией; в свою очередь, выполнение каждого из этапов основывается на теоретических и методических положениях и вытекающих из них правилах; знание и соблюдение последних необходимо для получения требуемых результатов с установленной точностью, характеризующей качество геодезических работ.

Описание методов решения задач геодезии, их теория и обоснование приведены в учебнике; в настоящем практикуме излагаются практические правила и указания по производству типовых процессов и видов геодезических работ; эти правила и указания основаны на теоретических положениях и опыте. Поэтому выполнению лабораторных и практических заданий непременно должно предшествовать изучение студентами соответствующих разделов учебника. Без этого исполнение указанных заданий превращается в механическую, мало полезную работу, не способствующую приобретению необходимых знаний по предмету и правильных навыков практической работы по геодезии.

В вводной части настоящей главы перечислены основные общие этапы комплекса геодезических работ. Остановимся кратко на их важнейших особенностях для учета в процессе изучения курса геодезии.

1. Проект геодезических работ. Намечаемые к исполнению геодезические работы и результаты их по содержанию, точности, характеру и оформлению должны соответствовать определенным требованиям, которые устанавливаются в проекте производства геодезических работ.

На практике имеют место два основных случая.

Первый случай. Геодезические работы по своим результатам должны отвечать заранее установленным стандартным

требованиям; это известные, типовые виды геодезических работ (проложение триангуляционных, полигонометрических и нивелирных сетей установленных классов и разрядов, топографические съемки стандартных масштабов, инженерно-геодезические работы для строительства различного характера и вида).

В этом случае составление проекта заключается в выборе и обосновании целесообразных методов и технологии работ в технико-экономическом отношении с учетом физико-географических условий района работ. Работы выполняются по действующим общеобязательным инструкциям, утверждаемым Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР.

Второй случай. Геодезические работы должны быть выполнены для проектирования и строительства нетипичных, уникальных сооружений или должны производиться, чтобы обеспечить геодезическими данными решение новых научно-технических задач в области как собственно геодезии, так и других смежных с ней наук. В этом случае производится разработка проекта геодезических работ, удовлетворяющих особым требованиям, вытекающим из их назначения; эта разработка нередко составляет самостоятельную научно-исследовательскую работу.

В настоящем практикуме вопросы разработки самостоятельных проектов не получили отражения; в нем приводятся сведения и указания по выполнению геодезических работ для наиболее типичных и массовых случаев практики.

Учитывая развитие строительства в СССР, в том числе сооружений уникального характера, а также технический прогресс во всех областях народного хозяйства, инженер-строитель обязан знать о необходимости в соответствующих случаях проектирования геодезических работ на основе специальных разработок исследовательского характера.

2. Геодезические измерения при помощи геодезических инструментов. Этот раздел является важнейшим в практической геодезии. Получение надлежащих результатов геодезических работ, выполняющихся по технически правильно составленному проекту, зависит главным образом от квалифицированного исполнения полевых геодезических измерений. Для этого производителю геодезических работ необходимо знать:

- 1) устройство геодезических инструментов, условия и требования, которым должен удовлетворять каждый тип инструмента;
- 2) теорию исследований и проверок геодезических инструментов;
- 3) теорию методов измерений, выполняемых различными инструментами, включая методические правила с их обоснованием, обеспечивающие максимальное ослабление влияния или исключение случайных и систематических погрешностей измерений и безусловное предупреждение грубых ошибок (промахов) в результатах измерений;

4) правила обращения с геодезическими инструментами, порядков, приемы и способы производства исследований, проверок и калибровок геодезических инструментов и приведение инструментов в рабочее состояние;

5) практические правила, приемы и способы производства данного вида измерений, методически правильные и соответствующие теории; способы контроля измерений как в процессе их выполнения, так и в заключительной их части.

Знания по первым трем пунктам должны быть получены при изучении учебника; указания по выполнению пунктов 4 и 5 содержатся в практикуме.

Учитывая значение и характер рассматриваемого раздела геодезических работ, необходимо обращать особое внимание на:

а) приведение геодезического инструмента в рабочее состояние, отвечающее требованиям теоретической его схемы и должного сопряжения отдельных его частей;

б) тщательное и аккуратное соблюдение методических правил производства измерений, вытекающих из их теории, в всесторонний учет внешних условий, способных оказывать влияние на точность измерений.

Следует особо отметить исключительную важность этих требований; в результате выполнения их достигается повышение как производительности труда, так и качества результатов измерений.

Конечно, чем выше класс измерений, чем выше точность, которая при этом должна быть достигнута, тем многочисленнее и разнообразнее рассматриваемые требования, подлежащие учету и выполнению. Но в измерениях средней и малой точности тщательность и вдумчивое исполнение всех операций при геодезических измерениях необходимы не в меньшей мере, потому что они выполняются более простыми, менее точными инструментами, возможности которых должны быть использованы полностью.

В заключение еще раз отметим, что небрежное отношение к инструменту, отклонения от методически правильных приемов измерений, недостаточно полный учет внешних условий непременно вызовут снижение качества измерений и работы в целом.

Большое внимание должно быть обращено на соблюдение правил обращения с инструментами, их упаковки, установки, транспортировки и т. п. Эти правила и соответствующие указания изложены в прилож. 3; их следует тщательно изучить и точно выполнять; знание их составит один из элементов при приеме и оценке лабораторных заданий.

3. Вычислительная обработка геодезических измерений может быть разбита условно на следующие этапы:

а) вычислительные действия простейшего — арифметического характера (проверка вычислений в журналах наблюдений, составление сводок результатов измерений, вычисление среднего арифметического из многократных результатов измерений одной величины и т. п.);

б) совместная математическая обработка измерений — уравнивательные вычисления по методу наименьших квадратов с целью получения вероятнейшего значения искомых величин;

в) оценка точности результатов измерений и получение окончательных данных.

Все вычислительные операции по математической обработке результатов измерений должны выполняться с соблюдением правил техники вычислений, некоторые из них приведены далее, в § 2.

Математическая обработка результатов измерений (уравнивательные вычисления) при выполнении инженерно-геодезических работ и топографических съемок в редких случаях выполняется строго по методу наименьших квадратов; обычно уравнивание осуществляется упрощенными способами; выполнение уравнивательных вычислений предусмотрено учебной программой занятий в строительных вузах лишь для простейших случаев.

Не останавливаясь на деталях выполнения уравнивательных вычислений в геодезии, отметим главнейшие положения, которые всегда следует иметь в виду при математической обработке результатов геодезических измерений:

1) вычисления по точности должны быть выполнены таким образом, чтобы погрешности собственно вычислений не снизили достигнутой точности натурных, полевых измерений;

2) в результате вычислений все несогласия в геометрических фигурах, образованных при выполнении геодезических измерений, должны быть полностью устранены;

3) применение нестрогих, упрощенных способов математической обработки неизбежно и допустимо, особенно в геодезических сетях малой точности; однако отступление от строгих методов должно быть таково, чтобы не вызвать недопустимых искажений результатов непосредственных измерений.

Заметим, что применение самых строгих методов вычислений не улучшит геодезическую сеть плохого полевого исполнения; в то же время неправильный метод математической обработки может недопустимо деформировать, испортить геодезическую сеть отличного полевого исполнения.

В современных условиях вычислительные работы производятся с применением ЭВМ.

4. **Графическое оформление результатов измерений.** Графические работы нередко составляют существенную часть работ по геодезии. По характеру требований они могут быть разделены на два вида.

К первому виду относятся графические работы, в результате которых создаются документы, где не ставится цель

возможно точного графического изображения элементов, составляющих содержание данного документа (чертежа, плана и т. д.). К числу таких работ относятся: составление схем геодезических сетей, абрисов, различных чертежей и схем с указанием взаимного расположения различных объектов при решении инженерно-геодезических задач и т. п.; к этой же группе графических геодезических документов следует отнести и планы глазомерной съемки.

Главные требования к такого рода графическим документам следующие: 1) полнота, т. е. на документе-чертеже должны быть показаны все объекты и элементы, которые определяют содержание документа; 2) правдоподобие, т. е. возможное соответствие графического документа натуре и в первую очередь правильность взаимного расположения элементов, составляющих содержание графического построения; в некоторых случаях в известных пределах за счет точности допустимо некоторое утрирование в изображении на чертеже расположения отдельных объектов; 3) полная читаемость содержания графического документа — отчетливость и ясность написанных цифр, слов, их сокращения и т. п., при пользовании условными знаками — отчетливое изображение как самих знаков, так и границ их действия.

Изложенные требования сохраняют силу как в отношении графических документов, создаваемых в полевых условиях, так и в отношении документов, вычерчиваемых в камеральных условиях (например, схем расположения ходов геодезического обоснования, профилей местности с нанесенными на них осями будущих сооружений и т. п.). При составлении и оформлении графических документов рассматриваемого вида в камеральных условиях по возможности выдерживается масштаб чертежа. Должно быть обращено большое внимание на внешнее оформление графических документов — расположение надписей и применение определенных шрифтов, соблюдение элементарных правил черчения и т. п.

Геодезические графические документы, создаваемые в камеральных условиях, должны иметь строгий характер, но в то же время быть внешне красивыми и в известной степени изящными (путем подбора средств оформления, приемов симметрии, аккуратностью исполнения и т. п.).

Второй вид графических работ характеризуется тем, что к их результатам предъявляются требования возможно точного изображения элементов содержания составляемого документа. Типичными и массовыми документами в геодезии этого рода являются топографические карты и планы, элементы содержания которых графически должны быть отображены по данным измерений с максимальной для графических построений точностью. Соответственно этому принимается графиче-

ская точность нанесения точки — 0,1—0,2 мм; линии на топографических планах проводятся толщиной 0,15 мм. Далее в соответствующем разделе практикума изложены практические указания по графическому оформлению результатов топографических съемок; здесь же отметим только следующее: изображение элементов местности осуществляется при помощи условных знаков (см. § 16 учебника) с соблюдением правил топографического черчения. Заметим, что действительная точность изображения элементов планов зависит от точности и полноты полевых измерений. В общем случае точность определения элементов плана на местности должна быть выше точности графических построений (конечно, это условие предъявляется к точкам, положение которых определяется инструментально).

Изложенное полностью относится к методу тахеометрической съемки, который подробнее других изучают в строительных вузах; эти сведения как общие положения справедливы и для других методов съемок, хотя в деталях у них имеются некоторые особенности.

В практике инженерно-геодезических работ может возникать потребность в создании точных геодезических чертежей, схем и т. п., кроме топографических планов. Способы точных графических построений в этом случае не имеют каких-либо особенностей и укладываются в правила технического и топографического черчения.

Все требования, предъявляемые к первому случаю графических построений (приближенных), в случае точных построений полностью сохраняются; большинство из них выполняется автоматически.

Учебная программа подразделяется на две части — общую, излагаемую на первом курсе, и специальную, предназначенную для использования на старших курсах. Практикум охватывает вопросы общей части программы курса геодезии — единой для всех строительных специальностей.

Практические указания по выполнению лабораторных заданий на старших курсах в своей специальной части должны быть индивидуализированы для каждой специальности и в настоящий практикум не включены.

Вычислительные операции и графические работы входят составной частью в том или ином объеме при исполнении почти всех видов геодезических работ. Основные указания по выполнению вычислений приведены ниже. Эти вопросы как вводные должны быть проработаны по указанию руководителя до выполнения основных заданий. Некоторые элементарные указания по выполнению графических работ в геодезии даны ниже. Имеется в виду, что параллельно студенты изучают как самостоятельную дисциплину техническое черчение, а позднее будут изучать вычислительную технику.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ПРАВИЛА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

А. Некоторые сведения о результатах геодезических измерений

Исходными данными для геодезических вычислений являются, как правило, числовые значения элементов некоторых геометрических построений на земной поверхности. Посредством вычислений определяются числовые значения других элементов согласно функциональным зависимостям, существующим между измеренными и вычисляемыми элементами.

Результаты геодезических измерений всегда приближены, хотя степень приближения к истинному значению измеряемой величины может быть очень высокой. Степень приближения, или точность измерений, зависит от многих факторов и, как правило, в первую очередь от применяемого инструмента и программы измерений. Например, при помощи тесьмяной рулетки можно измерить расстояние в несколько десятков метров с погрешностью до 1 см; точнее, например до 1 мм, измерение указанного расстояния тесьмяной рулеткой выполнить невозможно. Результаты такого измерения следует записать до сантиметра или, при многократном измерении, до 0,1 см, т. е. с удержанием одного запасного знака.

Указанная приближенность результатов геодезических измерений существенно отлична от приближенных значений величин математического происхождения, например иррациональных и трансцендентных чисел $\sqrt{10}$, π , e и др., которые могут быть точно вычислены с любым количеством десятичных знаков.

Б. Общие соображения о точности геодезических вычислений

Точность геодезических вычислений должна соответствовать точности исходных данных — результатов измерений. Погрешности исходных данных как аргументов переходят на вычисляемые значения при применении самых строгих формул и безошибочности вычислений. Накопление ошибок вычислений возрастает при увеличении числа арифметических действий; в этом случае целесообразно увеличивать точность вычислений на один знак. Накопление погрешностей зависит от вида и конкретного выражения функции, при помощи которой производится вычисление искомой величины. При уравнительных вычислениях, когда результат вычислений можно рассматривать как некоторое среднее из многократных измерений, вычисления ведутся с удержанием одного и даже двух запасных знаков.

Точность измерений и вычислений характеризуется погрешностями. В последующем, в главе, посвященной теории погреш-

ностей измерений, будут рассмотрены вопросы оценки точности измерений. Здесь лишь поясним понятия абсолютной и относительной погрешности измерений.

Абсолютной погрешностью числа называют разность между приближенным и точным (или принимаемым за точное) значением этой величины. Но абсолютная погрешность не всегда характеризует точность измеренной или вычисленной величины. В качестве примера укажем, что измерить расстояние в 1 м с погрешностью 1 см не составляет труда. Для измерения же расстояния в 10 км с погрешностью 1 см необходимо наличие специальной аппаратуры и применение достаточно сложной теории методов измерений и вычислений. Поэтому используется еще понятие относительной погрешности, под которой понимают отношение абсолютной погрешности измеренной величины к самой величине. В приведенном примере для первого случая относительная погрешность составит 1/100, а во втором 1/1 000 000. Следовательно, при измерении расстояния имеет значение и его величина; поэтому при линейных измерениях вычисляется относительная погрешность. При измерении углов величина последних на результат измерений угломерным прибором не влияет, и относительные погрешности результатов угловых измерений не вычисляют; точность угловых измерений характеризуется абсолютными погрешностями.

Особо остановимся на правилах округления.

При округлении приближенных чисел ставится условие, чтобы возникающая при этом ошибка была минимальной. Отсюда следует: если отбрасываемая часть числа меньше пяти, то последняя сохраняемая цифра остается без изменения; если больше пяти, то сохраняемая цифра увеличивается на единицу. Если отбрасываемая цифра равна пяти, то условились, чтобы в результате округления сохраняемая цифра была четной.

Дадим понятие о значащих цифрах данного числа, под которым будем понимать все цифры, начиная с левой, не равной нулю, независимо от того, является ли данное число целым, дробным или смешанным (например, числа 35862, 3,5862; 0,35862 — с пятью значащими цифрами). Обычно стремятся обеспечить правильность всех значащих цифр, за исключением последней правой; это легко достигается в отношении приближенных чисел математического происхождения. В приближенных цифрах, получаемых из геодезических измерений и вычислений, нередко могут быть ошибочными и предпоследние числа с правой стороны. Последнее имеет место при отсутствии достаточных данных о действительной точности измерений, и удержание дополнительного знака имеет целью предупредить возможное снижение точности вычисленных результатов. Иногда дополнительный знак сохраняется для более точного соблюдения математических или геометрических условий, которым должны удовлетворять вычисленные величины.

При вычислении и округлении следует иметь в виду, что сохранение или введение лишнего знака снижает производительность труда вычислительных работ; вычисления с недостаточным числом знаков снижают достигнутую в полевых условиях точность результатов.

В. Некоторые основные правила вычислений

1. При сложении и вычитании приближенных чисел в результате сохраняют столько десятичных знаков, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством десятичных знаков (плюс один запасной знак). Например, перед сложением числа:

$$\begin{array}{r} 26,364 \\ 0,78 \\ 131,3 \\ \hline 1246,232 \end{array}$$

округляют следующим образом:

$$\begin{array}{r} 26,36 \\ 0,78 \\ 131,3 \\ 1246,23 \\ \hline 1404,67 \end{array}$$

Полученный результат округляют до 1404,7.

2. При умножении и делении приближенных чисел в результате сохраняют столько десятичных знаков, сколько их имеется в числе с наименьшим количеством значащих цифр. Например, после умножения чисел 3,4 и 0,4783 полученный результат 1,62622 округляют до двух значащих цифр 1,6 (плюс один запасной знак).

3. Из предыдущего правила следует, что при умножении или делении чисел с разным количеством значащих цифр оставляют для вычислений такое их количество, какое содержится в числе с наименьшим количеством знаков (плюс один запасной). Так, в приведенном в пункте 2 примере следует умножать числа 3,4 и 0,478.

4. При возведении числа в степень в результате сохраняют столько значащих цифр, сколько их содержится в приближенном числе.

5. При извлечении корня сохраняется столько значащих цифр, сколько их было в извлекаемом числе.

6. Если результат получается после произведения нескольких арифметических действий, то в промежуточных итогах удерживается на один знак больше. Это необходимо для правильного округления конечного результата.

7. При логарифмических вычислениях надо пользоваться таблицами логарифмов с количеством знаков на единицу больше, чем количество значащих цифр в числе с наименьшим их количеством. Это же правило применяется при работе с таблицами натуральных тригонометрических функций.

Г. Общие правила и рекомендации выполнения геодезических вычислительных работ

1. При вычислениях цифры следует писать четко, аккуратно, целые под целыми, дробные под дробными, соответственно их значениям и порядку; опыт показывает, что при аккуратных и четких записях цифр, внешне красиво оформленных вычислительных ведомостях и формулярах ошибки вычислений появляются реже и в целом производительность труда возрастает.

2. Все вычисления, в том числе вспомогательные, ведутся сразу пабело; никаких черновых вычислений не должно быть; вычисления карандашом не допускаются.

3. Пользование резинкой при вычислениях не разрешается; неверно записанную или вычисленную цифру следует зачеркнуть, а правильную выписывать сверху.

4. Все вычисления должны сопровождаться контролем. Лучшей системой контроля является получение одинакового результата вычислений при применении различных формул или различных путей вычислений. Особое внимание при этом следует обращать на правильность выписки исходных данных из полевых геодезических журналов и сводок результатов измерений.

При невозможности осуществления контроля указанным выше способом вычисления следует производить независимо в «две руки» (т. е. независимо двумя вычислителями).

При несовпадении контрольных результатов вычисления следует тщательно повторить и в первую очередь в той их части, которая используется для получения не совпавших при контроле результатов. Из анализа полученных при контроле несовпадений результатов вычислений при известном опыте почти всегда можно с некоторой достоверностью определить вероятное место допущенной ошибки.

Отметим, что изложенные выше указания и правила контроля вычислений относятся к случаю, когда вычисления производятся при помощи счетных линеек, логарифмов, арифмометров, ЭКВМ, что и имеет место при выполнении заданий, рассмотренных в практикуме. При использовании современных вычислительных средств контроль вычислительных операций предусматривается программой вычислений, вследствие чего результаты их не могут быть ошибочными (при условии правильно взятых исходных для вычислений данных).

Д. Формулы погрешностей вычислений функций измеренных величин

1. Общие формулы.

Пусть $a_1, a_2, \dots, a_n$ — непосредственно измеренные величины;
 $\Delta a_1, \Delta a_2, \dots, \Delta a_n$ — погрешности величин $a_1, a_2, \dots, a_n$

$$F = f(a_1, a_2, \dots, a_n).$$

Взяв полный дифференциал функции (1) и заменив его конечными разностями, напомним для погрешности функции F

$$\Delta F \approx \Delta a_1 \frac{\partial F}{\partial a_1} + \Delta a_2 \frac{\partial F}{\partial a_2} + \dots + \Delta a_n \frac{\partial F}{\partial a_n}. \quad (2)$$

Относительная погрешность функции F выразится так:

$$\frac{\Delta F}{F} = \left[\frac{\partial F}{\partial a_1} \frac{\Delta a_1}{F} \right] + \left[\frac{\partial F}{\partial a_2} \frac{\Delta a_2}{F} \right] + \dots + \left[\frac{\partial F}{\partial a_n} \frac{\Delta a_n}{F} \right]. \quad (3)$$

2. Погрешности отдельных функций.

На основании общих формул (2) и (3) получим формулы для различных функций F .

а. Сложение аргументов

$$F = a_1 + a_2 + \dots + a_n,$$

$$\Delta F = \Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n.$$

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \dots + \Delta a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n},$$

или

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{a_1 \Delta a_1}{F a_1} + \frac{a_2 \Delta a_2}{F a_2} + \dots + \frac{a_n \Delta a_n}{F a_n}.$$

б. Умножение

$$F = a_1 \cdot a_2$$

$$\Delta F = F \frac{\Delta a_1}{a_1} + F \frac{\Delta a_2}{a_2} + \dots + F \frac{\Delta a_n}{a_n} = F \sum_{i=1}^n \frac{\Delta a_i}{a_i},$$

откуда

$$\frac{\Delta F}{F} = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta a_i}{a_i};$$

полученная формула справедлива для частного $F = \frac{a_1}{a_2}$.

в. Возведение в степень

$$F = a^n;$$

допустим, что

$$\frac{\Delta a_1}{a_1} = \frac{\Delta a_2}{a_2} = \dots = \frac{\Delta a_n}{a_n},$$

тогда

$$\Delta F = Fn \frac{\Delta a}{a}$$

$$\frac{\Delta F}{F} = n \frac{\Delta a}{a}.$$

г. Для дробной степени

$$F = a^{\frac{k}{s}}, \quad \frac{\Delta F}{F} = \frac{k}{s} \frac{\Delta a}{a}.$$

Если $\frac{k}{s} = \frac{1}{2}$ (квадратный корень), то

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{1}{2} \frac{\Delta a}{a}.$$

д. Логарифмические вычисления.

Погрешность при логарифмических вычислениях зависит от:
1) логарифмирования, 2) арифметических действий с логарифмами (аналогичные рассмотренным выше) и 3) потенцирования.

Погрешности при логарифмировании и потенцировании

$$F = \lg a,$$

$$\lg a = M \ln a,$$

где $\lg a$ — десятичный логарифм, M — модуль десятичного логарифма = 0,43429, $\ln a$ — натуральный логарифм,

$$\Delta F = M \frac{\Delta a}{a},$$

$$\Delta F < \frac{1}{2} \frac{\Delta a}{a}.$$

Из формулы (3) следует формула для вычисления погрешности в логарифме длины s по известной относительной погрешности

$$\frac{\Delta s}{s}$$

$$m_{\lg s} = \frac{\Delta s}{s} M 10^n$$

и обратная формула

$$\frac{\Delta s}{s} = \frac{m_{\lg s}}{M 10^n}.$$

Раздел I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Глава I

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ КАРТЫ И ПЛАНЫ

§ 1. ПОПЕРЕЧНЫЙ МАСШТАБ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ *

Поперечный масштаб служит для измерения расстояний на топографических картах и планах и откладывания на них отрезков заданной длины.

Каждому отрезку на диаграмме поперечного масштаба в заданном численном масштабе соответствует определенный отрезок на местности, сообразуясь с этим и подписывают диаграмму. На рис. 1 дана подпись для плана в масштабе 1 : 500; длина основания

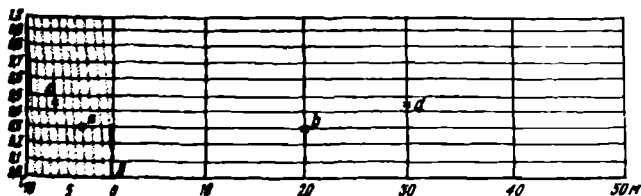


Рис. 1. Поперечный масштаб

масштаба равна 10 м, а длина наименьшего отрезка, составляющего $\frac{1}{100}$ часть основания, — 0,1 м.

Чтобы определить расстояние между заданными точками на плане с помощью поперечного масштаба, берут это расстояние в раствор циркуля и устанавливают циркуль таким образом, чтобы его правая игла находилась на одной из вертикалей, а левая — на одной из наклонных линий крайнего левого основания масштаба. При этом обе иглы циркуля-измерителя должны находиться на одной горизонтальной линии. В примере на рис. 1 длины линий в масштабе 1 : 500 таковы: $ab = 23,3$ м; $cd = 36,45$ м. Из примера видно, что длина измеряемой линии может быть оце-

* См. § 13 учебника «Измерения геодезия», М., «Недра», 1976.

пена с погрешностью, равной половине наименьшего деления диаграммы поперечного масштаба; в данном случае с погрешностью 0,05 м.

§ 2. ОФОРМЛЕНИЕ ЛИСТА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ

Рассмотрим фрагмент листа учебной топографической карты в масштабе 1 : 25 000 (рис. 2); стороны листа карты являются отрезками меридианов и параллелей и образуют внутреннюю рамку этого листа, имеющую форму трапеции. В каждом углу рамки указывается его широта и долгота, например: широта и долгота юго-западного угла равны соответственно $50^{\circ} 30'$ и $65^{\circ} 52' 30''$, северо-западного — $50^{\circ} 35'$ и $65^{\circ} 52' 30''$ и т. д. Рядом с внутренней расположена минутная рамка карты, деления которой соответствуют одной минуте широты и долготы. На некоторых картах этого масштаба деления образуют интервалы в $10''$.

Между внутренней и минутной рамками выписываются ординаты вертикальных и абсциссы горизонтальных линий координатной (километровой) сетки. Расстояние между соседними линиями одного направления равно целому числу километров. Так, для карты масштаба 1 : 200 000 оно составляет 4 км, для карты масштаба 1 : 100 000 — 2 км, для карт масштабов 1 : 50 000, 1 : 25 000 и 1 : 10 000 — 1 км. Надписи 11704,05 ..., 11712 означают, что ординаты соответствующих километровых линий равны 704, 705, ..., 712 км; цифра 11 является номером зоны системы координат Гаусса—Крюгера, в которой находится данный лист (см. § 8 учебника). Значения ординат превышают 500 км; следовательно, лист расположен к востоку от осевого меридиана, долгота которого равна

$$\lambda_0 = 6^{\circ} 11' - 3^{\circ} = 3^{\circ}.$$

Вдоль западной и восточной сторон внутренней рамки выписаны абсциссы горизонтальных линий километровой сетки: 5601, 5602, ..., 5609 км.

Оцифровкой километровых линий пользуются для приближенного определения положения точек, заданных на карте. Для этого указывают две последние цифры значений координат километровых линий (сокращенные координаты) юго-западного угла квадрата, в котором находится определяемая точка. При этом вначале указывается сокращенная абсцисса (например, вместо 5601 указывают 01), а затем сокращенная ордината (например, вместо 705 указывают 05).

В тех случаях, когда лист карты расположен на границе двух зон, на его внешней рамке обозначают выходы километровых линий соседней зоны. На рис. 3 изображена часть листа карты; западная сторона его внутренней рамки является границей 5-й и 6-й зон. Если соединить прямыми линиями одноименные выходы километровых линий на противоположных сторонах листа рамки,

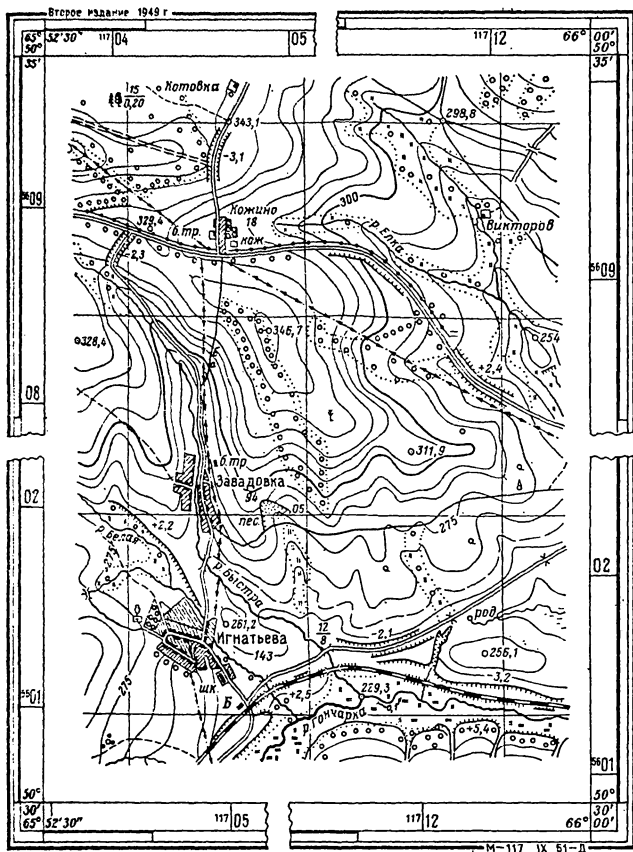


Рис. 2. Фрагмент учебной топографической карты 1 : 25 000,
карты М-41-60-Б-г

латура

то эти линии образуют продолжение километровой сетки западной (5-й) зоны. Это позволит определять прямоугольные координаты точек на стыке двух зон в единой системе координат, в данном случае — в системе 5-й зоны.

В разрывах всех четырех сторон минутной и примыкающей к ней внешней рамки карты указывается номенклатура четырех смежных листов того же масштаба. Номенклатура данного листа подписывается более крупным шрифтом над северной стороной

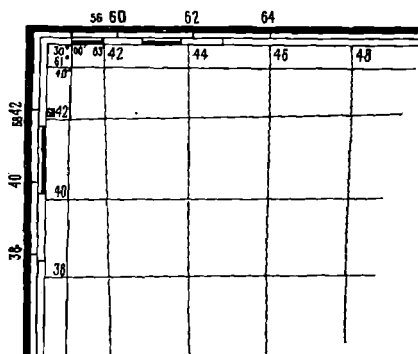


Рис. 3. Дополнительная координатная сетка на стыке двух зон

внешней рамки; рядом в скобках приводится название крупнейшего в пределах листа населенного пункта. Под серединой южной стороны рамки указывается численный масштаб и вычерчивается соответствующий ему линейный масштаб карты; еще ниже приведена принятая высота сечения рельефа.

В пояснительной надписи под юго-западным углом рамки содержатся данные о склонении магнитной стрелки δ , сближении меридианов γ и величине угла между северным направлением «вертикальных» километровых линий и магнитного меридиана (отклонение магнитной стрелки). В дополнение к этому взаимное расположение истинного, осевого и магнитного меридианов представлено на специальном графике слева от масштаба.

Под юго-восточным углом рамки строится масштаб заложений для углов наклона, указываются год съемки, фамилия лица, ее выполнившего, год выпуска карты.

§ 3. СОСТАВЛЕНИЕ КРАТКОГО ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ УЧАСТКА, ВЫДЕЛЕННОГО НА КАРТЕ

Для инженера-строителя топографическая карта служит важнейшим источником разнообразных сведений о природных и социально-экономических условиях района, размещении наме-

чаемого объекта строительства, необходимых для разработки оптимальных проектных решений. С помощью карты инженер-строитель получает первое, нередко подробное комплексное представление о геодезической изученности местности, формах и характере ее рельефа, растительности, гидрографии, сырьевых и топливно-энергетических ресурсах, существующих промышленных предприятиях, населенных пунктах, путях сообщения и средствах связи. Все эти данные составляют содержание топографической карты и изображаются на ней при помощи площадных и немасштабных условных знаков и пояснительных подписей; поэтому умение «читать» топографическую карту и при ее помощи получать наиболее полно необходимые сведения о местности крайне важно для инженера-строителя любой специальности.

В результате ознакомления по карте с участком строительства составляют его топографическое описание, в котором должно быть освещено следующее:

- 1) наличие на участке пунктов геодезических сетей и их количество (геодезическая изученность района);
- 2) общая характеристика рельефа местности;
- 3) гидрография (реки, озера, болота);
- 4) растительность;
- 5) населенные пункты и их краткая характеристика;
- 6) железные и шоссейные дороги.

Ниже приводится пример на составление краткого топографического описания участка, ограниченного «вертикальными» километровыми линиями 11707—709 листа М-41-60-Б-г.

Участок расположен в холмистой пересеченной местности, изрезанной оврагами, наиболее высокое место находится северо-западнее пос. Кожино (горизонталь с отметкой 355).

Геодезическую основу участка составляют точки съемочной сети: 256,1, 261,2, 311,9, 346,7, 328,4, 329,4, 298,8 и 343,1.

На юге участок пересекается рекой Гончаркой с притоками Белой и Быстрой; у его северной границы протекает река Елка. Скорость реки Гончарки равна 1 м/с.

Пойма реки Гончарки заболочена. Лес встречается отдельными массивами; на северо-западе — смешанный с преобладанием лиственных пород, средняя высота деревьев 15 м, толщина на уровне груди 0,20 м. В центре участка ведется разработка строительных материалов (песчаный карьер).

Наибольший населенный пункт — деревня Игнатьева, имеющая 143 двора и школу. Другие населенные пункты: деревня Завадовка (94 двора), пос. Кожино (18 дворов) с кожевенной фабрикой (все три упомянутые деревни электрифицированы).

Участок пересекают: железная дорога (на юге участка), шоссе (у пос. Кожино) и улучшенные грунтовые дороги, проходящие через деревни Игнатьева и Завадовка и примыкающие к шоссе. Мост на улучшенной грунтовой дороге к востоку от Игнатьева длиной 12 м и грузоподъемностью 8 т.

§ 4. НОМЕНКЛАТУРА ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ *

Основу номенклатуры советских карт составляет лист карты масштаба 1 : 1 000 000 с размерами рамки 6° по долготе и 4° по широте. Номенклатура листов этого масштаба состоит из заглавной буквы латинского алфавита, обозначающей пояс, и цифры, указывающей номер колонны.

М-41

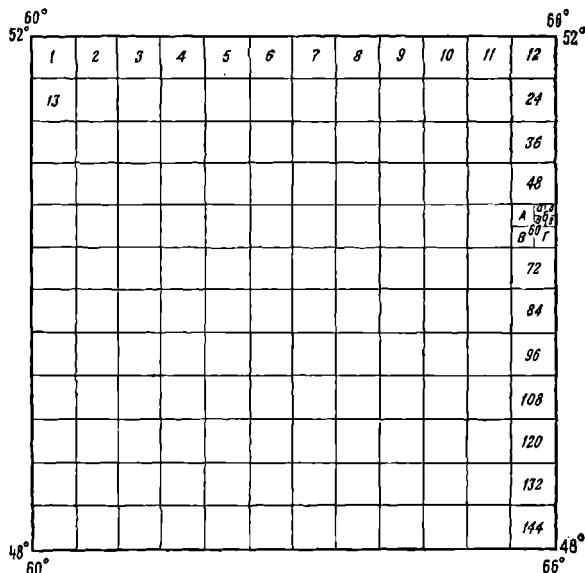


Рис. 4. Разграфка и обозначение листов топографических карт масштаба 1 : 10 000

Как пример рассмотрим последовательность образования номенклатуры листа М-41-60-Б-г, начиная от масштаба 1 : 1 000 000 (рис. 4).

Лист М-41 делится на 144 листа масштаба 1 : 100 000, обозначаемых цифрами 1, 2, 3, ..., 144. Лист этого масштаба с порядковым номером 60 будет иметь номенклатуру М-41-60.

Одному листу карты М-41-60 масштаба 1 : 100 000 соответствуют 4 листа карты масштаба 1 : 50 000, обозначаемых буквами А, Б, В и Г; номенклатура второго листа этого масштаба будет М-41-60-Б (см. рис. 4).

* См. § 13 учебника.

Делением этого листа на 4 получают 4 листа карты масштаба 1 : 25 000: эти листы обозначают буквами а, б, в, г; номенклатура последнего листа будет М-41-60-Б-г.

Лист карты масштаба 1 : 25 000 делится на четыре листа карты масштаба 1 : 10 000 (рис. 5). Номенклатура последнего листа карты этого масштаба будет М-41-60-Б-г-4.

М-41-60

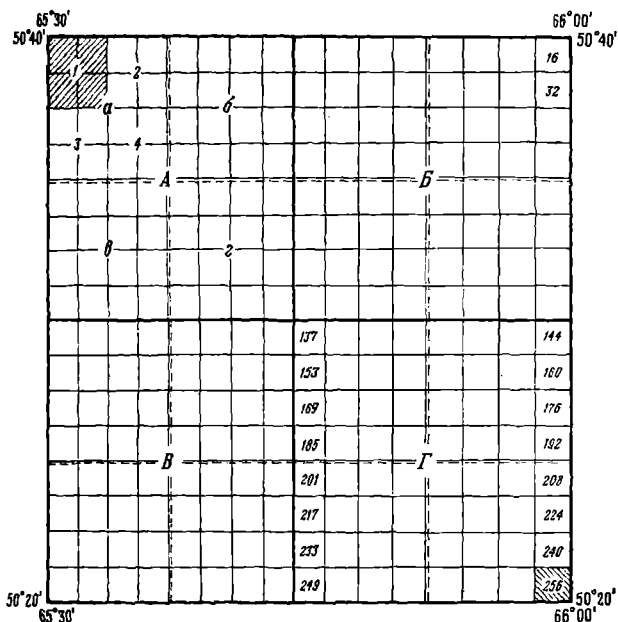


Рис. 5. Разграфка и обозначение листов топографических карт масштаба 1 : 50 000, 1 : 25 000, 1 : 10 000 и 1 : 5 000

Основной номенклатуры карт масштаба 1 : 5 000 является лист карты масштаба 1 : 100 000, который делится на 256 листов карты масштаба 1 : 5 000. Номенклатура последнего листа карты масштаба 1 : 5 000 будет М-41-60-(256).

Для получения номенклатуры карт масштаба 1 : 2 000 лист карты масштаба 1 : 5 000 делится на 9 частей; их обозначают строчными буквами русского алфавита. Так, номенклатура последнего листа карты масштаба 1 : 2 000 составит М-41-60-(256-и).

Данные о размерах отдельных листов топографических карт в зависимости от их масштаба и образцы номенклатуры приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Масштаб	Размер листа		Образцы номенклатуры
	по широте	по долготе	
: 1 000 000	4°	6°	M-41
: 500 000	2°	3°	M-41-A
: 200 000	40'	1°	M-41-XXX
100 000	20'	30'	M-41-60
50 000	10'	15'	M-41-60-B
25 000	5'	7' 30"	M-41-60-B-г
10 000	2' 30"	3' 45"	M-41-60-A-a-1
5 000	1' 15"	1' 52,5"	M-41-60-(256)
2 000	25"	37,5"	M-41-60-(256-и)

Согласно «Основным положениям по созданию топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500» для планов, создаваемых на участки площадью менее 20 кв. м, как правило, применяется прямоугольная разграфка с размерами рамок для масштаба 1 : 5000 — 40×40 см, а для масштабов 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 — 50×50 см. В этом случае за основу разграфки принимается лист карты масштаба 1 : 5000, обозначаемый арабскими цифрами. Ему соответствуют четыре листа масштаба 1 : 2000, каждый из которых обозначается присоединением к номеру листа масштаба 1 : 5000 одной из заглавных букв (А, Б, В, Г) русского алфавита, например, 14-Б.

Листу карты масштаба 1 : 2000 соответствуют четыре листа масштаба 1 : 1000, обозначаемых римскими цифрами (I, II, III, IV) и 16 листов масштаба 1 : 500, обозначаемых арабскими цифрами (1, 2, ..., 16).

В соответствии с этим номенклатура листа масштаба 1 : 1000, например, будет 14-Б-IV и для масштаба 1 : 500 — 14-Б-16.

В практике инженера-строителя часто возникает необходимость подбора нескольких листов карт определенного масштаба на район строительства. В этом случае он должен указать их номенклатуру; она может быть определена, если известны географические координаты какого-либо пункта, расположенного в пределах данного листа.

П р и м е р. Пусть требуется определить номенклатуру листа карты масштаба 1 : 100 000, на котором находится пункт с широтой $\varphi = 50^{\circ} 31'$ и долготой $\lambda = 65^{\circ} 56'$. Вначале определим, к какому листу миллионного масштаба относится искомый лист. Для этого разделим долготу пункта на соответствующий размер рамки (см. табл. 1); получим $65^{\circ} 56' : 6^{\circ} = 10 + (5^{\circ} 56' \text{ в остатке})$; значит, номер зоны, в котором находится лист, равен 11, а номер колонны — на 30 единиц больше, т. е. 41.

Делением широты пункта на 4° получим номер пояса: $50^\circ 31' : 4^\circ = 12 + (2^\circ 31' \text{ в остатке})$; таким образом, номер пояса 13, что соответствует букве М латинского алфавита. Следовательно, номенклатура миллионного листа М-41.

Так как долгота западной рамки этого листа равна 60° (см. рис. 4), а длина рамки листа масштаба 1 : 100 000 равна $30'$ (см. табл. 1), имеем

$$\frac{65^\circ 56' - 60^\circ}{30'} = 11 + (26' \text{ в остатке}).$$

Значит, лист масштаба 1 : 100 000 лежит в 12-й колонне листа М-41. По широте северной рамки последнего ($\varphi = 52^\circ$, см. рис. 4) аналогично находим

$$\frac{52^\circ - 50^\circ 31'}{20'} = 4 + (9' \text{ в остатке});$$

следовательно, требуемый лист масштаба 1 : 100 000 лежит в пятом горизонтальном ряду листа М-41, откуда номер листа масштаба 1 : 100 000 будет 60; его номенклатура М-41-60.

Для упрощения определения номенклатуры карт пользуются специальными сводными таблицами (бланковыми картами), т. е. схематическими мелкомасштабными картами, разделенными меридианами и параллелями на листы более крупного масштаба.

§ 5. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ НА ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЕ *

1. Определение географических координат точки, заданной на топографической карте.

Для определения широты φ_A точки А (рис. 6) проводят через эту точку параллель (т. е. линию, параллельную южной стороне рамки карты). Находят расстояние от этой параллели до южной стороны рамки, оценивая секунды на глаз ($37''$). Так как широта южной рамки равна $54^\circ 40'$, искомая широта точки А равна

$$\varphi_A = 54^\circ 40' 37''$$

Долготу точки А находят аналогично, проведя через точку А истинный меридиан. Для данного примера

$$\lambda_A = 18^\circ 00' 32''$$

2. Определение прямоугольных координат точки, заданной на топографической карте (рис. 7).

Приняв за оси координат частной системы километровые линии 6601 и 9704, опускают на них из определяемой точки (В) перпендикуляры Δx и Δy , длины которых измеряют по поперечному масштабу. Для данного примера:

$$x_B = 6601\,000 \text{ м} + \Delta x = 6601\,550 \text{ м},$$

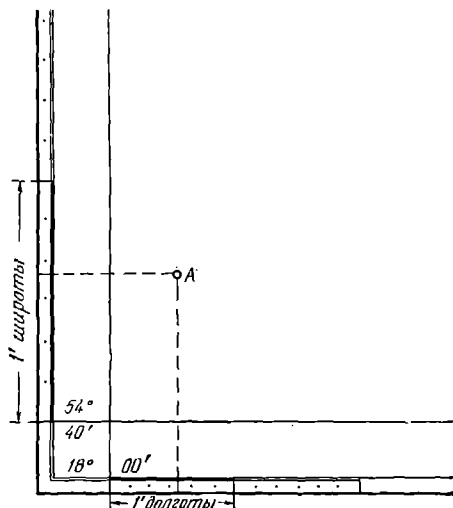
$$y_B = 9704\,000 \text{ м} + \Delta y = 9704\,415 \text{ м}.$$

* См. § 7 учебника.

3. Определение дирекционного угла, истинного и магнитного азимутов линии, заданной на карте.

Пусть требуется определить дирекционный угол линии KL (рис. 8, а). Продолжают линию KL до пересечения с ближайшей вертикальной километровой линией (4311). Приложив к точке пересечения O ноль транспортира и совместив его нулевой диаметр с километровой линией, отсчитывают по часовой стрелке угол α

Рис. 6. Определение географических координат точки на топографической карте



от северного направления. На рис. 8, а этот угол равен $\alpha = 328^\circ 30'$

Из схемы расположения осевого (линия сетки), истинного и магнитного меридианов, приведенной под южной стороной рамки карты (рис. 8, б), видно, что истинный азимут A линии KL меньше дирекционного угла α той же линии на величину сближения меридианов $\gamma = 2^\circ 21'$. Следовательно,

$$A = \alpha - \gamma = 328^\circ 30' - 2^\circ 21' = 326^\circ 09'.$$

В свою очередь, магнитный азимут A_m линии KL меньше истинного азимута той же линии на величину склонения магнитной стрелки $\delta = 6^\circ 15'$, т. е.

$$A_m = A - \delta = 326^\circ 09' - 6^\circ 15' = 319^\circ 54'.$$

4. Определение отметки точки, заданной на топографической карте,

Пусть требуется определить отметку H точки C , расположенной между смежными горизонталями с отметками H_1 и H_2 (рис. 9). Проводят через точку C прямую, нормальную к горизонталям, и измеряют миллиметровой линейкой отрезки e и d . Искомая отметка найдется из соотношения

$$H_C = H_1 + \Delta h,$$

где

$$\Delta h = \frac{e}{d} (H_2 - H_1).$$

5. Определение крутизны ската

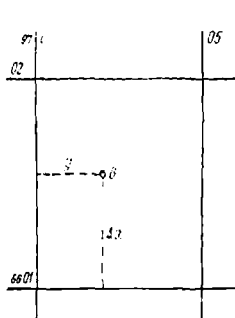
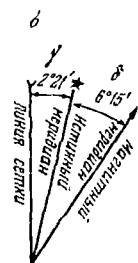
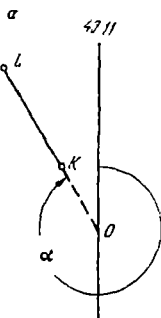


Рис. 7. Определение прямоугольных координат точки на карте



топографической

Рис. 8. Определение дирекционного угла линии на топографической

Для решения этой задачи на топографических картах имеется специальный график, называемый масштабом заложений (рис. 10). Вдоль его горизонтальной оси (основания) отложены значения углов наклона, а на перпендикулярах к ней — соответствующие им заложения в масштабе карты. Вершины перпендикуляров соединены кривыми. Левая часть графика рассчитана для основной высоты сечения рельефа, правая — для пятикратного ее значения.

Пусть требуется определить крутизну ската вдоль отрезка ef (см. рис. 10). Взяв отрезок ef в раствор циркуля, перемещают нижнюю ножку циркуля вдоль основания основного (левого) масштаба заложений до тех пор, пока верхняя точка не окажется на кривой. В данном примере крутизна ската равна $1,5^\circ$.

При малых значениях заложений пользуются правой частью масштаба. Для этого определяют длину заложения между соседними утолщенными горизонталями. Например, для отрезка mn (см. рис. 10) крутизна ската равна $7,5^\circ$.

В инженерной практике крутизна ската характеризуется также уклоном i , вычисляемым по формуле (рис. 11)

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{a}. \quad (1.1)$$

Если линия задана между горизонталями плана, то h есть высота сечения рельефа и a — заложение, определяемое по плану.

Рис. 9. Определение отметки точки на топографической карте

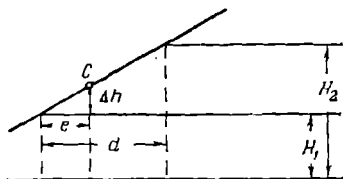
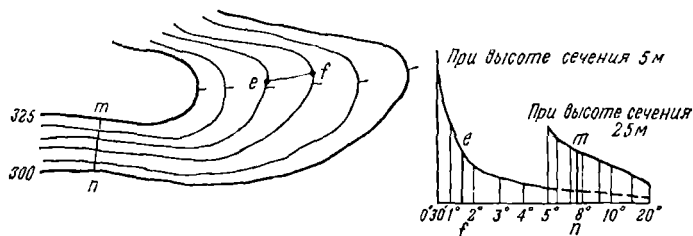
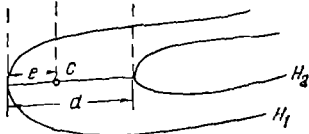


Рис. 10. Определение крутизны ската линии по масштабу заложений



Для работы удобнее построить специальный масштаб заложений для уклонов и пользоваться им, как было описано ранее.

При проектировании инженерных сооружений нередко возникает необходимость быстро определять на глаз уклоны на отдельных участках карты. В этом случае рекомендуется следующий способ.

Для нормальной высоты сечения h имеем (см. § 87 учебника)

$$h = 0,2M \text{ мм.} \quad (1.2)$$

Подставив в формулу (1.1) значение a в сантиметрах, согласно (1.2) получим

$$i = \operatorname{tg} \nu = \frac{h}{a_{\text{см}} M}. \quad (1.3)$$

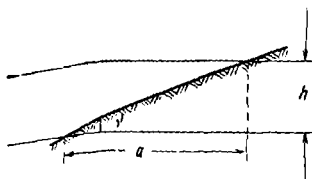
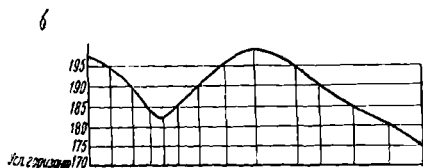
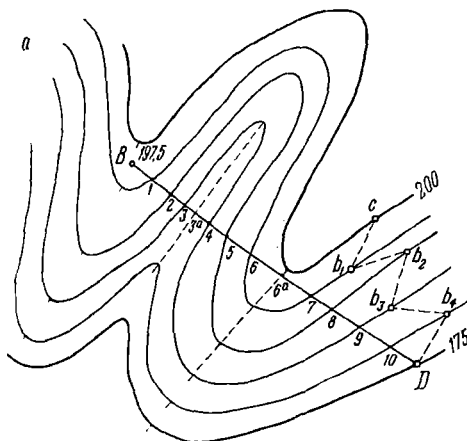


Рис. 11. Вычисление уклона линии

Рис. 12. Построение профиля по заданному на карте направлению



Опметки	197,5	195	190	185	182	185	190	195	198,5	195	190	185	180	175	1,5 CM
Расстояние	80	71	45	49	41	56	71	68	68	57	80	80	75		1 CM
	1	1	2	3	3 ^a	4	5	6	6 ^a	7	8	9	10	11	

1,5 см

1 см

Из формул (1.2) и (1.3) имеем

$$i = \frac{0,02 \text{ см}}{a_{\text{см}}}.$$

При $a_{\text{см}} = 1 \text{ см}$ имеем $i = 0,02$. Следовательно, для карт с нормальной высотой сечения рельефа независимо от их масштаба заложению в 1 см соответствует уклон 0,02 (двадцать тысячных). Это значит, что уклон линии во столько раз больше или меньше 0,02, во сколько раз величина соответствующего заложения меньше или больше 1 см.

6. Построение профиля по заданному направлению.

Пусть на участке карты масштаба 1 : 10 000 задано направление BD (рис. 12, а), по которому нужно построить профиль. Точки пересечения направления с горизонталями нумеруют. На листе миллиметровой бумаги строят графы расстояний и отметок (рис. 12, б). В графу расстояний в масштабе карты переносят длины соответствующих интервалов (расстояние между точками пересечения направления со всеми горизонталями, а также с характерными линиями рельефа — тальвегом и водоразделом). В графу отметок записывают высоты соответствующих точек. Над всеми перенесенными точками от линии условного горизонта восставляют перпендикуляры и на них в масштабе в 10 раз крупнее горизонтального (т. е. в масштабе 1 : 1000) откладывают отметки горизонталей и точек B , $3a$, $6a$ и концы перпендикуляров соединяют плавной кривой линией; при этом отметку точки B вычисляют рассмотренным ранее способом, положение же точек $3a$ и $6a$ на тальвеге и водоразделе определяют на пересечении встречных линий скатов.

7. Проведение на карте линии заданного уклона.

Для проведения между точками C и D (см. рис. 12, а) линии с уклоном, не превышающим i , берут в раствор циркуля соответствующее заложение по масштабу заложений или вычисленное по формуле (1.1). Из точки C этим раствором засекают на соседней горизонтали точку b_1 ; далее из точки b_1 тем же радиусом a засекают точку b_2 на следующей горизонтали. Последовательными аналогичными укладываниями отрезка a между отдельными соседними горизонталями получают ломаную линию $Cb_1b_2b_3b_4D$, уклон которой в пределах точности построения составит заданную величину i .

Задачи 6 и 7 находят широкое применение в инженерной практике, в частности, при проектировании сооружений линейного типа — железных и шоссейных дорог, каналов и т. п.

8. Проведение границ водосборной площади.

От заданного створа водотока (точка P , рис. 13) проводят кривую линию, нормальную к горизонтали 167,5, затем продолжают эту линию по водоразделу до высоты 181,8; на этом участке эта линия также нормальна к горизонталям, пересекая их в местах наибольшей кривизны. Аналогично проводят границу водосбор-

ной площадью от точки Р к высоте 183,4. Между высотами 181,8 и 183,4 эта граница пройдет по гребню седловины нормально к горизонталям образующих ее холмов.

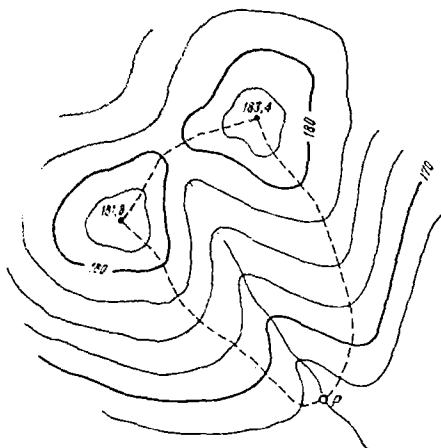


Рис. 13. Проведение на карте границ водосборной площади

Примерное содержание лабораторных занятий с топографической картой

1. Численный масштаб; его точность.
2. Построение диаграммы поперечного масштаба; отложение на диаграмме поперечного масштаба заданных расстояний.
3. Номенклатура листа топографической карты; определение номера зоны и долготы осевого меридиана зоны.
4. Изучение условных топографических знаков.
5. Изучение рельефа, изображенного на листе топографической карты.
6. Масштабы заложений; определение по масштабам заложений крутизны ската.
7. Построение профиля местности по заданному на карте направлению.
8. Проведение на карте линии заданного уклона.
9. Проведение границ водосборной площади.
10. Измерение по карте длин кривых линий при помощи курвиметра.
11. Определение географических координат точек, заданных на карте.

12. Определение прямоугольных координат точек, заданных на карте.

13. Определение дирекционного угла линии на топографической карте.

14. Вычисление истинного и магнитного азимутов по топографической карте.

Д о п о л н и т е л ь н ы е в о п р о с ы

1. Подсчет объемов водохранилищ по горизонталям карты при помощи планиметра.

2. Расчет нормальной высоты сечения рельефа для карт различных масштабов.

3. Расчет искажения длин линий в проекции Гаусса—Крюгера.

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется точностью масштаба и как эта точность определяется?

2. Поясните понятия: масштабные и внес масштабные условные топографические знаки.

3. Что называется азимутом, румбом, дирекционным углом?

4. Поясните зависимость между азимутами, румбами, дирекционными углами.

5. Как определяется долгота осевого меридиана зоны, в которой расположен данный лист карты?

6. Для чего служит дополнительная координатная сетка на стыке двух зон?

7. Можно ли по номенклатуре листа карты масштаба 1:10 000 определить номер зоны, в которой расположен этот лист?

8. Как по прямоугольным координатам точки определить номер зоны, в которой она находится?

9. Покажите по карте основные формы рельефа.

10. Что называется высотой сечения рельефа?

11. Как по топографической карте определить крутизну ската?

12. В каких случаях применяется прямоугольная разграфка топографических планов?

Г л а в а II

ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПО КАРТАМ И ПЛАНАМ

Площади контуров, изображенных на картах и планах, могут быть определены графическим, аналитическим, механическим и другими способами.

Указания по применению графического способа вследствие его простоты не приводятся.

Ниже рассмотрены два последних способа определения площадей.

Механический способ определения площадей, при котором чаще всего пользуются полярным планиметром, находит широкое применение в инженерно-геодезических работах — выдел участков под строительство, подсчет объемов земляных работ, объемов водохранилищ и др. Этот способ рассмотрен подробнее.

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАНИМЕТРА *

Полярный планиметр (рис. 14) состоит из трех основных частей: полюсного рычага 1, обводного рычага 2 и счетного механизма 3 с установочным винтом 10.

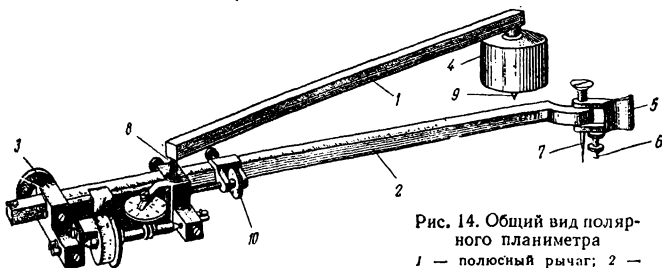


Рис. 14. Общий вид полярного планиметра

1 — полюсный рычаг; 2 — обводный рычаг; 3 — счетный механизм; 4 — груз; 5 — ручка; 6 — оппорный штифт; 7 — обводный шпиль; 8 — шарнир; 9 — игла; 10 — установочный винт

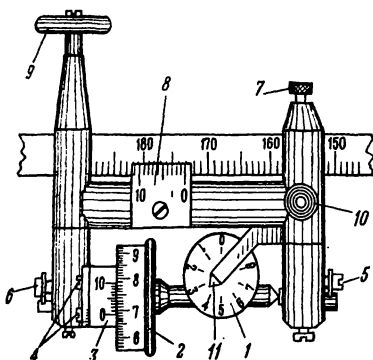


Рис. 15. Счетный механизм планиметра

1 — циферблат; 2 — счетное колесо; 3 — верньер счетного колеса; 4 — винты регулировки зазора между верньером и счетным колесом; 5, 6 — винты регулировки счетного колеса; 7 — закрепительный винт каретки счетного механизма; 8 — верньер шкалы обводного рычага; 9 — опорный ролик; 10 — место соединения рычагов; 11 — указатель. Отсчет по счетному механизму 3684, отсчет по шкале обводного рычага 173,3

На одном конце полюсный рычаг имеет груз 4 с иглой 9, накалываемой на бумагу и служащей полюсом планиметра; на другом — штифт 8 с шаровой головкой, при помощи которого полюсный рычаг соединяется с обводным.

Каретка счетного механизма может передвигаться вдоль обводного рычага. От положения каретки зависит длина обводного

* См. § 18 учебника.

рычага, считаемая от обводного шпилья 7 до шарнира. Длина обводного рычага определяется по нанесенной на нем шкале при помощи верньера 8 (рис. 15).

На конце обводного рычага имеется ручка 5 (см. рис. 14), обводный шпиль 7 и опорный штифт 6. Последний является одной из опорных точек планиметра. Опорный штифт должен быть ввинчен так, чтобы острое обводного шпилья при обводе контура фигуры, площадь которой определяют, не царапало бумагу.

Счетный механизм (см. рис. 15) также состоит из трех частей: циферблата 1, счетного колеса 2 и верньера 3. Циферблат отмечает полные обороты счетного колеса. Цилиндрическая поверхность последнего разделена на 100 частей. Верньер дает возможность отсчитывать десятые доли делений счетного колеса.

Полный отсчет (см. рис. 15) выражается четырехзначным числом. Первой его цифрой (3) является номер младшего штриха циферблата, прошедшего указатель, второй — номер младшего подписанного штриха (6) счетного колеса, прошедшего нуль верньера, третьей — порядковый номер младшего неподписанного штриха (8) счетного колеса, прошедшего нуль верньера, четвертой — номер штриха (4) верньера, совпадающего с каким-либо штрихом счетного колеса.

Показанный на рис. 15 отсчет 3684 выражает 3,684 оборота счетного колеса (от начала счета). Одному обороту циферблата соответствует оборот счетного колеса на 10 000 делений.

Сущность определения площадей планиметром состоит в следующем. Пусть полюс планиметра установлен вне фигуры, площадь которой определяют, а обводный шпиль — в одной из точек контура этой фигуры.

Берут отсчет u_1 до начала обвода. Медленно перемещая обводный шпиль вдоль контура по ходу движения часовой стрелки, доводят его до исходной точки и производят второй отсчет u_2 . Разность отсчетов $\Delta u = u_2 - u_1$ даст число делений планиметра (отвлеченное число), соответствующее площади фигуры. Для контроля контур фигуры обводят дважды и вычисляют среднее число делений $\Delta u_{\text{ср}}$.

Чтобы площадь P фигуры выразить в гектарах или в квадратных метрах, надо знать цену деления c планиметра, т. е. площадь (га, м²), соответствующую одному делению планиметра, и умножить ее на полученное число делений, тогда

$$P = c \Delta u_{\text{ср}}. \quad (11.1)$$

Цену деления c планиметра определяют из опыта. Для этого обводят фигуру, площадь P_0 которой заранее известна (например, квадрат километровой сетки топографической карты). При этом условии цена деления планиметра определится из выражения

$$c = \frac{P_0}{\Delta u_{\text{ср}}}. \quad (11.2)$$

Правила работы с планиметром при обводе контура фигуры состоят в следующем.

1. План (карту) при помощи кнопок натягивают на гладкой горизонтальной поверхности.

2. Устанавливают полюс планиметра вне обводимого контура, белю обводят его и убеждаются в том, что углы между рычагами будут не менее 30° и не более 150° и что обводное колесо не соскакивает с листа плана или карты.

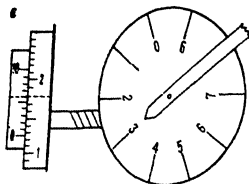
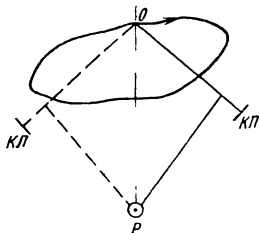
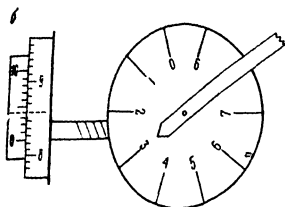


Рис. 16. Производство отсчетов по счетному механизму планиметра

а — отсчет 3126; б — отсчет 2824

Рис. Проверка планиметра



3. Начальную точку контура для установки обводного шпилья выбирают так, чтобы в начале обвода счетное колесо вращалось медленно.

4. Ручку обводного рычага надо держать свободно, без напряжения, чтобы рычаг опирался на бумагу только своей тяжестью.

5. Обвод по контуру производят равномерно, не быстро, но и не очень медленно, так, чтобы глаз различал надписи штрихов на вращающемся счетном колесе.

6. Если при обводе контура по ходу движения часовой стрелки второй отсчет оказался меньше первого, то к нему прибавляют 10 000 (при обводе контуров фигур большой площади прибавляют $n \cdot 10\,000$, где n — число полных оборотов циферблата).

7. Вращающиеся части планиметра, как правило, имеют люфт, а потому при обводе контура расположение штрихов циферблата относительно указателя может не соответствовать положению счетного колеса. Например, на рис. 16, а и б против указателя циферблата установился третий штрих, однако в первом случае отсчет будет 3126, а во втором 2824. В подобной ситуации риско-

мендуется придерживаться следующего правила. Если на счетном колесе против нуля верньера окажутся цифры 0, 1, 2, то по циферблату отсчитывают ту цифру, которая стоит против его указателя; если же против нуля верньера на счетном колесе окажутся цифры 8, 9, то по циферблату отсчитывают не ту цифру, что стоит против указателя, а соседнюю, младшую.

Поверки и юстировки планиметра

Перед работой планиметр следует поверить, т. е. убедиться в выполнении следующих условий.

1. Счетное колесо должно свободно, но без колебательных движений вращаться на оси.

Регулировка хода счетного колеса производится с помощью винтов 5 и 6 (см. рис. 15).

После регулировки и закрепления винтов зазор между счетным колесом 2 и верньером 3 должен быть минимальным — через зазор должен проходить лист тонкой бумаги. Ширина зазора регулируется винтом 4.

2. Плоскость ободка счетного колеса должна быть перпендикулярна к оси обводного рычага.

Для проверки этого условия обводят один и тот же контур при двух положениях счетного механизма * (рис. 17): при положении каретки счетного механизма вправо (КП) и влево (КЛ) относительно линии OP , соединяющей обводный шпиль и полюс планиметра.

Полученные значения площади (в делениях планиметра) должны различаться между собой на величину, не превышающую $\frac{1}{200}$ среднего арифметического из них. При большем расхождении для исключения систематической погрешности, возникающей из-за неперпендикулярности плоскости ободка счетного колеса к оси обводного рычага, определение площади следует производить при двух положениях каретки счетного механизма и из результатов измерений вычислять среднее арифметическое.

Определение цены деления планиметра

Цену деления планиметра определяют по формуле (II.2).

За известную прием площадь P_0 квадрата километровой сетки топографической карты масштаба 1 : 10 000, составляющую 100 га. Для удобства обвода контура квадрата последний выбирают в середине листа карты.

Результаты работы записывают в ведомость вычисления площадей планиметром (табл. 2).

Над таблицей записывают номер планиметра (он обозначен на каретке счетного механизма), масштаб карты, а также длину R обводного рычага.

* Поверка выполняется при остром (среднем) угле между рычагами.

Т а б л и ц а 2

Ведомость вычисления площадей планиметром
Планиметр № 3613. Масштаб карты 1 : 10 000. $R = 185,5$

№ п/п	Положе- ние счетного механиз- ма	Отсчеты		Средние разности	Среднее из двух полуприе- мов $\Delta u_{\text{ср}}$	Приме- чание
2		3	4	5	6	7

1. Определение цены деления планиметра

2	КП	8 154 (2)	8321 (3)	1032 (7)	1030 (15)
		7 123 (1)	7287 (4)		
		1 081 (5)	1034 (6)		
	КЛ	10 156 (9)	9845 (10)	1028 (14)	
		9 127 (8)	8817 (11)		
		1 029 (12)	1028 (13)		

2. Определение площади участка

2	КП	2 716 (2)	3225 (3)	2050 (7)	2046 (15)
		0 668 (1)	1172 (4)		
		2 048 (5)	2053 (6)		
	КЛ	3 400 (9)	3342 (10)	2042 (14)	
		1 356 (8)	1302 (11)		
		2 044 (12)	2040 (13)		

Выбрав начальную точку обвода (см. правила работы с планиметром при обводе контура, стр. 36), производят первый отсчет u_1 и записывают в графу 3. Обводят квадрат по ходу движения часовой стрелки, в исходной точке производят второй отсчет u_2 и записывают его над отсчетом u_1 в той же графе.

Слегка смещают полюс (чтобы изменить путь счетного колеса), вновь устанавливают обводный шпиль над начальной точкой, производят отсчет u_3 и записывают в графу 4. Обводят контур квадрата, на этот раз против хода движения часовой стрелки, производят отсчет u_4 и записывают его под отсчетом u_3 .

Порядок записей и обработки данных указан в таблице цифрами в скобках.

Разности $u_2 - u_1$ и $u_3 - u_4$ выражают площадь квадрата в делениях планиметра. Расхождение между этими разностями не должно превышать:

- 2 единицы при площади до 200 делений,
- 3 единицы при площади до 200—2000 делений,
- 4 единицы при площади свыше 2000 делений.

При допустимом расхождении из двух значений площади вычисляют среднее, округляют до целых делений и записывают в графу 5.

На этом заканчивается первый полуприем. Второй полуприем выполняют аналогично, но при другом положении каретки счет-

ного механизма. Так как первый полуприем был выполнен при КП, то второй полуприем следует выполнять при КЛ.

Вычислив среднее значение Δu_{cp} из результатов обвода контура квадрата при КП и КЛ, вычисляют цену деления планиметра.

Очевидно,

$$c = \frac{100 \text{ га}}{1030} = 0,0971 \text{ га.}$$

Определение площади участка

Порядок определения площадей участков, изображенных на картах, тот же, что и при определении цены деления планиметра.

Пример записи результатов обвода контура участка при определении его площади приведен в табл. 2.

После нахождения среднего числа делений планиметра, соответствующих искомой площади, последнюю вычисляют по формуле (II.1)

$$П = 0,0971 \cdot 2046 = 198,7 \text{ га.}$$

Для удобства вычислений при определении площадей планиметром (при большом объеме работ) можно изменить длину обводного рычага так, чтобы цена деления выражалась круглым числом. Так, в приведенном примере удобнее иметь цену деления $c_1 = 0,1$ га. Соответственно этому длину обводного рычага R_1 находят из соотношения

$$R_1 = \frac{R}{c} c_1 = \frac{185,5}{0,0971} 0,1 = 191,0 \text{ га.}$$

Вычисленную длину обводного рычага устанавливают на его шкале при помощи верньера 8 (см. рис. 15).

Проф. А. В. Маслов дополнил полярный планиметр второй кареткой со счетным механизмом. Обводный шпиль заменен увеличительной лупой с целиком-точкой. Эти изменения конструкции планиметра увеличивают точность его работы. Такой планиметр может быть использован и как обычный, если отсчеты производить по одному из счетных механизмов.

§ 7. ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ УЧАСТКА ПО КООРДИНАТАМ ЕГО ВЕРШИН

Площадь участка, вершины которого обозначены по ходу движения часовой стрелки (рис. 18), может быть вычислена по формулам

$$\left. \begin{aligned} П &= \frac{1}{2} \sum_1^n x_i (y_{i+1} - y_{i-1}) \\ П &= \frac{1}{2} \sum_1^n y_i (x_{i-1} - x_{i+1}) \end{aligned} \right\} . \quad (II.3)$$

Для примера вычислена площадь участка, координаты пяти вершин которого приведены в графах 2 и 3 табл. 3.

Порядок вычислений ясен из рассмотрения таблицы. Контроль вычислений приведен в графах 4 и 5: алгебраическая сумма разностей координат должна быть равна нулю.

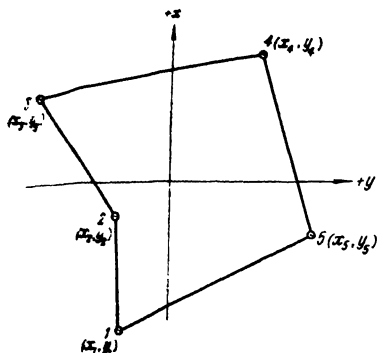


Рис. 18. Определение площади участка по координатам его вершин

Допустимая погрешность вычисления площадей аналитическим способом равна $\frac{1}{1000}$. Для значения площади, полученной в табл. 3, это составит 84 м². В силу этого перед вычислением значения координат можно округлить до 0,1 м, а произведения в графах 6 и 7 — до 1 м, так как такое округление приведет к погрешности площади всего в несколько квадратных метров.

Т а б л и ц а 3

Вычисление площади полигона по координатам его вершин

№ вершины	Координаты, м					
	x_i	y_i	$y_{i+1} - y_{i-1}$	$x_{i-1} - y_{i+1}$	$x_i(y_{i+1} - y_{i-1})$	$y_i(x_{i-1} - x_{i+1})$
	2	3	4	5	6	7
1	-263,1	-74,0	-270,4	+6,5	+71 142	-481
2	-98,6	-101,2	-153,1	-310,7	+15 096	+31 443
3	+47,6	-227,1	+209,2	-237,1	+9 958	+53 845
4	+128,5	+108,0	+396,3	+139,7	+54 888	+15 088
5	-92,1	+169,2	-182,0	+401,6	+16 762	+67 951
			+606,5 -606,5	+547,8 -547,8	167 846	167 846
			0,0	0,0	$\Pi = 83\,923\text{ м}^2 = 8,39\text{ га}$	

§ 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОЩАДЕЙ ПАЛЕТКАМИ

Площади небольших участков, ограниченные криволинейными контурами, могут быть определены при помощи палеток. Чаше всего применяются прямолинейные палетки: квадратные и параллельные.

Квадратные палетки изготавливаются на целлулоиде, плексигласе, восковке и другом прозрачном материале и представляют сеть взаимно перпендикулярных линий, проведенных на расстоянии 1, 2 или 3 мм.

Чтобы определить площадь такой палеткой, надо наложить последнюю на контур участка, построенного на плане, и подсчитать число клеток, заключенных внутри его. Так, при длине стороны клетки 2 мм и масштабе 1 : 1000 ее площадь P_0 составит 4 м².

Пусть число n клеток, заключенных внутри контура, равно 62, тогда площадь P участка составит

$$P = nP_0 = 62 \cdot 4 = 248 \text{ м}^2.$$

Недостатком описанной палетки является необходимость учитывать на глаз доли клеток, пересекаемых контуром участка на части. Кроме того, при подсчете количества целых клеток возможен просчет.

Параллельная палетка также изготавливается на прозрачном материале — целлулоиде, плексигласе или восковке в виде параллельных линий, награвированных на расстоянии 2 мм друг от друга. Схематическое изображение параллельной палетки показано на рис. 19.

Для определения площади палетку накладывают на измеряемый участок так, чтобы крайние точки a и b его контура разместились посередине между линиями палетки. Благодаря этому участок окажется разделенным на фигуры, близкие к трапециям с одинаковыми высотами h .

Отрезки параллельных линий палетки внутри участка будут средними линиями трапеций. Основания этих трапеций на рис. 19 показаны штриховыми линиями.

Очевидно, что площадь всего участка будет равна сумме площадей отдельных трапеций

$$P = h(cd + ef + mn + \dots + kl). \quad (11.4)$$

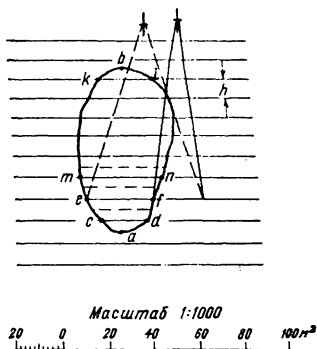


Рис. 19. Параллельная палетка

Сумма средних линий трапеций, стоящая в скобках приведенного выражения, определяется следующим образом.

В раствор циркуля-измерителя берут отрезок cd . Сохраняя раствор циркуля, устанавливают его левую ножку на точку f , при этом правая должна находиться на той же линии, что и точка f . Сохраняя неизменным положение правой ножки циркуля-измерителя, левую совмещают с точкой e . Теперь в растворе циркуля окажется заключенным расстояние $cd + ef$. Далее действия повторяют в той же последовательности. Последней линией, набранной в раствор циркуля-измерителя, будет средняя линия kl .

Длину всех средних линий, набранных в раствор циркуля-измерителя, определяют по масштабной линейке и умножают на величину интервала между параллельными линиями палетки, выраженную числом метров местности. Так, при масштабе плана $1 : 1000$, $h = 2$ м и сумме средних линий, равной $126,5$ м, площадь участка будет равна $P = 2 \cdot 126,5 = 253 \text{ м}^2$.

Чтобы не производить вычислений, строят специальную шкалу, позволяющую находить площадь участка по сумме средних линий.

Например, для масштаба $1 : 1000$ при $h = 2$ мм одному сантиметру будет соответствовать площадь, равная $2 \cdot 10 = 20 \text{ м}^2$. Левое основание шкалы следует разделить на 10 делений. Следовательно, после того как сумма средних линий элементарных трапеций набрана в раствор циркуля-измерителя, площадь участка по построенной шкале определяют подобно тому, как это делают при определении расстояний по графику линейного масштаба. Для тех же целей может быть построена диаграмма поперечного масштаба.

Примерное содержание лабораторных занятий с планиметром

1. Изучение устройства планиметра.
2. Производство отсчетов по счетному механизму планиметра.
3. Определение длины обводного рычага.
4. Производство поверок планиметра.
5. Определение цены деления планиметра.
6. Определение площади участка.

Д о п о л н и т е л ь н ы е в о п р о с ы

1. Вычисление площади полигона по координатам его вершин.
2. Вычисление площадей палетками.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите способы вычисления площадей на планах и картах.
2. Изложите порядок определения площадей графическим и аналитическим способами; область их применения.

3. Назовите основные части полярного планиметра.
4. Произведите отсчет по счетному механизму планиметра.
5. Что называется длиной обводного рычага и как она определяется?
6. Что достигается изменением длины обводного рычага?
7. Какая зависимость между длиной обводного рычага и ценою деления планиметра?
8. Что такое цена деления планиметра и как она определяется?
9. Изложите порядок и правила работы с планиметром при определении площади участка на плане.
10. Назовите поверки планиметра; объясните порядок их производства и юстировок.
11. Какова точность определения площадей различными способами?

Г л а в а III

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

§ 9. СВОЙСТВА СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ И ПРЕДЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТИ *

В табл. 4 приведен ряд истинных погрешностей Δ сумм углов (угловые невязки) для 61 треугольника ряда триангуляции I класса.

* См. гл. IV учебника.

Т а б л и ц а 4

№ п/п	Δ	№ п/п	Δ	№ п/п	Δ	№ п/п	Δ
1	-1,98"	16	-1,97"	31	-0,72"	46	-0,34"
2	+0,82	17	+1,31	32	-0,21	47	-0,05
3	-1,00	18	+0,09	33	-0,51	48	-0,48
4	+0,45	19	-0,73	34	+0,46	49	-0,14
5	-1,95	20	+0,76	35	+0,35	50	-1,06
6	-0,79	21	+0,38	36	-0,45	51	-1,04
7	-0,28	22	+0,87	37	+0,14	52	-0,63
8	+0,51	23	-1,20	38	+0,03	53	+0,75
9	-0,22	24	-0,76	39	+0,08	54	+2,61
10	+1,04	25	+0,73	40	-0,41	55	+1,36
11	-0,41	26	-0,79	41	+0,98	56	-0,97
12	-0,73	27	-0,33	42	-0,54	57	+0,88
13	+1,55	28	-0,26	43	-0,41	58	+1,13
14	+2,03	29	+0,97	44	+0,75	59	+0,74
15	+0,56	30	+0,25	45	+0,55	60	+0,26
						61	+0,61
$[\Delta^2] = 50,210$							

Сумма средних линий трапеций, стоящая в скобках приведенного выражения, определяется следующим образом.

В раствор циркуля-измерителя берут отрезок cd . Сохраняя раствор циркуля, устанавливают его левую ножку на точку i , при этом правая должна находиться на той же линии, что и точка f . Сохраняя неизменным положение правой ножки циркуля-измерителя, левую совмещают с точкой e . Теперь в растворе циркуля окажется заключенным расстояние $cd + ef$. Далее действия повторяют в той же последовательности. Последней линией, набранной в раствор циркуля-измерителя, будет средняя линия kl .

Длину всех средних линий, набранных в раствор циркуля-измерителя, определяют по масштабной линейке и умножают на величину интервала между параллельными линиями палетки, выраженную числом метров местности. Так, при масштабе плана $1 : 1000$, $h = 2$ м и сумме средних линий, равной $126,5$ м, площадь участка будет равна $P = 2 \cdot 126,5 = 253 \text{ м}^2$.

Чтобы не производить вычислений, строят специальную шкалу, позволяющую находить площадь участка по сумме средних линий.

Например, для масштаба $1 : 1000$ при $h = 2$ мм одному сантиметру будет соответствовать площадь, равная $2 \cdot 10 = 20 \text{ м}^2$. Левое основание шкалы следует разделить на 10 делений. Следовательно, после того как сумма средних линий элементарных трапеций набрана в раствор циркуля-измерителя, площадь участка по построенной шкале определяют подобно тому, как это делают при определении расстояний по графику линейного масштаба. Для тех же целей может быть построена диаграмма поперечного масштаба.

Примерное содержание лабораторных занятий с планиметром

1. Изучение устройства планиметра.
2. Производство отсчетов по счетному механизму планиметра.
3. Определение длины обводного рычага.
4. Производство поверок планиметра.
5. Определение цены деления планиметра.
6. Определение площади участка.

Дополнительные вопросы

1. Вычисление площади полигона по координатам его вершин.
2. Вычисление площадей палетками.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите способы вычисления площадей на планах и картах.
2. Изложите порядок определения площадей графическим и аналитическим способами; область их применения.

3. Назовите основные части полярного планиметра.
4. Произведите отсчет по счетному механизму планиметра.
5. Что называется длиной обводного рычага и как она определяется?
6. Что достигается изменением длины обводного рычага?
7. Какая зависимость между длиной обводного рычага и ценою деления планиметра?
8. Что такое цена деления планиметра и как она определяется?
9. Изложите порядок и правила работы с планиметром при определении площади участка на плане.
10. Назовите проверки планиметра; объясните порядок их производства и юстировок.
11. Какова точность определения площадей различными способами?

Г л а в а III

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ПОГРЕШНОСТЕЙ

§ 9. СВОЙСТВА СЛУЧАЙНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ. СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ И ПРЕДЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТИ *

В табл. 4 приведен ряд истинных погрешностей Δ сумм углов (угловые невязки) для 61 треугольника ряда триангуляции I класса.

* См. гл. IV учебника.

Т а б л и ц а 4

№ п/п	Δ	№ п/п	Δ	№ п/п		№ п/п	Δ
1	-1,98*	16	-1,97*	31	-0,72*	46	-0,34*
2	+0,82	17	+1,31	32	-0,21	47	-0,05
3	-1,00	18	+0,09	33	-0,51	48	-0,48
4	+0,45	19	-0,73	34	+0,46	49	-0,14
5	-1,95	20	+0,76	35	+0,35	50	-1,06
6	-0,79	21	+0,38	36	-0,45	51	-1,04
7	-0,28	22	+0,87	37	+0,14	52	-0,63
8	+0,51	23	-1,20	38	+0,03	53	+0,75
9	-0,22	24	-0,76	39	+0,08	54	+2,61
10	+1,04	25	+0,73	40	-0,41	55	+1,36
11	-0,41	26	-0,79	41	+0,98	56	-0,97
12	-0,73	27	-0,33	42	-0,54	57	+0,88
13	+1,55	28	-0,26	43	-0,41	58	+1,13
14	+2,03	29	+0,97	44	+0,75	59	+0,74
15	+0,56	30	+0,25	45	+0,55	60	+0,26
						61	+0,61
$[\Delta^2] = 50,210$							

Т а б л и ц а 5

№ п.п.			№ /п		
1	+0,03	—0,05	16	+0,74	—0,63
2	+0,08	—0,14	17	+0,75	—0,72
3	+0,09	—0,21	18	+0,75	—0,73
4	+0,14	—0,22	19	+0,76	—0,73
5	+0,25	—0,26	20	+0,82	—0,76
6	+0,26	—0,28	21	+0,87	—0,79
7	+0,35	—0,33	22	+0,88	—0,79
8	+0,38	—0,34	23	+0,97	—0,97
9	+0,45	—0,41	24	+0,98	—1,00
10	+0,46	—0,41	25	+1,04	—1,04
11	+0,51	—0,41	26	+1,13	—1,06
12	+0,55	—0,45	27	+1,31	—1,20
13	+0,56	—0,48	28	+1,36	—1,95
14	+0,61	—0,51	29	+1,55	—1,97
15	+0,73	—0,54	30	+2,03	—1,98
			31	+2,61	—
				+24,00	+21,36

Средняя квадратическая погрешность данного ряда будет равна

$$m = \pm \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}} = \pm \sqrt{\frac{50,210}{61}} = \pm 0,91'',$$

а предельная погрешность

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m = \pm 2,73''.$$

Ни одна из погрешностей приведенного ряда не превосходит полученного (2,73'') предела; этим иллюстрируется первое свойство случайных погрешностей.

Табл. 5, в которой погрешности расположены в возрастающем порядке их абсолютных величин, и табл. 6 подтверждают второе свойство случайных погрешностей: число положительных и отрицательных погрешностей примерно одинаково (31 и 30); при этом величины $+\Delta$ и $-\Delta$ одного порядка; малых погрешностей больше, чем больших.

Т а б л и ц а 6

Интервал погрешностей	Число погрешностей		
	общее	$+\Delta$	$-\Delta$
Меньше m	44	22	22
Между m и $2m$	12	7	5
Между $2m$ и $3m$	5	2	3
Всего	61	31	30

Согласно третьему свойству случайных погрешностей среднее арифметическое из случайных погрешностей стремится к нулю при достаточно большом числе измерений.

Для нашего примера это свойство иллюстрируется данными табл. 5.

$$\Delta_{\text{ср}} = \frac{[\Delta]}{n} = \frac{+24,00'' - 21,36''}{61} = \pm 0,04''.$$

Закономерности распределения случайных погрешностей могут быть обнаружены в более наглядной и компактной форме, если при их изучении воспользоваться некоторыми положениями теории вероятностей (см. учебник § 23).

Разделим ряд погрешностей из табл. 5 на интервалы по $0,5''$ и найдем количество погрешностей k_i , приходящееся на каждый из этих интервалов.

Отношение числа k_i к общему числу погрешностей n называется частотой или статистической вероятностью p_i , соответствующей данному интервалу

$$p_i = \frac{k_i}{n}.$$

В табл. 7 представлен так называемый статистический ряд, в ней приведены интервалы в порядке возрастания величин погрешностей, число погрешностей k_i в каждом интервале и соответствующие частоты p_i .

Таблица 7

Интервал	$-2,0'';$ $-1,5''$	$-1,5'';$ $-1,0''$	$-1,0'';$ $-0,5''$	$-0,5''$	0	$+0,5'';$ $+1,0''$	$+1,0'';$ $+1,5''$	$+1,5'';$ $+2,0''$	$+2,0'';$ $+2,5''$	$+2,5'';$ $+3,0''$
k_i	3	3	11	13	10	14	4	1	1	1
p_i	0,049	0,049	0,18	0,214	0,164	0,230	0,066	0,016	0,016	0,016

Графическим выражением статистического ряда является гистограмма (рис. 20). Для ее построения откладывают по оси абсцисс интервалы и на каждом из них строят прямоугольники с высотами, равными $\frac{p_i}{0,5''}$. Очевидно, площадь каждого такого прямоугольника будет равна частоте интервала.

По мере удлинения статистического ряда и уменьшения интервалов ступенчатая линия, ограничивающая площадь гистограммы, будет приближаться к кривой нормального распределения (кривой Гаусса, см. § 23 учебника). Для статистического ряда с ограниченным числом членов можно подобрать теоретическую кривую Гаусса, наиболее соответствующую данному распределению.

На рис. 20 представлена выравнивающая гистограмму кривая нормального распределения, построенная по формуле (IV.13) учебника:

$$Y = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l_i - a)^2}{2\sigma^2}}$$

для граничных значений $l_i = \Delta_i = 0; \pm 0,5''; \pm 1,0''; \pm 1,5''; \pm 2,0''$ и для параметров $a \cong \Delta_{\text{ср}} = 0,04''$ и $\sigma \cong m = 0,91''$.

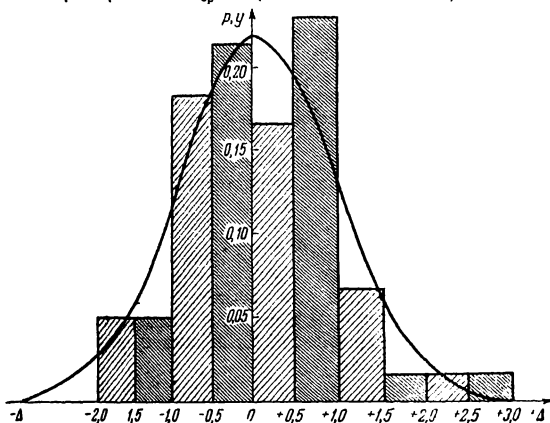


Рис. 20. Гистограмма и кривая Гаусса

§ 10. ПРИМЕР ОБРАБОТКИ РЯДА РАВНОТОЧНЫХ НЕПОСРЕДСТВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Даны результаты многократного измерения линии (табл. 8); найти наиболее надежное (вероятнейшее) значение длины линии x , среднюю квадратическую погрешность измерений m и среднюю квадратическую погрешность M окончательного результата.

Таблица 8

№ измерения	Результаты измерения l_i , м	$v_i = l_i - x$, мм	v_i^2	Результаты вычисления
1	120,576	-4	16	$x = 120,579 \text{ м} \pm 0,019 \text{ м}$
2	120,577	-2	4	
3	120,583	+4	16	
4	120,580	+1	1	
5	120,574	-5	25	
6	120,585	+6	36	

$$x = \frac{[l]}{n} = 120,579 \quad [v] = 0 \quad [v^2] = 98$$

Порядок вычислений

1. Находят наиболее надежное значение измеренной величины (арифметическую середину)

$$x = \frac{[l]}{n} = 120,579.$$

2. Вычисляют вероятнейшие погрешности v_i по формуле

$$v_i = l_i - x.$$

Контроль: $[v] = 0$.

3. Среднюю квадратическую погрешность измерения получают по формуле

$$m = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{98}{5}} = \pm 4,4 \text{ мм},$$

а среднюю квадратическую погрешность окончательного результата — по формуле

$$M = \pm \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{4,4 \text{ мм}}{\sqrt{6}} = \pm 1,9 \text{ мм}$$

или в относительной мере

$$\frac{M}{x} = \frac{1}{\frac{x}{M}} = \frac{1}{\frac{120\,579 \text{ мм}}{1,9 \text{ мм}}} \approx \frac{1}{63\,000}.$$

§ 11. ОБРАБОТКА РЯДА НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ *

В табл. 9 даны результаты шести измерений угла; при этом каждый результат l получен как среднее из нескольких приемов. Требуется определить наиболее надежное (общее арифметическое среднее) значение угла x_0 , средние квадратические погрешности единицы веса μ и окончательного результата M_0 .

* См. § 27 учебника.

Таблица 9

№ измерения	Результаты измерений l_i	Число приемов k	Вес p_i			$p_i v_i v_i$	Результаты вычисления
1	64° 27' 33"	4	2	-5,1	-10,2	52,02	$= 62^\circ 27' 27,9'' \pm 1,4''$
2	26	12	6	+1,9	+11,4	21,66	
3	22	2	1	+5,9	+5,9	34,81	
4	30	10	5	-2,1	-10,5	22,05	
5	32	4	2	-4,1	-8,2	33,62	
6	25	8	4	+2,9	+11,6	33,64	

$$x_0 = 64^\circ 27' 27,9'' \quad [p] = 20 \quad [pv] = 0 \quad [pvv] = 197,80$$

Порядок вычислений

1. Вычисляют веса измерений p_i , принимая их пропорциональными числу приемов k . В данном случае за единицу веса угла принят вес угла, измеренного двумя приемами.

2. Вычисляют наиболее надежное значение угла (общую арифметическую средину)

$$\alpha_0 = \frac{[p]}{[p]} = 64^\circ 27' + \frac{33'' \cdot 2 + 26'' \cdot 6 + 22'' \cdot 1 + 30'' \cdot 5 + 25'' \cdot 4}{20} = 64^\circ 27' 27,9''.$$

3. Вычисляют отклонения v_i от общей арифметической средины по формуле

$$v_i = l_i - \alpha_0.$$

Контроль $[pv] = 0$.

4. Получив $[pvv] = 197,80$, вычисляют среднюю квадратическую погрешность единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{[pvv]}{n-1}} = \sqrt{\frac{197,80}{6-1}} = \pm 6,3''$$

и среднюю квадратическую погрешность общей арифметической средины

$$M_0 = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \frac{\pm 6,3''}{\sqrt{20}} = \pm 1,4''.$$

§ 12. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПО РАЗНОСТЯМ ДВОЙНЫХ РАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ *

В практике инженерно-геодезических работ распространен метод двойных непосредственных измерений одной и той же величины.

Если в ряде двойных измерений отсутствуют систематические погрешности, оценка точности ряда производится по формуле [см. учебник, формула (IV.36)]

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}, \quad (111.2)$$

где d — разность двойных измерений, n — число двойных измерений.

При наличии в обрабатываемом ряду систематических погрешностей среднюю квадратическую погрешность отдельного измерения вычисляют по формуле [см. учебник, формула (V.38)]

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{2(n-1)}}, \quad (111.3)$$

где

$$\delta_i = \frac{[d]}{n} - d_i.$$

* См. § 26 учебника.

Задача 1. Превышения между пунктами нивелирного хода определялись при двух горизонтах инструмента (табл. 10). Вычислить среднюю квадратическую погрешность m_h превышения, измеренного при одном горизонте инструмента.

Т а б л и ц а 10

№ станции	Превышения, мм				Результаты вычислений
	1-й горизонт	2-й горизонт			
1	—298	—295	—3	9	$m_h = \pm 2,0$ мм
2	—1014	—1010	—4	16	
3	—345	—348	+3	9	
4	+418	+416	+2	4	
5	+524	+523	+1	1	
6	+1456	+1459	—3	9	
7	—888	—892	+4	16	
8	—605	—604	—1	1	
			+10 —11		
			—1 [d]	65 [d ²]	

П о р я д о к в ы ч и с л е н и й

1. Находим разности d_i между превышениями на каждой станции и их алгебраическую сумму

$$[d] = -1 \text{ мм.}$$

2. Чередование знаков разностей d_i и небольшая величина суммы $[d]$ указывают на отсутствие систематических погрешностей в данном ряду измерений. Поэтому вычисляем погрешность m_h по формуле (III.2):

$$m_h = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}} = \sqrt{\frac{65}{16}} = \pm 2,0 \text{ мм.}$$

Задача 2. В табл. 11 даны результаты измерений длин сторон теодолитного хода в прямом и обратном направлениях. Определить среднюю квадратическую погрешность m_l одного измерения длины стороны l .

П о р я д о к в ы ч и с л е н и й

1. Вычисляем разности d_i и замечаем, что подавляющее их большинство имеет знак плюс, а $[d] = 64$. Это указывает на наличие систематических погрешностей, которые необходимо исключить.

Т а б л и ц а 11

№ стан- ций	Длина стороны, м		см	δ_i , см		Результаты вычислений
	прямо	обратно				
1	168,88	168,81	+7	-0,6	0,36	$m_l = \pm 2,8$ см
2	200,54	200,44	+10	-3,6	12,96	
3	194,42	194,36	+6	+0,4	0,16	
4	178,33	178,37	-4	+10,4	108,16	
5	197,18	197,09	+9	-2,6	6,76	
6	186,04	185,99	+5	+1,4	1,96	
7	204,68	204,59	+9	-2,6	6,76	
8	175,95	175,88	+7	-0,6	0,36	
9	181,28	181,20	+8	-1,6	2,56	
10	192,30	192,23	+7	-0,6	0,36	
			+68 -4	+12,2 -12,2	140,40	
			+64	0 [δ]	[δ^2]	

2. Определив среднюю величину разности

$$\frac{[d]}{n} = \frac{64 \text{ см}}{10} = 6,4 \text{ см},$$

находим случайную часть погрешностей δ_i по формуле

$$\delta_i = \frac{[d]}{n} - d_i.$$

Контролем вычислений служит равенство

$$[\delta] = 0.$$

3. Вычисляем m_l по формуле (III.3):

$$m_l = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{2(n-1)}} = \sqrt{\frac{140,40}{2(10-1)}} = \pm 2,8 \text{ см}.$$

При средней длине стороны $l_{\text{ср}} = 188$ м соответствующая относительная погрешность будет

$$\frac{m_l}{l} = \frac{1}{6700}.$$

Пользуясь для оценки точности формулами (III.2) и (III.3), следует иметь в виду, что они дают преуменьшенное значение средних квадратических погрешностей. Это объясняется тем, что в разностях d_i исключаются некоторые примерно равные по величине систематические погрешности.

§ 13. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ФУНКЦИЙ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Для вычисления средней квадратической погрешности функции $z = f(x, y, t, \dots, v)$ общего вида имеем формулу (см. в учебнике формулу (IV.34))

$$m_z^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)^2 m_v^2. \quad (\text{III.4})$$

По формуле (III.4) решаются две задачи теории погрешностей измерений — прямая и обратная.

1. Прямая задача: найти погрешность функции m_z , если известны погрешности аргументов $m_x, m_y, \dots, m_v$.

2. Обратная задача: рассчитать допустимые погрешности аргументов $m_x, m_y, \dots, m_v$ так, чтобы погрешность функции m_z не превышала заданной величины.

Прямая задача решается непосредственной подстановкой погрешностей $m_x, m_y, \dots, m_v$ в формулу (III.4).

В частном случае, когда z является функцией лишь одной переменной (например, x), обратная задача решается однозначно относительно m_x :

$$m_x = \frac{m_z}{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)}. \quad (\text{III.5})$$

При числе аргументов, равном двум и более, обратная задача может быть решена лишь при постановке дополнительных условий, в частности условия, называемого принципом равных влияний.

В соответствии с этим принципом все члены правой части формулы (III.4) принимаются равными между собой, т. е.

$$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 = \dots = \left(\frac{\partial f}{\partial v}\right)^2 m_v^2 = \frac{m_z^2}{n}, \quad (\text{III.6})$$

где n — число аргументов функции z .

Из формулы (III.6) имеем

$$\left|\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right) m_x\right| = \left|\left(\frac{\partial f}{\partial y}\right) m_y\right| = \dots = \left|\left(\frac{\partial f}{\partial v}\right) m_v\right| = \left|\frac{m_z}{\sqrt{n}}\right|. \quad (\text{III.7})$$

По формуле (III.7) могут быть вычислены все погрешности $m_x, m_y, \dots, m_v$ аргументов $x, y, \dots, v$.

Проиллюстрируем применение формул (III.4—III.7) решением следующих задач.

Задача 3. Площадь P треугольника определялась графически. Его высота $h = 4,46$ см и основание $b = 5,24$ см измерены с погрешностью $m_h = m_b = \pm 0,02$ см. Найти погрешность площади треугольника.

Решение. Площадь P является функцией непосредственно измеренных аргументов h и b и имеет следующий вид:

$$P = \frac{bh}{2}. \quad (\text{III.8})$$

Согласно формуле (III.1) имеем

$$m_P^2 = \left(\frac{\partial P}{\partial b} \right)^2 m_b^2 + \left(\frac{\partial P}{\partial h} \right)^2 m_h^2. \quad (III.9)$$

Находим значения частных производных

$$\frac{\partial P}{\partial b} = \frac{1}{2} h \quad \text{и} \quad \frac{\partial P}{\partial h} = \frac{1}{2} b$$

и подставляем их в формулу (III.9):

$$m_P^2 = \frac{1}{4} h^2 m_b^2 + \frac{1}{4} b^2 m_h^2,$$

$$m_P = \pm \sqrt{\frac{4,46^2}{4} \cdot 0,02^2 + \frac{5,24^2}{4} \cdot 0,02^2} = \pm 0,069 \text{ см}^2.$$

Соответствующая относительная погрешность площади треугольника равна

$$\frac{m_P}{P} = \frac{0,07 \text{ см}^2}{11,69 \text{ см}^2} = \frac{1}{169}.$$

Эту же задачу можно решить другим путем.

Прологарифмируем формулу (III.8)

$$\ln P = \ln \frac{1}{2} + \ln b + \ln h$$

и продифференцируем полученное выражение

$$\frac{dP}{P} = \frac{db}{b} + \frac{dh}{h}.$$

Заменяя дифференциалы средними квадратическими погрешностями, получим

$$\left(\frac{m_P}{P} \right)^2 = \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \left(\frac{m_h}{h} \right)^2;$$

$$\frac{m_P}{P} = \sqrt{\frac{0,02^2}{4,46^2} + \frac{0,02^2}{5,24^2}} = \frac{1}{170};$$

$$m_P = \frac{P}{169} = \pm 0,069 \text{ см}^2.$$

Расхождение двух значений $\frac{m_P}{P}$ в единицах последнего знака объясняется влиянием погрешностей округления.

Задача 4. Для определения высоты сооружения H измерено расстояние $s = 95,50$ м и углы $\nu_1 = -0^\circ 54'$ и $\nu_2 = +10^\circ 30'$ (рис. 21). Найти среднюю квадратическую погрешность m_H высоты H , если $m_s = \pm 0,03$ м и $m_{\nu_1} = m_{\nu_2} = \pm 30''$.

Решение. Из рис. 21 имеем

$$H = s (\operatorname{tg} \nu_1 + \operatorname{tg} \nu_2).$$

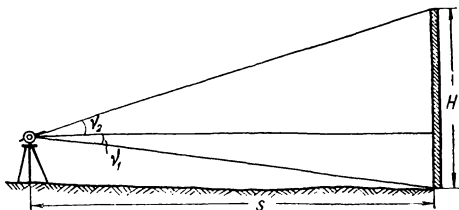
Применяя к функции H формулу (III.4), получим

$$\frac{\partial H}{\partial s} = (\operatorname{tg} v_1 + \operatorname{tg} v_2);$$

$$\frac{\partial H}{\partial v} = s \left(\frac{1}{\cos^2 v_1} + \frac{1}{\cos^2 v_2} \right);$$

$$m_H^2 = m_s^2 (\operatorname{tg} v_1 + \operatorname{tg} v_2)^2 + \frac{s^2 m_v^2}{\rho^2} \left(\frac{1}{\cos^4 v_1} + \frac{1}{\cos^4 v_2} \right). \quad (\text{III.10})$$

Рис. 21. Расчет точности определения высоты сооружения



Подставляя в формулу (III.10) значения $\operatorname{tg} v_1 = 0,016$; $\operatorname{tg} v_2 = 0,185$; $\cos v_1 = 1,000$; $\cos v_2 = 0,963$ и принимая $\rho'' = 206265'' \approx 206 \cdot 10^3$, будем иметь

$$m_H = \sqrt{\frac{9}{10^4} \cdot 0,043 + \frac{9120 \cdot 9 \cdot 10^2 \cdot 2,02}{206^2 \cdot 10^8}} = 0,022 \text{ м.}$$

В рассмотренных примерах определялась средняя квадратическая погрешность функций в зависимости от погрешностей их аргументов. В практике инженерно-геодезических работ встречается и обратная задача: по заданной погрешности функции определить допустимые погрешности аргументов.

Задача 5. Точка сооружения B выносится на местность полярным способом от опорного пункта O , находящегося от нее на расстоянии $s = 60,00$ м (рис. 22). С какой точностью нужно выполнить угловые и линейные измерения, чтобы погрешность M положения точки B не превышала ± 2 см?

Решение. Выразим отрезки x и y , определяющие положение точки B относительно O , через полярное расстояние s и угол β

$$\left. \begin{aligned} x &= s \cos \beta \\ y &= s \sin \beta \end{aligned} \right\}. \quad (\text{III.12})$$

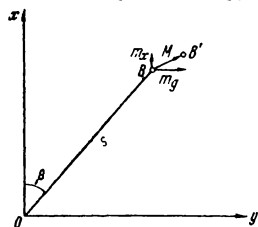


Рис. 22. Оценка точности полярного способа разбивки точки

Применяя к формулам (III.12) правило нахождения погрешности функции общего вида, получим

$$m_x^2 = m_s^2 \cos^2 \beta + \frac{s^2 \sin^2 \beta}{\rho^2} m_\beta^2;$$

$$m_y^2 = m_s^2 \sin^2 \beta + \frac{s^2 \cos^2 \beta}{\rho^2} m_\beta^2.$$

Под влиянием погрешностей m_x и m_y точка B сместится на величину M , равную BB' , относительно проектного положения. Из рис. 22 имеем

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

откуда

$$M^2 = m_s^2 + \frac{s^2 m_\beta^2}{\rho^2}. \quad (\text{III.13})$$

Так как в уравнение (III.13) входят два неизвестных m_s и m_β , применим принцип равных влияний, т. е. примем

$$m_s^2 = \frac{s^2 m_\beta^2}{\rho^2} = \frac{M^2}{2},$$

откуда по формуле (III.7)

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

$$m_\beta = \pm \frac{\rho' M}{2s} = \pm 46''.$$

Таким образом, необходимая точность переноса на местность точки B может быть обеспечена применением стальной рулетки и теодолита 30-секундной точности.

Следует заметить, что принцип равных влияний не всегда может служить общим приемом решения задач, подобных рассмотренной выше. В ряде случаев оказывается целесообразным понижение точности одного или нескольких аргументов за счет уменьшения погрешностей других.

§ 14. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

В основе оценки точности элементов геодезических сетей лежит рассмотренная выше формула средней квадратической погрешности функции общего вида (III.4).

Для этого случая применения формулы (III.4) прямая и обратная задачи формулируются следующим образом:

1. Прямая задача: оценить точность заданного элемента геодезической сети, если известны погрешности измерений (линейных, угловых, высотных).

2. Обратная задача: каковы должны быть допустимые погрешности измерений (линейных, угловых, высотных), чтобы погрешность заданного элемента геодезической сети не превышала определенной величины?

Рассмотрим практические методы оценки точности геодезических сетей простейшего вида — вытянутого полигонометрического хода, цепи треугольников, теодолитного и нивелирного ходов.

1. Точность положения конечного пункта полигонометрического хода характеризуется средней квадратической погрешностью M , равной (см. учебник, формулу V.29)

$$M^2 = m_L^2 + Q^2, \quad (\text{III.14})$$

где m_L и Q — соответственно продольная и поперечная средние квадратические погрешности (продольный и поперечный сдвиги) конечного пункта хода, вычисляемые по формулам (см. учебник, формулы (V.21), (V.26), (V.28))

$$m_L = m_d \sqrt{n}; \quad (\text{III.15})$$

$$Q = \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{n+1,5}{3}} \quad (\text{III.16})$$

(при определении положения точки по непосредственно измеренным углам);

$$Q = \frac{m_\beta}{\rho} L \sqrt{\frac{n+3}{12}}$$

(при определении положения точки по уравненным углам).

В формулах (III.15—III.17) приняты следующие обозначения: m_d — средняя квадратическая погрешность измерения отдельной стороны хода, m_β — средняя квадратическая погрешность измерения угла, n — число сторон, L — длина хода.

При производстве расчетов по формуле (III.16) удобно пользоваться погрешностью m_d , выраженной в относительной мере. Обозначив через d среднюю длину стороны хода, можно написать

$$\frac{m_d}{d} = \frac{1}{N}.$$

Учитывая, что

$$n = \frac{L}{d}, \quad (\text{III.18})$$

из формулы (III.15) имеем

$$m_L = \frac{\sqrt{Ld}}{N}. \quad (\text{III.19})$$

Подставляя в формулу (III.14) значения m_L и Q из формул (III.19), (III.16) и (III.17), получим

$$M = \sqrt{\frac{Ld}{N^2} + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+1,5}{3}}; \quad (\text{III.20})$$

$$M = \sqrt{\frac{Ld}{N^2} + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}}. \quad (\text{III.21})$$

Задача 6. Вычислить погрешность M конечного пункта полигонометрического хода длиной $L = 3000$ м при средней длине стороны $d = 200$ м, если $N = 25\,000$ и $m_B = \pm 5''$

Решение. Вычислив по формуле (III.18) $n = 15$ и подставив в формулу (III.21) числовые значения входящих в нее величин, получим

$$M = \pm \sqrt{\frac{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^2}{625 \cdot 10^6} + \frac{25 \cdot 9 \cdot 10^6 \cdot 18}{4 \cdot 10^{10} \cdot 12}} = \pm 0,134 \text{ м.}$$

Формулы (III.20) и (III.21) могут быть использованы для расчета точности теодолитных ходов, а также тахеометрических ходов, используемых в качестве планового обоснования съемки.

Так, для теодолитного хода длиной $L = 1000$ м при средней длине стороны $d = 200$ м, $n = 5$, $m_B = \pm 30''$ и $N = 2000$ по формуле (III.21) имеем

$$M = \pm \sqrt{\frac{10^3 \cdot 2 \cdot 10^2}{4 \cdot 10^6} + \frac{9 \cdot 10^2 \cdot 10^6 \cdot 8}{4 \cdot 10^{10} \cdot 12}} = \pm 0,26 \text{ м.}$$

Для тахеометрического хода той же протяженности при тех же значениях d , n , m_B и $N = 400$ имеем

$$M = \pm \sqrt{\frac{10^3 \cdot 2 \cdot 10^2}{16 \cdot 10^4} + \frac{9 \cdot 10^2 \cdot 10^6 \cdot 8}{4 \cdot 10^{10} \cdot 12}} = \pm 1,9 \text{ м.}$$

Задача 7 Для строительства туннеля проектируется подземный полигонометрический ход длиной $L = 1300$ м при средней длине стороны $d = 200$ м. С какой точностью необходимо производить линейные и угловые измерения, чтобы погрешность M конечной точки хода не превышала $\pm 0,10$ м?

Решение. В данном случае полигонометрический ход опирается только на одну исходную сторону, и предварительное уравнивание углов невозможно. Поэтому пользуемся формулой (III.20), в которой по принципу равных влияний принимаем

$$\frac{\sqrt{Ld}}{N} = \frac{m_B}{\rho} L \sqrt{\frac{n+1,5}{3}} = \frac{M}{\sqrt{2}},$$

откуда

$$\frac{1}{N} = \frac{M}{\sqrt{2} L d} \approx \frac{1}{7300};$$

$$m_B = \frac{\rho M}{L \sqrt{\frac{2(n+1,5)}{3}}} \approx 7''.$$

2. Средняя квадратическая относительная погрешность в логарифме стороны последнего треугольника ряда триангуляции вычисляется по формуле

$$m_{\lg a} = \sqrt{m_{\lg b}^2 + \frac{2}{3} m_B^2 \sum (\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2)}, \quad (III.22)$$

где $m_{lg b}$ — средняя квадратическая погрешность логарифма исходной стороны ряда; m_B — средняя квадратическая погрешность измерения угла; δ_A, δ_B — изменения логарифмов синусов связующих углов A, B^* при изменении угла на $1''$.

Для удобства вычислений по формуле (III.22) величину

$$\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2 = R,$$

выраженную в единицах шестого знака логарифма, выбирают по углам A и B из специальных таблиц (табл. 12).

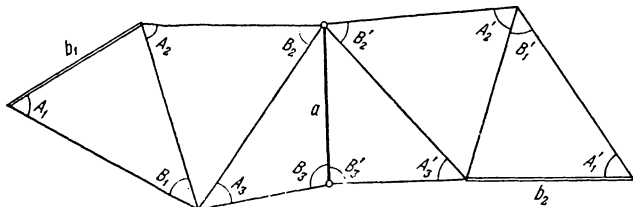


Рис. 23. Предвычисление точности угловых и линейных измерений при определении длины оси плотины

Погрешность в логарифме стороны и относительная погрешность той же стороны связаны между собой соотношением

$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_{lg a}}{434\,294}. \quad (\text{III.23})$$

Задача 8. Длина a плотины определяется от двух исходных b_1 и b_2 сторон ряда триангуляции (рис. 23). С какой точностью должны быть выполнены линейные и угловые измерения, чтобы погрешность $\frac{m_a}{a}$ в длине оси плотины не превышала $\frac{1}{N} = \frac{1}{100\,000}$?

Решение. По схеме ряда триангуляции (см. рис. 23) измеряем с точностью до 1° углы A_1 и B_1 . Из табл. 12, интерполируя по строкам и столбцам, находим значения R для каждого треугольника и вписываем их в табл. 13.

Например, углы A_1 и B_1 равны соответственно 60° и 48° . В строке 60° и столбце 45° находим $R = 9$; для той же строки и столбца 50° $R = 7$. Следовательно, для 48° $R = \frac{9+7}{2} = 8$.

Из формулы (III.23) находим

$$m_{lg a} = \frac{434\,294 m_a}{a} = 4,3.$$

* Связующими углами называются углы, участвующие в передаче длин стороны ряда (см. рис. 23).

Таблица значений величины R (в единицах

		12°								30°
10°	428	359	253							
12	359	295	214							
14	315	253	187	187						
16	284	225	162	162	143					
18	262	204	143	143	126					
20°	245	189	130	130	113	113				
22	232	177	119	119	100	100	91			
24	221	167	111	111	91	91	81	74		
26	213	160	104	104	83	83	74	67	61	
28	206	153	90	90	77	77	68	61	56	51
30°	199	148	83	83	72	72	63	57	51	47
35	188	137	79	79	68	68	59	53	48	43
40	179	129	71	71	60	60	52	46	41	37
45	172	124	65	65	54	54	47	41	36	32
50°	167	119	60	60	50	50	43	37	32	28
55	162	115	57	57	47	47	39	34	29	26
60	159	112	70	70	44	44	37	32	27	24
65	155	109	67	67	54	54	44	37	32	27
70°	152	106	64	64	51	51	42	35	30	25
75	150	104	62	62	49	49	40	33	28	24
80	147	102	60	60	48	48	38	32	27	23
85	145	100	58	58	46	46	37	30	25	21
90°	143	98	57	57	45	45	36	29	24	20
95	140	96	55	55	43	43	34	28	23	19
100	138	95	54	54	42	42	33	27	22	18
105	136	93	53	53	41	41	32	26	22	17
110°	134	91	51	51	40	40	31	25	21	16
115	132	89	50	50	39	39	30	25	20	15
120	129	88	49	49	38	38	30	24	19	14
125	127	86	48	48	37	37	29	23	19	13
130°	125	84	46	46	36	36	28	22	18	12
135	122	82	45	45	35	35	27	22	18	11
140	119	80	44	44	34	34	26	21	17	10
145	116	77	43	43	33	33	26	21	17	9
150°	112	75	42	42	32	32	25	21	17	8
152	111	75	41	41	32	32	26	21	18	7
154	110	74	40	40	32	32	26	22	19	6
156	108	74	40	40	33	33	27	23	21	5
158	107	74	42	42	34	34	28	25	22	4
160°	107	74	43	43	35	35	30	27		3
162	107	74	45	45	38	38	33			2
164	109	79	48	48	42					1
166	113	86	54							
168	122	98								
170°	143									

шестого знака логарифма)

35°	40°		50°	55°	60	65°			80°	85°	90°
33											
27	23										
23	19	16	11	8							
20	16	13	9	7	5	4					
18	14	11	8	5	4	3	2	2			
16	12	10	7	4	3	2	1	1	1	0	0
14	11	9	6	3	2	1	1	1	0	0	0
13	10	7	5	2	2	1	1	1	0	0	0
12	9	7	4	2	2	1	1	1	0	0	0
11	8	6	3	2	2	1	1	1	0	0	0
10	7	5	3	2	2	1	1	1	0	0	0
10	7	5	3	2	2	1	1	1	0	0	0
9	6	4	2	2	2	1	1	1	0	0	0
9	6	4	2	2	2	1	1	1	0	0	0
8	6	4	2	2	2	1	1	1	0	0	0
8	5	4	2	2	2	1	1	1	0	0	0
7	5	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0
7	5	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0
7	5	3	2	2	2	1	1	1	0	0	0
7	5	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0
7	5	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0
7	5	4	3	2	2	1	1	1	0	0	0
8	6										
9											

Исходная сторона b_1			Исходная сторона b_2		
названия углов		R	названия углов		
A_1	60°	8	A_1	58°	7,5
B_1	48		B_1	51	
A_2	72	5,2	A_2	68	4,5
B_2	58		B_2	55	
A_3	43	4,7	A_3	53	2,5
B_3	103		B_3	86	
$\Sigma R = 17,9$			$\Sigma R_{cp} = 16,2$		
			$\Sigma R = 14,5$		

Так как длина оси плотины a вычисляется дважды, погрешность $m_{lg a}$ уменьшается в $\sqrt{2}$ раз.

Поэтому

$$m_{lg a} = \sqrt{m_{lg b}^2 + \frac{2}{3} m_{\beta}^2 \sum (\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2)} = 4,3 \sqrt{2}.$$

По принципу равных влияний принимаем

$$m_{lg b} = m_{\beta} \sqrt{\frac{2}{3} \sum (\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2)} = \frac{4,3 \sqrt{2}}{\sqrt{2}},$$

откуда

$$m_{lg b} = 4,3$$

или

$$\frac{m_b}{b} = \frac{m_{lg b}}{434\,294} = \frac{1}{100\,000}$$

и

$$m_{\beta} = \frac{4,3}{\sqrt{\frac{2}{3} \sum R_{cp}}} = \frac{4,3}{\sqrt{10,8}} = \pm 1,3''.$$

Таким образом, для выполнения условий задачи погрешность угловых измерений не должна превышать $\pm 1,3''$, а линейных $\frac{1}{100\,000}$.

3. Погрешности в определении высот в ходах геометрического и тригонометрического (геодезического) нивелирования рассчитываются соответственно по формулам [см. учебник, формулы (V.41) и (V.42)]

$$m_h = \eta \sqrt{L}; \quad (III.24)$$

$$m_h = \frac{d}{\sqrt{2}} \sqrt[n]{\frac{v^{n^2}}{\rho^{n^2}} \left(\frac{m_d}{d} \right)^2 + \frac{m_v^{n^2}}{\rho^{n^2}}}, \quad (III.25)$$

где η — средняя квадратическая случайная погрешность геометрического нивелирования на 1 км хода; ν — угол наклона линии хода; L — длина хода в км; n — число сторон хода; d — средняя длина стороны хода.

Задача 9. Определить допустимую погрешность геометрического нивелирования η , чтобы при длине хода в 2 км средняя квадратическая погрешность m_h конечной точки хода не превышала ± 10 мм.

Решение. Из формулы (III.24) имеем

$$\eta = \frac{m_h}{\sqrt{L}} = \frac{10 \text{ мм}}{\sqrt{2}} = \pm 7 \text{ мм.}$$

Задача 10. Вычислить среднюю квадратическую погрешность отметки конечной точки хода тригонометрического нивелирования, если средняя длина стороны хода $d = 200$ м, число сторон $n = 5$, $m_v = \pm 30''$, $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{400}$, $\nu = 2^\circ 00'$

Решение. Подставив в формулу (III.25) численные значения входящих в нее величин, получим

$$m_h = \frac{200}{\sqrt{2}} \sqrt{5} \sqrt{\frac{(72 \cdot 10^2)^2}{4 \cdot 10^6 \cdot 16 \cdot 10^3} + \frac{900}{4 \cdot 10^6}} = \pm 0,06 \text{ м.}$$

Примерное содержание лабораторных занятий по теории погрешностей измерений

1. Обработка результатов равноточных измерений: вычисление средней квадратической погрешности по отклонениям от арифметической середины; вычисление средней квадратической погрешности арифметической середины.

2. Обработка результатов неравноточных измерений: вычисление весового среднего, средней квадратической погрешности единицы веса и средней квадратической погрешности весового среднего.

3. Вычисление относительных квадратических погрешностей.

Дополнительные вопросы

1. Оценка точности результатов по разностям двойных измерений.

2. Оценка точности функций $z = f(x, y, t)$ измеренных величин.

3. Оценка точности элементов геодезических сетей.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите свойства случайных погрешностей измерений.

2. Какие критерии оценки точности результатов измерений применяют в геодезии?

3. Как вычислять случайную и вероятнейшую погрешности измерений?

4. Назовите свойство вероятнейших погрешностей измерений.

5. Что такое предельная погрешность, относительная погрешность?

6. Какая из формул — (III.1) или (III.2) — дает более надежное значение средней квадратической погрешности?

7. Что называется весом измерения?

8. Для какой цели вводят коэффициент пропорциональности при вычислении весов отдельных результатов измерений?

9. Некоторый результат получен как разность двух отдельных измерений. Чему равна средняя квадратическая погрешность результата, если средняя квадратическая погрешность каждого отдельного измерения равна ± 3 мм?

10. Точность какого из результатов табл. 9 характеризует погрешность $\mu = \pm 6,3$ °?

Раздел 2

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Глава IV

УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ *

А. УГЛОМЕРНЫЕ ПРИБОРЫ

§ 15. ТИПЫ ТЕОДОЛИТОВ, ИХ УСТРОЙСТВО

Типы теодолитов

В настоящее время отечественными заводами в соответствии с действующим ГОСТ 10529—70 изготавливаются теодолиты шести типов: Т05, Т1, Т2, Т5, Т15 и Т30 **.

Последние по точности подразделяются на три группы:

- а) технические Т15, Т30, предназначенные для измерения углов со средними квадратическими погрешностями ± 15 и $\pm 30''$;
- б) точные Т2, Т5, предназначенные для измерения углов со средними квадратическими погрешностями ± 2 и $\pm 5''$;
- в) высокоточные Т05, Т1, предназначенные для измерения углов со средними квадратическими погрешностями $\pm 0,5$ и $\pm 1,0''$.

ГОСТ 10529—70 предусмотрена модификация точных и технических теодолитов. Так, например, теодолит типа Т5 должен изготавливаться в двух вариантах: с цилиндрическим уровнем при алидаде вертикального круга и с компенсатором, заменяющим этот уровень.

Теодолит с компенсатором при вертикальном круге должен обозначаться дополнительно буквой К, например Т5К.

Отечественная промышленность приступила к выпуску новых теодолитов с улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками: 2Т2, 2Т5, 2Т5К (здесь цифра 2 перед обозначением типа теодолита означает вторую модель прибора), а также технического теодолита с компенсатором Т15К.

По конструкции предусмотренные ГОСТ 10529—70 типы теодолитов делятся на неповторительные (простые, рис. 24) и повторительные (рис. 25).

* См. главу VI, § 35—47 учебника.

** Буква Т означает теодолит, а число — среднюю квадратическую погрешность измерения угла одним приемом.

У неповторительных теодолитов лимб скреплен с подставкой. Лимб повторительных теодолитов имеет закрепительный винт и наводящее устройство и может вращаться независимо от вращения алидады (повторительная система осей лимба и алидады).

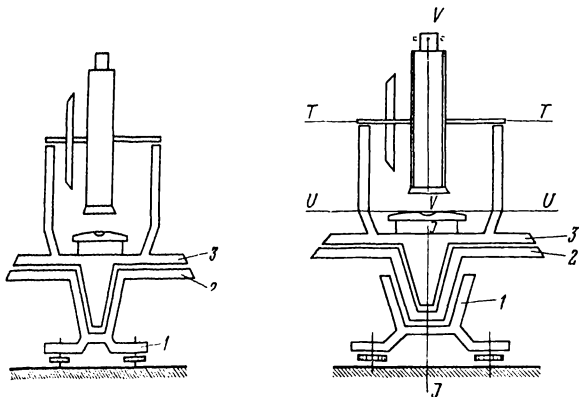


Рис. 24. Схема осей простого теодолита

1 — подставка теодолита; 2 — лимб; 3 — алидада

Рис. 25. Схема осей повторительного теодолита

1 — подставка теодолита; 2 — лимб; 3 — алидада; JJ — основная ось теодолита; UU — ось уровня; VV — визирная ось; TT — горизонтальная ось вращения трубы

Неповторительная система осей предусмотрена у высокоточных теодолитов.

Указанный выше ГОСТ предусматривает изготовление теодолитов только со стеклянными лимбами (оптических теодолитов). Выпуск теодолитов с металлическими лимбами был прекращен в 1973 г. Однако такие теодолиты находят еще применение в учебном процессе и будут кратко рассмотрены.

Ниже описаны теодолиты технические и точные.

Устройство оптических теодолитов

Технические теодолиты Т30 и Т15К

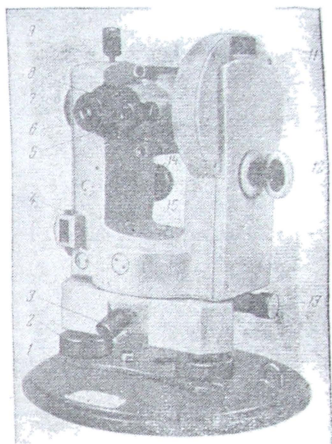
Технические теодолиты Т30 и Т15К служат для измерения горизонтальных и вертикальных углов в теодолитных и тахеометрических ходах (см. гл. VIII), а также для измерения расстояний нитяным дальномером или дальномерной насадкой ДН-10 (см. гл. V). Они находят широкое применение при изыскании и проектировании инженерных сооружений.

Теодолит ТЗ0 (рис. 26) разработан на базе теодолита ТОМ, имеет повторительную систему осей. Это позволяет при измерении горизонтальных углов применять как способ круговых приемов, так и способ повторений (см. § 19).

Стеклянные круги теодолита оцифрованы через каждый градус. Цена деления лимбов $10'$. Отсчет по кругам выполняется в поле зрения штрихового микроскопа 5 (микроскопа-оценщика), расположенного рядом с окуляром 6 зрительной трубы. Система

Рис. 26. Теодолит ТЗ0

1 — основание теодолита; 2 — подъемный винт; 3 — закрепительный винт лимба; 4 — исправительный винт уровня; 5 — окуляр отсчетного микроскопа; 6 — окуляр трубы; 7 — барабан кремальеры для фокусировки; 8 — колпачок, прикрывающий исправительные винты сетки нитей; 9 — закрепительный винт трубы; 10 — оптический визир для наведения трубы на цель; 11 — место установки ориентир-буссоли; 12 — зеркало для освещения шкал; 13 — наводящий винт алидады; 14 — наводящий винт трубы; 15 — отверстие для центрирования теодолита



отсчета односторонняя. В поле зрения штрихового микроскопа передано изображение делений горизонтального и вертикального кругов. Оценка долей наименьших делений производится по штриху микроскопа на глаз с точностью $1'$ (рис. 27).

Схема оптики отсчетной системы показана на рис. 28.

На корпусе зрительной трубы для предварительного наведения ее на цель имеются два оптических визира 10 (см. рис. 26).

Трегер теодолита скреплен с металлическим основанием 1 (дном футляра) и вместе с ним крепится при помощи станкового винта к головке штатива. Это позволяет надевать футляр, не снимая теодолит со штатива при переноске прибора и тем самым предохранить его от повреждений.

Особенностью конструкции является возможность центрирования теодолита над вершиной измеряемого угла, пользуясь зрительной трубой, которую в этом случае устанавливают вертикально, объективом вниз, визируя через отверстие 15 (см. рис. 26) в вертикальной оси.

Рис. 27. Поле зрения отсчетного
теодолита Т30

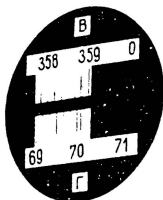
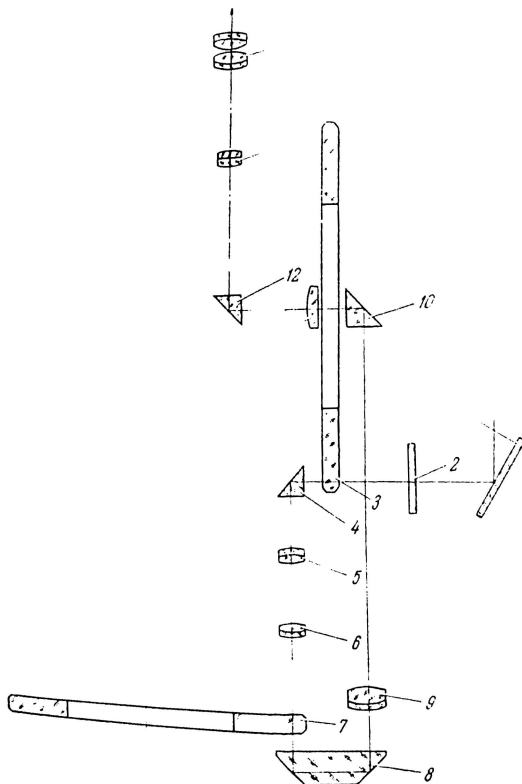


Рис. 28. Схема оптики отсчета

1 — зеркало подсветки; 2 — иллюминатор; 3 — вертикальный круг; 4 — призма; 5, 6 — линзы объектива; 7 — горизонтальный круг; 8 — призма; 9 — объектив горизонтального круга; 10 — призма; 11 — конденсатор; 12 — призма; 13 — объектив микроскопа; 14 — окуляр микроскопа



Теодолит Т15К (рис. 29) имеет повторительную систему осей; снабжен шкаловым отсчетным микроскопом и самоустанавливающейся системой компенсатора при вертикальном круге. Зрительная труба дает прямое изображение и может обоими концами переводиться через зенит. По обе стороны от зрительной трубы 3 расположены оптические визиры 2 для предварительного наведения на цель. Зрительная труба и алидада горизонтального круга вместо закрепительных винтов имеют курковые зажимы 13 и 15.

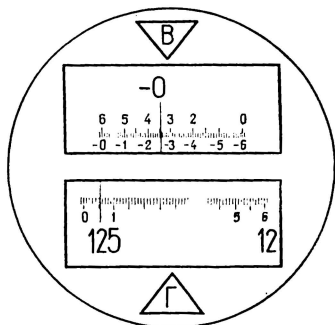
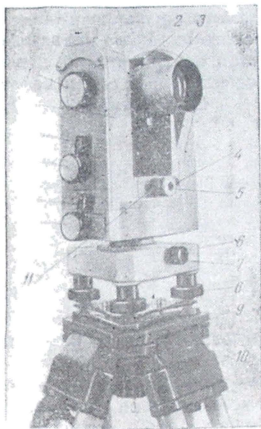


Рис. 29. Теодолит Т15К

1 — кремальера; 2 — оптические визиры; 3 — зрительная труба; 4 — юстировочный винт места нуля; 5 — окулярная часть оптического отвеса; 6 — подставка теодолита; 7 — винт, закрепляющий теодолит в подставке; 8 — подъемные винты; 9 — головка штатива; 10 — становой винт; 11 — крышка оптического отвеса; 12 — наводящий винт алидады; 13 — курковый зажим алидады; 14 — наводящий винт зрительной трубы; 15 — курковый зажим зрительной трубы; 16 — стойки колонки

Рис. 30. Поле зрения микроскопа теодолита Т15К

по горизонтальному кругу $127^{\circ} 05,2'$, по вертикальному кругу $0^{\circ} 34,4'$

Изображение штрихов горизонтального и вертикального кругов передано в поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 30), расположенного рядом с окуляром зрительной трубы. Индексом при отсчитывании служит соответствующий штрих угломерного круга. Погрешность отсчитывания не превышает $0,1'$ ($6''$).

Вертикальный круг имеет секторную оцифровку, позволяющую брать отсчеты по шкале, соответствующей величине измеряемого угла наклона, что позволяет устранить дополнительные вычисления.

Всего на вертикальном круге четыре сектора. Два противоположных сектора имеют положительную оцифровку и два — отрицательную.

В соответствии с этим шкала вертикального круга имеет две отсечки. Верхняя предназначена для отсчитывания положительных углов, когда в пределах шкалы находится штрих вертикального круга без знака «—», нижняя — для отсчитывания отрицательных углов, когда отсчет берут по штриху со знаком «—».

Внутри полой вертикальной оси теодолита расположен объектив оптического центрира. Схема оптического центрира приведена на рис. 31. Окулярная часть 5 оптического центрира закреплена в алидадной части теодолита. Такое расположение объектива и окуляра отвеса позволяет производить его юстировку (см.

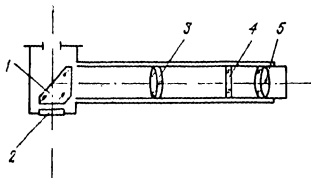


Рис. 31. Схема оптического центрира

1 — призма; 2 — стеклянная пластина; 3 — объектив; 4 — линзы; 5 — окуляр

§ 17) непосредственно в процессе центрирования, путем поворота алидадной части теодолита на 180° .

В стойке колонки 16 (см. рис. 29) со стороны вертикального круга установлена система оптического компенсатора. В качестве компенсатора при вертикальном круге используется прямоугольная призма, подвешенная на плоской пружине. При наклоне оси теодолита на угол до $3'$ эта призма смещает изображение штрихов вертикального круга так, что они оказываются соответствующими отвесному положению оси теодолита. Колебания маятников компенсатора гасятся воздушным демпфером (успокоителем).

Для удобства визирования на цели, расположенные под углом к горизонту более 45° , теодолит снабжен насадками, надеваемыми на окуляры зрительной трубы и оптического микрометра.

На теодолит может быть установлена буссоль, а на объектив его трубы — дальномерная насадка ДНР-6 (см. гл. V).

Теодолит Т15 аналогичен по устройству описанному теодолиту Т15К; исключение составляет наличие цилиндрического уровня при алидаде вертикального круга взамен компенсатора. Устройство вертикального круга с уровнем при его алидаде рассмотрено ниже, в § 21. Здесь заметим, что наличие компенсатора облегчает процесс измерения углов наклона.

Точные теодолиты 2Т5К, 2Т5 и 2Т2

Теодолит 2Т5К (рис. 32) предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в геодезических сетях сгущения 1 и 2 разрядов, развиваемых методами триангуляции и поли-

гонометрии (см. учебник, гл. X), может применяться для измерения расстояний при помощи нитяного дальномера и дальномерных насадок ДНР-6, ДНР-8 (см. гл. V), а также при строительстве сооружений, измерении деформаций сооружений и монтаже оборудования.

Теодолит имеет повторительную систему осей, снабжен опти-

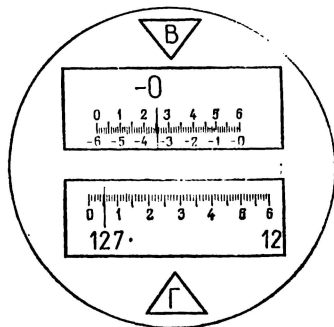
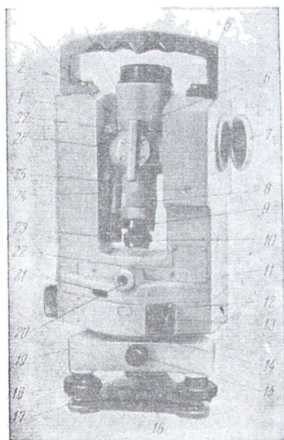


Рис. 32. Теодолит 2Т5К

1 — колонка; 2 — ручка; 3 — клиновое кольцо; 4 — корпус трубы; 5 — винт ручки; 6 — коллиматорный визир; 7 — зеркало подсветки; 8 — кремальера; 9 — колпачок; 10 — окуляр зрительной трубы; 11 — боковая крышка; 12 — винт; 13 — рукоятка повторительного устройства; 14 — корпус низка; 15 — закрепительный винт подставки; 16 — юстировочные винты оптического центра; 17 — пружинящая пластина; 18 — подъемные винты; 19 — подставка; 20 — окуляр оптического центра; 21 — иллюминатор круга-искателя; 22 — крышка; 23 — окуляр микроскопа; 24 — винт установки места нуля; 25 — микроскоп; 26 — горизонтальная ось зрительной трубы; 27 — ключ вращения клинового кольца

Рис. 33. Поле зрения микроскопа теодолита 2Т5К

Отсчеты: по горизонтальному кругу $125^{\circ} 05,3'$, по вертикальному кругу — $0^{\circ} 25,5'$

ческим шкаловым микроскопом и компенсатором при вертикальном круге.

Наводящие винты, имеющиеся у теодолита, расположены соосно с закрепительными винтами куркового типа. При этом наводящие винты расположены в одном месте, что создает возможность, действуя одной рукой, быстро переключаться от наведения трубы по азимуту к наведению ее по вертикали и наоборот.

Между корпусом 4 и осью 26 зрительной трубы расположено клиновое кольцо 3. Вращением этого кольца изменяют положение визирной оси зрительной трубы относительно оси ее вращения при устранении коллимационной погрешности (см. § 17).

Колонка 1 является основной несущей конструкцией алидадной части теодолита, где установлены узлы отсчетной системы, маятниковый компенсатор вертикального круга, уровень при алидаде горизонтального круга, наводящее устройство зрительной трубы и оптический центрир для центрирования теодолита над точкой местности.

Отсчетная система теодолита — двухканальная: изображения горизонтального и вертикального кругов проецируются в плоскости шкалы микроскопа 25. Изображение горизонтального круга оттенено желто-зеленым фоном, вертикального — голубым. Круги разделены через 1': горизонтальный оцифрован от 0° до 359°, вертикальный — секторами от 0° до 75° и от 0° до —75°.

Шкала микроскопа разделена на 60 частей (рис. 33), причем одно деление шкалы соответствует одной угловой минуте. Каждый десятый штрих шкалы обозначен от 0 до 6 и от —6 до 0 для отсчитывания положительных и отрицательных углов наклона.

Окуляр 20 (см. рис. 32) оптического центрира расположен в нижней части теодолита. Установка его по глазу производится движением диоптрийного кольца до получения четкого изображения concentрических окружностей, нанесенных на сетке. Продольным перемещением окулярного кольца оптического центрира фокусируют его на точку местности.

Для быстрой установки горизонтального круга при смене его участков во время измерения горизонтальных углов способом круговых приемов (см. § 19) используют круг-искатель, отсчет по которому устанавливают по индексам, нанесенным на иллюминаторе 21.

В комплект теодолита входят ориентир-буссоль и окулярные насадки для визирования на цель, расположенную под углом к горизонту более 45°.

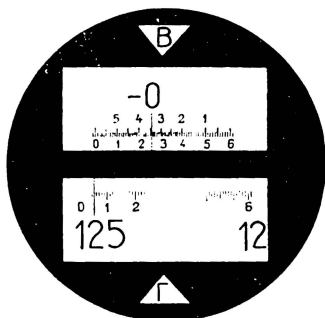
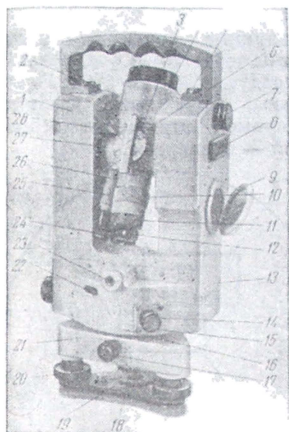
Теодолит 2Т5 (рис. 34) по сравнению с теодолитом 2Т5К имеет следующие особенности. Вертикальный круг не имеет компенсатора. Алидада вертикального круга снабжена контактным уровнем (см. § 37), который находится в левой стойке колонки 1. Изображение пузырька уровня системой призм передано в поворотную призму — лупу 7. Уровень освещается через окно, ограниченное рамкой 8. Поле зрения отсчетного микроскопа показано на рис. 35.

Теодолит 2Т2 (рис. 36) предназначен для измерения углов в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов. Может быть широко использован при выполнении геодезических работ для целей строительства: построении строительной сетки, разбивочных работах, исследовании деформаций сооружений (см. гл. XV) и др.

Теодолит имеет неповторительную систему осей. Снабжен оптическим микрометром, при помощи которого определяют доли делений кругов.

Отсчетная система позволяет брать отсчеты с диаметрально противоположных сторон угломерных кругов, что дает возможность исключить влияние эксцентриситета.

Микрометр с поступательно перемещающимися оптическими клиньями и разделительным блоком призм находится на боковой крышке правой стойки колонки 1. При вращении рукоятки 30 ми-



долит 2Т5

1 — колонка; 2 — ручка; 3 — клиновое кольцо; 4 — объектив; 5 — винт; 6 — коллиматорный визир; 7 — поворотная призма; 8 — рамка иллюминатора; 9 — зеркало; 10 — кремальера; 11 — колпачок; 12 — окуляр зрительной трубы; 13 — боковая крышка; 14 — рукоятка повторительного устройства; 15 — винты; 16 — корпус низка; 17 — закрепительный винт подставки; 18 — втулка; 19 — пружинящая пластина; 20 — подъемные винты; 21 — подставка; 22 — иллюминатор круга-искателя; 23 — окуляр отвеса; 24 — окуляр микроскопа; 25 — винт; 26 — микроскоп; 27 — горизонтальная ось зрительной трубы; 28 — ключ поворота клинового кольца

Рис. 35. Поле зрения

лита 2Т5

счет по горизонтальному кругу

по вертикальному кругу — 0°

крометра пара оптических клиньев вместе со шкалой минут и секунд перемещаются вдоль оптической оси трубы, смещая оба изображения круга навстречу друг другу. Шкала микроскопа, штрихи которой видны в малом окне поля зрения микроскопа (рис. 37), показывает величину смещения этих изображений в угловой мере.

Отсчетная система теодолита двухканальная — изображения горизонтального и вертикального кругов строятся по двум независимым оптическим ветвям. Переключение каналов производят поворотом переключателя каналов 27. При горизонтальном положении рукоятки переключателя в поле зрения микроскопа вводятся изображения штрихов горизонтального круга, при вертикальном — изображения штрихов вертикального круга. Введение того

для иного изображения кругов сопровождается изменением цвета фона. Голубой фон указывает на то, что в поле зрения микроскопа 26 введено изображение вертикального круга, зеленый — изображение горизонтального круга.

Стеклянные круги теодолита разделены через $20'$ и оцифрованы через градус от 0° до 359° . Горизонтальный круг имеет двойные (бифилярные) штрихи, а вертикальный — одинарные.

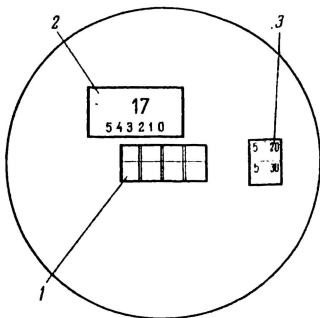
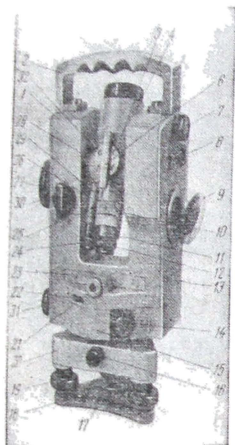


Рис. 36. Теодолит 2Т2

1 — колонка; 2 — ручка; 3 — клиновое кольцо; 4 — объектив; 5 — винт; 6 — коллиматорный визир; 7 — поворотная призма; 8 — рамка иллюминатора; 9 — зеркало; 10 — кремальера; 11 — колпачок; 12 — окуляр зрительной трубы; 13 — боковая крышка; 14 — рукоятка вращения горизонтального круга; 15 — корпус низка; 16 — фиксирующий винт подставки; 17 — юстировочные винты отвеса; 18 — пружинящая пластина; 19 — подъемные винты; 20 — подставка; 21 — окуляр центра; 22 — иллюминатор круга-искателя; 23 — крышка; 24 — окуляр микроскопа; 25 — винт; 26 — микроскоп; 27 — переключатель каналов; 28 — горизонтальная ось трубы; 29 — флажок отражателя; 30 — рукоятка микрометра; 31 — наводящий винт алидады; 32 — ключ поворота клинового кольца

Рис. 37. Поле зрения микроскопа теодолита 2Т2

1, 2, 3 — соответственно центральное, верхнее и боковое окна. Отсчет по горизонтальному кругу $17^\circ 25' 27,0''$

Отсчет производится после тщательного совмещения рукояткой 30 микрометра верхнего и нижнего изображений штрихов вертикального круга или средних линий верхнего и нижнего изображений бифилярных штрихов горизонтального круга, расположенных в центральном окне поля зрения (см. рис. 37) микроскопа и разграниченных разделительной линией. Число градусов и десятки минут отсчитывают в верхнем окне. При этом отсчет градусов ведется только в пределах вспомогательной шкалы, имеющей 5 цифр и расположенной в нижней части окна. Цифра, рас-

положенная под числом градусов, показывает число десятков минут. Единицы минут, десятки, единицы и доли секунд отсчитывают в боковом окне по шкале микрометра, каждое деление шкалы которого соответствует одной секунде.

На рис. 37 показан отсчет, равный $17^{\circ}25'27,0''$. Перед отсчетом по вертикальному кругу необходимо привести концы половинок пузырька контактного уровня в контакт. Для этого действуют наводящим винтом алидады вертикального круга.

Оптические схемы приведенных теодолитов с некоторыми изменениями подобны оптической схеме теодолита ТЗ0 (см. рис. 26).

Конструкции теодолитов 2Т2, 2Т5 и 2Т5К унифицированы.

Краткая техническая характеристика оптических теодолитов приведена в табл. 14.

Т а б л и ц а 14

	Увели- чение тру- бы, крат	Поле зрения трубы	Предел визиро- вания, м	Цена деления лимбов	Точность отсчета до	Предел работы компен- сатора	Масса теодоли- та, кг
ТЗ0	20	2°	$1-\infty$	$10'$	$1'$	—	2,0
2Т15К	25	$1^{\circ} 30'$	$1,2-\infty$	$1'$	$6''$	$\pm 3'$	3,0
2Т5К	27,5	$1^{\circ} 30'$	$2,0-\infty$	$1'$	$6''$	$\pm 3'$	3,5
2Т5	27,5	$1^{\circ} 30'$	$2,0-\infty$	$1'$	$6''$	—	3,8
2Т2	27,5	$1^{\circ} 30'$	$2,0-\infty$	$20'$	$0,1''$	—	4,2

Устройство теодолитов с металлическими кругами

Технические теодолиты ТТ-5, ТТП и ТН. Теодолит ТТ-5 (рис. 38), как и теодолиты ТТП и ТН, был последним типом приборов с металлическими кругами, выпущенных нашими заводами. Теодолит ТТ-5 имеет повторительную систему осей. Зарекомендовал себя хорошими эксплуатационными качествами. По сравнению с ранее выпускавшимися однотипными приборами имеет малую массу и размеры.

Лимб горизонтального круга оцифрован по ходу движения часовой стрелки через каждые $5'$. Цена деления лимба равна $10'$. Отсчетным приспособлением является верньер (рис. 39); точность верньера $30''$. Вертикальный круг теодолита имеет ту же оцифровку, что и горизонтальный.

Подставка прибора съемная. Посадочное гнездо подставки прикрыто снизу крышкой с крючком для подвески нитяного отвеса.

В комплект теодолита входит оптический центрир. Для его применения следует отвинтить крышку и теми же винтами при- винтить оптический центрир к посадочному гнезду подставки.

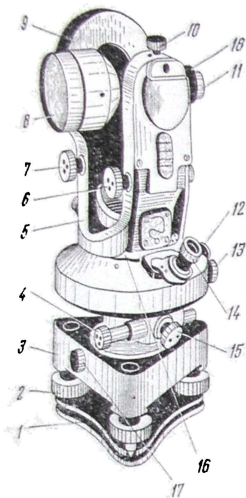
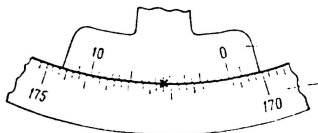


Рис. 38. Теодолит ТТ-5

1 — пружинящая пластина с втулкой для станového винта; 2 — подъемный винт; 3 — подставка; 4 — наводящий винт лимба; 5 — подставка трубы; 6 — наводящий винт трубы; 7 — установочный винт алидады вертикального круга; 8 — зрительная труба; 9 — вертикальный круг; 10 — закрепительный винт трубы; 11 — окуляр; 12, 13 — закрепительный и наводящий винты алидады; 14 — лупа; 15 — закрепительный винт лимба; 16 — исправительный винт уровня; 17 — закрепительный винт подставки; 18 — колпачок, прикрывающий исправительные винты сетки нитей

Рис. 39. Отсчетное приспособление теодолита ТТ-5

2 — верньер. Отсч



Теодолит ТТП (рис. 40). Теодолит проектировочный создан на базе теодолита ТТ-5 и имеет общие с ним технические характеристики. Введение в теодолит дополнительных устройств позволяет использовать прибор на различных инженерно-геодезических работах: нивелировать горизонтальным лучом, проектировать высокие точки сооружений на различные горизонты, устанавливать конструкции в вертикальное положение и др.

В связи со сказанным теодолит имеет следующие конструктивные особенности (см. рис. 40):

1) открытые концы 1 горизонтальной оси вращения трубы, являющиеся цапфами для установки накладного уровня 2 с ценою деления 15";

2) исправительные винты 6, регулирующие положение горизонтальной оси вращения трубы наклоном всей верхней части теодолита;

3) цилиндрический уровень 4, прикрепленный к зрительной трубе для производства нивелирования горизонтальным лучом;

4) окулярную насадку 5, с помощью которой можно производить визирование под углом наклона до 75°

Теодолит ТН (рис. 41). Теодолит-нивелир так же, как и теодолит ТТП, разработан на базе теодолита ТТ-5. Назначение теодолита определило следующие особенности его конструкции:

1) наличие на зрительной трубе цилиндрического уровня 12 с ценой делений 20" позволяет производить нивелирование IV класса при помощи горизонтального луча;

2) наличие контрвинта 6 и специального хомутика обеспечивает жесткое скрепление зрительной трубы с ее подставками при производстве нивелирования горизонтальным лучом;

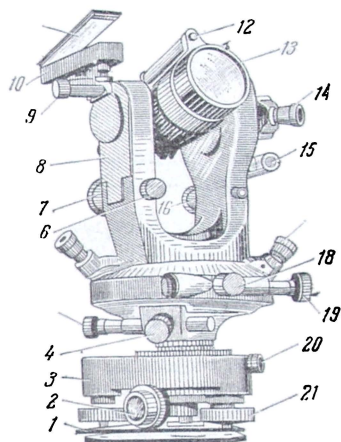
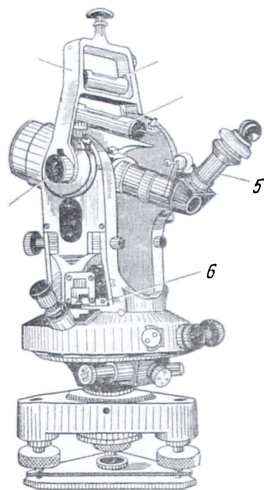


Рис. 40. Теодолит ТТП

1 — предохранительный колпачок выступающего конца горизонтальной оси трубы; 2 — накладной уровень; 3 — исправительный винт накладного уровня; 4 — уровень при трубе; 5 — окулярная насадка; 6 — исправительные винты подставки трубы

Рис. 41. Теодолит-нивелир ТН

1 — пружинящая пластина; 2 — оптический центрир; 3 — подставка; 4, 5 — закрепительный и наводящий винты горизонтального круга; 6 — контрвинт; 7 — наводящий винт трубы; 8 — подставка трубы; 9 — закрепительный винт ориентир-буссоли; 10 — ориентир-буссоли; 11 — зеркало ориентир-буссоли; 12 — уровень; 13 — зрительная труба; 14 — лупа; 15 — уровень при алидаде вертикального круга; 16 — установочный винт алидады вертикального круга; 17 — лупа; 18—19 — закрепительный и наводящий винты алидады горизонтального круга; 20 — закрепительный винт подставки; 21 — подъемный винт

3) установка визирной оси зрительной трубы в горизонтальное положение осуществляется ее наводящим винтом 7 подобно тому, как это делается элевационным винтом нивелира НЗ (см. § 37);

4) оптический центрир 2 входит в основной комплект прибора.

§ 16. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОДОЛИТОВ

Для получения результатов измерений с точностью, на которую рассчитан данный тип теодолита, необходимо, чтобы прибор удовлетворял механико-технологическим, оптическим и геометри-

ческим условиям, предусмотренным в теоретической схеме и конструкции его, вытекающим из принципа измерения горизонтальных и вертикальных углов.

Перед эксплуатацией геодезических приборов, в данном случае теодолитов, необходима проверка выполнения этих условий.

По характеру и способу устранения нарушений указанных условий они могут быть разделены на две основные группы.

1. Отступления от идеальной схемы и конструкции приборов, вызванные недостатками самих конструкций.

Для устранения этих отступлений приборы должны быть переданы в оптико-механическую мастерскую. В некоторых случаях устранение влияния недостатков изготовления приборов возможно путем применения продуманной методики работ или путем введения соответствующих поправок.

Проверку отсутствия или выявления этих отступлений, а также определение некоторых постоянных приборов (например, увеличения трубы, цены деления уровня и др.) называют исследованием приборов.

2. Отступления от идеальной геометрической схемы приборов, вызванные нарушением правильного взаимного расположения их осей и частей, устранение которых осуществляется при помощи специальных устройств (винтов и др.).

Выявление отступления этого характера будем называть проверками приборов, а их устранение — юстировкой. Поверки и юстировки теодолитов выполняются производителем работ.

Исследование приборов обычно производят при их приемке, а также после механических повреждений.

Поверку и юстировку приборов следует выполнять систематически; нужно иметь в виду, что разъюстировка прибора может быть следствием тряски при перевозке, а также изменений внешних условий, например температуры и т. п.

Ниже изложены требования к теодолитам, вызывающие исследования, и дано описание последних. Поверкам теодолитов и методам юстировки их посвящен § 17.

Исследования теодолитов в зависимости от поставленной задачи (оценка правильности работы отдельных узлов теодолита, определение поправок с целью исключения систематических погрешностей и др.) могут быть различными. Чем точнее теодолит, тем больший круг вопросов исследуется и тем тщательнее выполняются эти исследования.

Здесь рассмотрим исследования технических и точных теодолитов, которые могут быть выполнены, как правило, в полевых условиях.

1. Положение теодолита на штативе должно быть устойчивым.

Закрепляют теодолит на головке штатива и наводят центр сетки на точку местности. Взявшись руками за головку штатива, прикладывают к ней небольшое крутящее усилие в разных направлениях. Если после снятия усилия замечено смещение центра

сетки с точки местности, то гаечным ключом надо затянуть закрепительные винты ножек штатива.

Добившись устойчивости штатива, проверяют устойчивость подставки теодолита. Для этого надо слегка повернуть корпус подставки, и если после снятия усилия центр сетки сместится с наблюдаемой точки, то при помощи шпильки надо подвинтить гайку регулировки хода подъемных винтов.

2. Вращение лимба, алидады, зрительной трубы должно быть свободным, а при вращении наводящих винтов — плавным.

Аккуратно вращая эти части, наблюдают за их движением и убеждаются, что оно свободно. После этого вращают наводящие винты и убеждаются, что изображение предметов в поле зрения трубы перемещается плавно.

3. Соответствие цены деления шкалового микроскопа его задуманному значению.

Расстояние между изображением соседних оцифрованных штрихов лимба должно быть равно расстоянию между крайними оцифрованными делениями шкалы. Если это условие нарушено, то между изображением соседних штрихов лимба поместится не n_0 расчетных делений шкалы, а n делений.

Разность расчетного числа делений шкалы и фактически помещающихся между изображением соседних штрихов лимба называется реном шкалового микроскопа (ρ)

$$\rho = n_0 - n.$$

Чтобы определить величину рена, надо совместить нулевой штрих шкалы с одним из штрихов горизонтального (или вертикального) круга и подсчитать число делений шкалы, заключенных между соседними штрихами кругов. Такие наблюдения выполняют многократно через равные интервалы и вычисляют среднее значение n' числа делений. Значение рена будет равно

$$\rho' = n_0 - n' \quad (IV.1)$$

Величина рена не должна быть более 0,25 деления. В противном случае механиком путем изменения увеличения микроскопа достигается совмещение штрихов круга со штрихами шкалы микроскопа. Практически достигается уменьшение рена до допустимой величины. Возможен также учет рена путем введения поправок в отсчет.

4. Деления лимба и верньера горизонтального и вертикального кругов должны быть верны.

Совмещают нулевой штрих верньера с каким-либо штрихом лимба. Так как длина дуги верньера равна целому числу делений лимба, то последний оцифрованный штрих верньера должен совпадать с соответствующим штрихом лимба.

Такую проверку делений лимба производят через равные интервалы.

В правильности делений верньера убеждаются, совмещая последовательно каждый штрих верньера со штрихом лимба. Штрихи верньера, расположенные справа и слева от совмещенного штриха, должны быть симметричными.

5. Отсчетная система не должна иметь параллакса.

При фокусировке окуляра микроскопа изображение штрихов горизонтального и вертикального кругов в центре поля зрения должно быть четким.

Если при перемещении глаза у окуляра обнаружен параллакс, вносящий погрешность в отсчет, то его следует устранить.

Устранение параллакса выполняется одновременно с устранением рена ρ (см. п. 3) в оптической мастерской.

6. Внутренняя поверхность ампулы уровня должна быть хорошо отшлифована.

Вращая подъемные винты (при проверке ампулы уровня горизонтального круга) или установочный винт (при проверке ампулы уровня алидады вертикального круга), следует убедиться в том, что пузырек уровня перемещается плавно, без скачков и задержек. При несоблюдении этого условия ампулы уровней подлежат замене.

7. Изображения, наблюдаемые в зрительную трубу, должны быть четкими.

На листе белой бумаги вычерчивают правильные фигуры: круг, квадрат, прямоугольник размером 5—10 см. Фигуры окрашивают в черный цвет. Лист бумаги располагают на расстоянии 15—20 м от теодолита. В поле зрения трубы должны быть видны фигуры, подобные вычерченным. Кроме того, наблюдаемые изображения не должны быть окрашены.

8. Определение увеличения зрительной трубы.

Увеличение трубы может быть определено по формуле

$$v = \frac{\alpha}{\beta}, \quad (IV.2)$$

где α — угол, под которым видно изображение предмета в трубе; β — угол, под которым предмет виден невооруженным глазом.

Устанавливают рейку с сантиметровыми делениями в 5—7 м от теодолита и наводят на нее зрительную трубу. Рассматривают рейку, одним глазом глядя в трубу, а другим, невооруженным глазом — мимо трубы.

Увеличение трубы будет равно числу делений рейки, наблюдаемому невооруженным глазом и проектирующемуся на одно деление рейки, видимое в трубе (рис. 42). В нашем примере $v = 17,5\times$

9. Определение поля зрения трубы.

Поле зрения трубы называется коническое пространство, видимое в трубу при неподвижном ее положении. Для определения поля зрения наводят трубу на предмет так, чтобы его изображение оказалось на краю, например, правой части поля зрения, и про-

изводят отсчет по горизонтальному кругу. Вращением наводящего винта алидады перемещают изображение предмета на край левой части поля зрения и вновь производят отсчет. Величину поля зрения в угловой мере получают как разность отсчетов по горизонтальному кругу.

Исследования, описанные в пунктах 8 и 9, относятся к определению постоянных геодезических приборов.

10. Плоскости лимба и алидады должны быть перпендикулярны к основной оси теодолита.

Для исследования этого условия у верньерных теодолитов закрепляют лимб и вращают алидаду вокруг основной оси прибора. Наблюдая в лупу, установленную над окошком верньера, убеждаются, что зазор между лимбом и алидадой мал и остается постоянным. Если это условие не соблюдается, то устранение выявленных недостатков выполняется в оптической мастерской.

Исследование работы осевой системы оптических теодолитов осуществляется при помощи цилиндрических уровней с малой ценой деления в лабораторных условиях.

11. Исследование величины эксцентриситета алидады.

а. Определение эксцентриситета приборов с металлическими кругами.

Для выявления эксцентриситета производят отсчет по двум верньерам, устанавливая один из них через равные интервалы, например через 30 или 45° . Если разность отсчетов по двум верньерам равна 180° , то эксцентриситет отсутствует; в противном случае эксцентриситет имеется. Его величина на различных частях лимба будет различной, но она не должна превышать двойной точности верньера. Если величина эксцентриситета более двойной точности верньера, то это является следствием того, что ось вращения алидады не проходит через центр делений лимба.

Среднее из отсчетов по двум верньерам исключает влияние эксцентриситета на отсчет.

б. Определение эксцентриситета алидады оптических теодолитов с односторонней системой отсчитывания.

Эксцентриситет алидады выявляется последовательным наведением зрительной трубы на предмет и производством отсчетов по горизонтальному лимбу при двух положениях вертикального круга.

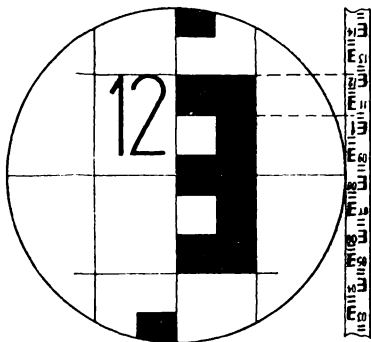


Рис. 42. Определение увеличения трубы

Устанавливают теодолит на штатив и приводят его основную ось в отвесное положение (см. § 17). Вокруг теодолита на равном удалении (30—50 м) устанавливают марки (или вехи), так чтобы обозначенные ими направления образовали углы, примерно равные 45° .

Измеряют направление на каждую марку — при круге лево КЛ вращением алидады по ходу движения часовой стрелки и при круге право КП — против хода движения часовой стрелки. Из двух значений направлений на каждую марку вычисляют среднее, после чего находят разности

$$v_i = \text{КЛ} - \text{КП} + 180^\circ \quad 2, \quad 8).$$

Колебания разностей v_i являются следствием неточности отсчетного устройства теодолита, влияния эксцентриситета алидады на отсчеты и коллимационной погрешности (см. § 17). Так, при исследовании эксцентриситета алидады теодолита ТЗ0, снабженного штриховым микроскопом, колебание разностей в пределах $\pm 1'$ дает основание полагать, что влияние эксцентриситета не обнаруживается.

Элементы эксцентриситета могут быть получены по разностям v_i графически. Для этого по оси абсцисс откладывают направления ($45^\circ, 90^\circ, \dots$) на марки, а по оси ординат — соответствующие им разности v_i и строят синусоиду. Находят для синусоиды ось симметрии, параллельную оси абсцисс, и определяют относительно этой оси максимальное значение эксцентриситета алидады.

12. При фокусировке зрительной трубы визирная ось должна сохранять постоянное положение.

Последовательно наводят центр сетки при круге право и круге лево на 3—4 точки местности, расположенные на различных расстояниях от теодолита. Разности отсчетов, произведенных при наблюдении на каждую точку при различных положениях вертикального круга, должны быть одинаковы. Расхождения в разностях не должны превышать двойной точности отсчетного устройства. При несоблюдении этого условия исправление выполняется в оптико-механической мастерской.

§ 17. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ ТЕОДОЛИТОВ

Выполнение главного геометрического условия, предъявляемого к теодолиту, — перпендикулярности коллимационной плоскости к плоскости лимба горизонтального круга — требует производства поверок и соответствующих юстировок, число и порядок выполнения которых зависит от конструкции теодолитов.

Поверки и юстировки оптических теодолитов

1. *Поверка перпендикулярности оси UU (см. рис. 25) цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к основной оси JJ теодолита.*

Порядок проверки. Устанавливают уровень поворотом алидады по направлению двух подъемных винтов (рис. 43) и, вращая их в разные стороны (для ускорения процесса), приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

Поворачивают алидаду на 180° . Если после поворота алидады пузырек уровня остался на середине (в нуль-пункте), то условие выполнено. В противном случае выполняют юстировку уровня.

Порядок юстировки. Действуя исправительным винтом уровня (см., например, 4, рис. 26), перемещают пузырек к нуль-пункту на половину дуги отклонения. Для контроля действия повторяют, т. е. вновь приводят пузырек уровня в нуль-пункт вращением подъемных винтов, поворачивают алидаду на 180° и т. д.

Если при алидаде горизонтального круга имеется второй уровень, то он проверяется аналогично.

Приведение основной оси теодолита в отвесное положение*

Перед производством последующих проверок (а также при установке теодолита в рабочее положение, см. § 18) необходимо основную ось теодолита *JJ* (см. рис. 25) привести в отвесное положение.

Для достижения этого условия вращением двух подъемных винтов, вдоль которых установлен уровень, приводят пузырек в нуль-пункт. Вращением алидады устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта и, действуя им, вновь приводят пузырек в нуль-пункт.

Если при алидаде горизонтального круга два уровня, то поворачивать алидаду на 90° по направлению третьего подъемного винта не надо, так как второй уровень прикреплен к алидаде под углом 90° к первому. В этом случае, действуя третьим подъемным винтом, приводят пузырек второго уровня в нуль-пункт.

Примечание. Если при алидаде горизонтального круга, кроме цилиндрического уровня, имеется и круглый (например, у теодолита 2Т5К), то для его юстировки после приведения основ-

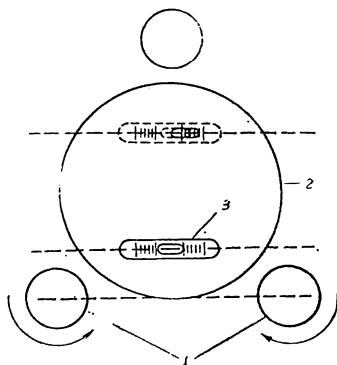


Рис. 43. Схема проверки уровня
1 — подъемные винты; 2 — алидада; 3 — уровень

* Заметим, что приведение основной оси теодолита в отвесное положение не является проверкой теодолита.

ной оси теодолита в отвесное положение надо при помощи его исправительных винтов привести пузырек в центр ампулы. В этом случае ось круглого уровня будет параллельна основной оси теодолита.

2. *Проверка перпендикулярности визирной оси VV (см. рис. 25) к оси вращения трубы.*

Если указанное условие не выполнено, то визирная ось и нормаль к оси вращения трубы составят некоторый угол c , называемый коллимационной погрешностью.

Проверка условия у теодолитов с односторонней системой отсчета производится так, чтобы при этом исключить влияние эксцентриситета на отсчет.

П о р я д о к п о в е р к и. Закрепляют лимб, наводят центр сетки (например, при круге лево) на отдаленную точку местности, расположенную примерно на одном уровне с осью вращения трубы, и производят отсчет $КЛ_1$. Переводят трубу через зенит, поворотом алидады наводят центр сетки (при круге право) на ту же точку и производят отсчет $КП_1$. Далее открепляют винт, закрепляющий положение теодолита в подставке (см., например, винт 7 на рис. 29) и поворачивают в ней прибор примерно на 180° , после чего вновь фиксируют положение теодолита.

Для этой же цели у теодолитов ТЗ0, 2Т5К, 2Т5, 2Т2 пользуются соответственно винтами 3, 15, 17, 16 (см. рис. 26, 32, 34, 36).

Закрепив теодолит в подставке, снова наводят центр сетки на ту же точку местности при круге лево и круге право и берут вторые отсчеты $КЛ_2$ и $КП_2$.

Величину коллимационной погрешности c вычисляют по формуле

$$c = \frac{(КЛ_1 - КП_1 \pm 180^\circ) + (КЛ_2 - КП_2 \pm 180^\circ)}{4}. \quad (IV.4)$$

Если погрешность c не превышает двойной точности отсчетного приспособления, то условие выполнено. В противном случае производят юстировку.

П о р я д о к ю с т и р о в к и. Вычисляют верный отсчет по формуле

$$\text{или} \quad \left. \begin{aligned} КП &= КП_2 + c \\ КП &= КЛ_2 - c \end{aligned} \right\} \quad (IV.5)$$

и устанавливают полученный отсчет на лимбе горизонтального круга; при этом центр сетки сместится с наблюдаемой точки местности. Необходимо вновь навести центр сетки на эту точку. Для этой цели у теодолитов ТЗ0 и Т15К надо отвернуть колпачки, прикрывающие исправительные винты сетки нитей (см., например, 8, рис. 26) и, действуя ими, совместить ее центр с точкой местности. У теодолитов 2Т5К, 2Т5 и 2Т2 для этой же цели, вращая кольцо 3 (см. рис. 32, 34, 36), вводят изображение точки местности в центр сетки нитей (в центр биссектора). Для контроля поверку повторяют.

Номера точек	Отсчеты по горизонтальным кругу		Приг
	КП	КЛ	
До поворота теодолита в подставке			
	0° 38'	180° 32'	Теодолит Т30
После поворота теодолита в подставке			
1	180° 37'	0° 31'	

Значение коллимационной погрешности согласно формуле (IV.4) и табл. 15 будет

$$c = \frac{(180^\circ 32' - 0^\circ 38' - 180^\circ) + (0^\circ 31' - 180^\circ 37' + 180^\circ)}{4} =$$

$$= \frac{-6' + (-6')}{4} = -3'.$$

Величина коллимационной погрешности оказалась больше двойной точности отсчетного приспособления, а потому следует произвести юстировку.

Отсчеты, соответствующие перпендикулярному положению визирной оси к оси вращения трубы, будут (см. формулы VI.5)

$$\text{КЛ} = 0^\circ 31' - (-3') = 0^\circ 34' \quad \text{и} \quad \text{КП} = 180^\circ 37' + (-3') = 180^\circ 34'$$

На отсчет при круге лево устанавливают отсчетный индекс микроскопа и, действуя горизонтальными исправительными винтами сетки нитей, совмещают ее центр с наблюдаемой точкой местности. Для контроля действия повторяют.

3. *Проверка перпендикулярности оси ТТ (см. рис. 25) вращения трубы к основной оси JJ теодолита.*

Порядок проверки. Устанавливают теодолит на расстоянии 20—30 м от стены высокого здания (или другого предмета) и приводят ось теодолита в отвесное положение. Закрепляют лимб, наводят центр сетки на четко видимую высоко расположенную точку В на стене здания (направление на эту точку должно составлять с горизонтом угол 30—40°), закрепляют алидаду, опускают трубу до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию *b* центра сетки.

Переводят трубу через зенит, открепляют алидаду, вновь визируют на точку В, закрепляют алидаду, опускают трубу до уровня отмеченной ранее точки *b* и отмечают проекцию *b*₁ центра сетки.

Если расстояние между проекциями b и b_1 не более ширины биссектора сетки нитей или отношение отрезков

$$\frac{b_0 b_1}{B b_0} \leq \frac{1}{6000}$$

(здесь b_0 — средняя точка отрезка bb_1), то условие выполнено.

Порядок юстировки. При необходимости юстировка выполняется в мастерской.

4. *Проверка перпендикулярности горизонтальной нити сетки к основной оси теодолита.*

Порядок проверки. Приводят ось теодолита в отвесное положение и наводят среднюю горизонтальную нить сетки на хорошо видимую точку местности. Вращением наводящего винта алидады поворачивают трубу по азимуту; нить при этом не должна сходиться с точки. Если изображение точки смещается с нити сетки более чем на двойную ее толщину, то производят юстировку.

Порядок юстировки. У теодолитов Т30 и Т15 надо снять колпачок, прикрывающий юстировочные винты сетки нитей, отпустить три закрепительных винта окуляра и повернуть его вместе с сеткой до выполнения условия, после чего вновь закрепить окуляр.

У теодолитов 2Т5К, 2Т5 и 2Т2 надо, взявшись за колпачок 9, 11, (см. соответственно рис. 32, 34, 36), слегка повернуть окуляр вместе с сеткой. Если такое действие не устранит наклона горизонтальной нити, то юстировку выполняют в оптической мастерской.

После выполнения описанной проверки и юстировки надо повторить проверку перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы, поэтому рекомендуется эти обе проверки выполнять одновременно.

5. *Проверка компенсатора вертикального круга* (для теодолитов Т5К и Т15К).

Проверка компенсатора состоит из двух частей: проверки точности его работы и определения диапазона работы компенсатора.

Назначение компенсатора — обеспечить неизменность отсчета по вертикальному кругу при наклонах оси теодолита в пределах, обеспечиваемых уровнем при горизонтальном круге теодолита (в пределах заданного угла компенсации). Этот угол у теодолитов 2Т5К и Т15К равен $\pm 3'$

Для производства первой части проверки устанавливают основную ось теодолита в отвесное положение, располагают уровень при алидаде горизонтального круга и один из подъемных винтов в направлении наблюдаемой точки и, действуя им, наклоняют теодолит на 2—3 деления уровня. После этого наводят центр сетки на выбранную точку и берут отсчет по вертикальному кругу. Наклоняют теодолит тем же винтом в противоположную сторону на тот же угол, наводят вновь трубу на выбранную точку местности

и производят второй отсчет по вертикальному кругу. Отсчеты, полученные при первом и втором наведении, могут различаться на величину не более $0,2'$

Для производства второй части поверки закрепляют трубу, берут отсчет по вертикальному кругу и, наблюдая в отсчетный микроскоп, медленно вращают подъемный винт подставки, расположенный в направлении коллимационной плоскости трубы.

Во время вращения подъемного винта будет наблюдаться смещение штриха лимба вертикального круга относительно шкалы микроскопа. Подъемный винт вращают до тех пор, пока штрих не прекратит смещение относительно шкалы, после чего берут отсчет по вертикальному кругу и сравнивают его с предыдущим отсчетом. Действия повторяют, вращая подъемный винт в противоположном направлении. Диапазон работы компенсатора не должен быть менее $3'$, считая от среднего положения.

Если условия первой и второй частей поверок компенсатора не выполняются, то исправление производится в оптической мастерской.

6. Поверка совпадения оси оптического центрира с основной осью теодолита.

П о р я д о к п о в е р к и. Устанавливают теодолит на штативе над точкой местности и приводят основную ось прибора в отвесное положение. При вращении алидады изображение точки не должно смещаться с центра сетки оптического центрира на величину более $0,5$ радиуса малой окружности, нанесенной на сетку. Такая величина смещения соответствует погрешности центрирования на местности, равной $0,5$ мм. При большей величине смещения производят юстировку.

П о р я д о к ю с т и р о в к и. У теодолита Т15К вращением винтов, расположенных под крышкой 11, смещают окулярную часть центрира 5 (см. рис. 29) до совпадения визирной оси центрира с основной осью теодолита.

У теодолитов 2Т5 и 2Т2 для соблюдения условия смещают переднюю линзу объектива центрира юстировочными винтами.

Погрешность положения оси оптического центрира можно исключить во время центрирования путем ее осреднения при поворотах алидады на 180°

7. Поверка коллиматорных визиров — визирные оси коллиматорных визиров должны быть параллельны визирной оси зрительной трубы.

П о р я д о к п о в е р к и. Наводят коллиматорный визир на предмет местности, расположенный на расстоянии не менее 50 м. Если изображение предмета окажется смещенным с центра сетки зрительной трубы более чем на $1/5$ поля зрения, то положение визира рекомендуется отъюстировать.

П о р я д о к ю с т и р о в к и. Слегка вывинчивают четыре винта, скрепляющие визир с корпусом трубы, и после соответствующего поворота визира по азимуту вновь их завинчивают.

8. *Проверка буссоли (ориентир-буссоли) — коллимационная плоскость должна проходить через нулевой диаметр буссоли или быть ему параллельной.*

Порядок поверки. Поверку производят путем сравнения показаний испытываемой буссоли с ранее выверенной. Наблюдения производят на одной и той же линии местности. Юстировка выполняется в мастерской.

Поверки и юстировки теодолитов с металлическими кругами

Теодолиты ТТ-5, ТТП ТН

1. *Проверка перпендикулярности оси UU (см. рис. 25) цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга к основной оси JJ прибора.*

Порядок поверки и юстировки такой же, как у оптических теодолитов.

2. *Проверка перпендикулярности визирной оси VV (см. рис. 25) к оси вращения трубы.*

Порядок поверки. Закрепляют лимб, наводят центр сетки, например при круге право КП, на отдаленную точку местности, расположенную на одном уровне с осью вращения трубы, производят отсчеты по двум верньерам и вычисляют среднее из них. Переводят трубу через зенит, поворотом алидады наводят (при круге лево КЛ) центр сетки на ту же точку местности, вновь производят отсчеты по двум верньерам и вычисляют среднее из них. Если средние отсчеты при наведении на точку при круге право и круге лево отличаются друг от друга на $180^\circ \pm 2t$, где t — точность верньера, то условие выполнено. В противном случае производят юстировку.

Порядок юстировки. Действуя наводящим винтом 13 (см. рис. 38) алидады горизонтального круга, устанавливают нуль верньера на средний из отсчетов, полученных при КП и КЛ. Так как при этом центр сетки сойдет с наблюдаемой точки, то, действуя исправительными винтами сетки (расположенными под колпачком 18), совмещают ее центр с точкой местности.

Пример (табл. 16):

Таблица 16

Номера точек	Отсчеты		
			$\frac{1 + 2}{2}$
	КП 7 17 00	16 00	16 30
	КЛ 187 20 30	20 30	20 30

Средний отсчет при КЛ, приведенный к отсчету при КП, составит $187^{\circ}20'30'' - 180^{\circ} = 7^{\circ}20'30''$

Величина коллимационной погрешности c будет равна

$$c = \frac{\text{КП} - \text{КЛ}}{2} = \frac{7^{\circ}16'30'' - 7^{\circ}20'30''}{2} = -2'00''.$$

Отсчет, соответствующий перпендикулярному положению визирной оси к оси вращения трубы, будет

$$\frac{7^{\circ}16'30'' + 7^{\circ}20'30''}{2} = 7^{\circ}18'30''.$$

На этот отсчет устанавливают нуль первого верньера при КЛ. Действуя горизонтальными исправительными винтами сетки нитей, совмещают ее центр с точкой местности.

3. *Горизонтальная ось ТТ (см. рис. 25) вращения трубы должна быть перпендикулярна к основной оси JJ прибора.*

4. *Вертикальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси ТТ вращения трубы.*

5. *Поверка буссоли (ориентир-буссоли).*

Порядок производства поверки 3, 4 и 5 и соответствующих им юстировок такой же, как у оптических теодолитов.

У теодолита ТТП, кроме приведенных выше пяти поверок, требуется соблюдение следующих дополнительных условий и выполнение соответствующих им поверок и юстировок.

6. *Ось накладного уровня 2 (см. рис. 40) должна быть параллельна образующей цапф горизонтальной оси вращения трубы.*

П о р я д о к п о в е р к и. Накладывают уровень на цапфы горизонтальной оси трубы, вращением алидады устанавливают ее по направлению двух подъемных винтов и, действуя ими, приводят пузырек проверяемого уровня на середину. Снимают накладной уровень, поворачивают его на 180° и вновь устанавливают на цапфы оси трубы. Если пузырек остался на середине, то условие выполнено. В противном случае производят юстировку.

П о р я д о к ю с т и р о в к и. Действуя исправительным винтом 3 (см. рис. 40), перемещают пузырек к середине ампулы на половину дуги отклонения. Для контроля действия повторяют.

7. *Поверка перпендикулярности горизонтальной оси вращения трубы к основной оси прибора у теодолита ТТП производится при помощи накладного уровня.*

П о р я д о к п о в е р к и. Приводят основную ось теодолита в отвесное положение при помощи уровня при алидаде горизонтального круга. Зажимают все закрепительные винты теодолита, накладывают уровень на цапфы оси трубы и устанавливают ее по направлению двух подъемных винтов. Действуя ими, приводят пузырек накладного уровня на середину. Освобождают закрепительный винт алидады горизонтального круга, поворачивают ее на 180° и зажимают закрепительный винт. Если пузырек накладного уровня остался на середине, то условие выполнено, в противном случае производят юстировку.

Порядок юстировки. Действуя исправительным винтом 6 подставки трубы (см. рис. 40), перемещают пузырек к нуль-пункту на половину дуги отклонения. Для контроля поверку повторяют.

Дополнительными поверками и юстировками у теодолита ТН являются следующие.

8. *Ось уровня, установленного на зрительной трубе, должна быть параллельна визирной оси.*

Порядок проверки такой же, как при проверке главного условия у уровенных нивелиров (см. § 41).

Юстировка выполняется следующим образом: наводящим винтом трубы совмещают центр сетки с отсчетом, вычисляемым по формуле $b'_2 = b_2 - x$, после чего исправительными винтами уровня при трубе приводят пузырек его в нуль-пункт.

9. *Проверка оптического центрира — центр сетки оптического центрира должен лежать на основной оси теодолита.*

Порядок проверки. Приводят основную ось теодолита в отвесное положение. Забивают в 3—4 м от теодолита колышек, наводят на его торец центр сетки и отмечают место его проекции. Не меняя положения трубы, поворачивают алидаду на 180° . По направлению линии визирования забивают второй колышек и также делают на его торце метку в точке, где спроектировался центр сетки нитей. Между метками на колышках натягивают нить. Поворачивают алидаду на 90° и по направлению, перпендикулярному к натянутой нити, повторяют все действия в указанном выше порядке. Центр сетки оптического центрира должен проектироваться в точку пересечения натянутых нитей; в противном случае выполняют юстировку.

Порядок юстировки. Действуя исправительными винтами сетки оптического центрира, перемещают ее центр до совпадения с точкой пересечения натянутых нитей. Для контроля действия повторяют.

Б. МЕТОДЫ УГЛОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 18. ПОДГОТОВКА ТЕОДОЛИТА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ; УСТАНОВКА ВИЗИРНЫХ ЗНАКОВ

Перед измерением углов должны быть выполнены все поверки соответственно конструкции данного прибора.

Подготовка теодолита для наблюдений состоит из следующих действий: 1) центрирования, 2) приведения основной оси прибора в отвесное положение и 3) установки трубы для наблюдений.

Центрирование инструмента над вершиной измеряемого угла в зависимости от точности выполняемой работы может быть выполнено при помощи нитяного отвеса или оптического центрира.

Центрирование при помощи нитяного отвеса. Выверенный теодолит прикрепляют станovým винтом к головке штатива. При помощи ножек штатива производят предварительное центрирование, наблюдая при этом, чтобы головка штатива была горизонтальна, а острый отвес находился в непосредственной близости от центра знака, закрепляющего вершину угла.

В результате предварительного центрирования острый отвес может отклоняться от центра знака на 1—2 см. Центрирование уточняют передвижением теодолита на головке штатива. Для этой цели предварительно открепляют становой винт и после уточнения центрирования вновь закрепляют.

Центрирование при помощи оптического центра. Производят предварительное центрирование при помощи нитяного отвеса в указанном выше порядке. Далее отводят нитяной отвес в сторону, открепляют становой винт и, слегка перемещая теодолит на головке штатива, вводят изображение точки в центр окружности сетки оптического центра, затем вновь закрепляют теодолит на головке штатива при помощи станového винта.

Приведение основной оси теодолита в отвесное положение производят при помощи уровня на алидаде горизонтального круга, действуя подъемными винтами (см. § 17). После приведения оси теодолита в отвесное положение может быть нарушено центрирование. Поэтому, центрирование и приведение оси теодолита в отвесное положение выполняют несколькими последовательными приближениями.

Установка трубы для наблюдений состоит из трех действий: а) установки трубы по глазу, б) установки трубы по предмету и в) устранения параллакса сетки нитей.

Чтобы установить трубу по глазу, надо навести ее на светлый фон и, вращая окулярную трубочку, добиться четкой видимости сетки нитей.

Для установки трубы по предмету сначала визируют поверх нее, пользуясь коллиматорным визиром (или другим приспособлением для визирования, имеющимся на зрительной трубе). После того как наблюдаемый предмет попал в поле зрения трубы, зажимают закрепительные винты лимба и зрительной трубы. Вращением кольца кремальеры добиваются четкого изображения наблюдаемого предмета. Действуя наводящими винтами алидады и зрительной трубы, совмещают центр сетки с изображением визирного знака.

После получения четкой видимости наблюдаемой точки местности и совмещения ее изображения с центром сетки нитей надо слегка переместить глаз у окуляра. Если изображение точки местности смещается относительно центра сетки нитей, то параллакс имеется.

Устранение параллакса сетки нитей производится небольшим вращением кольца кремальеры.

Конечные точки сторон измеряемых углов закрепляют на местности специальными знаками. Непосредственное визирирование на знаки бывает затруднено в силу условий местности. Поэтому эти знаки обозначают визирными целями — вежами, шпильками и др. Вежи над знаками должны быть установлены отвесно. Фактически верх вежи или шпильки может отклоняться от отвесного положения, поэтому центр сетки наводят на их основания (рис. 44).

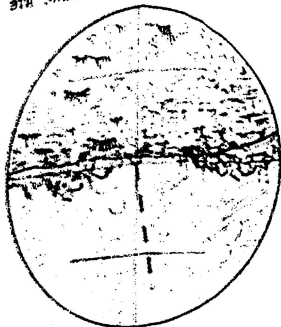


Рис. 44. Визирение трубы на центр знака

§ 19. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

Ниже рассматриваются способы измерения горизонтальных углов, чаще всего применяющиеся в инженерной практике.

Горизонтальный угол получают как разность двух направлений, исходящих из его вершины. Два таких направления 2—1 и 2—3 (рис. 45) составляют два угла: β — правый и λ — левый. В зависимости от того, какой угол измеряют, определяется очередность выведения трубы на точки и производства отсчетов. Для получения правого угла сначала наблюдают правую, или заднюю, точку (точку 1), а потом левую, или переднюю, (точку 3), тогда *

$$\angle \beta = a - b. \quad (IV.6)$$

При измерении левого угла сначала визируют на переднюю, а потом на заднюю точки и значение угла получают по формуле

$$\angle \lambda = b - a. \quad (IV.7)$$

Чтобы определить, какая точка правая, какая левая, надо стать в вершине угла, лицом внутрь его.

Измерение углов способом приемов

Используют теодолит над вершиной измеряемого угла и приводят его в рабочее положение (см. § 17).

Затемляют лимб, открепляют закрепительные винты алидады и трубы, наводят ее на правую точку 1 (см. рис. 45), производят отсчеты по дуге вертикали (по первому — градусы, минуты и секунды, а по второму — только минуты и секунды) и вычисляют среднее из них (табл. 17).

* Определенно при условии, если счет делений горизонтального круга идет по часовой стрелке.

Пусть эти действия произведены при круге право — КП. Затем открепляют алидаду, наводят трубу на левую точку 1, производят отсчеты по двум верньерам и вновь вычисляют среднее из них.

Из среднего отсчета на правую (заднюю) точку вычитают средний отсчет на левую (переднюю) точку и получают значение угла. Если отсчет на правую точку окажется меньше отсчета на переднюю (нуль лимба оказался между сторонами измеряемого угла), то к отсчету на правую точку прибавляют 360° . На этом заканчивается первый полуприем.

Переводят трубу через зенит, сменяют лимб на угол, близкий к 90° , и при круге лево вновь производят все действия в указанном выше порядке. Эти действия составляют второй полуприем.

Два полуприема образуют полный прием. Значения угла, полученные из первого и второго полуприемов, могут отличаться друг от друга не более чем на двойную точность верньера. При этом условии находят среднее значение угла. При большем расхождении угол измеряют вновь.

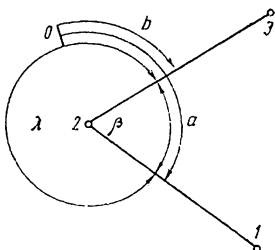


Рис. 45. Схема измерения горизонтальных углов

Т а б л и ц а 17
Журнал измерения углов способом приёмов

Дата

Время

Погода

Видимость

Теодолит ТТ-5 № 1726

Наименование				Среднее из отсчетов	Угол из 1-го и 2-го полуприемов	Среднее из углов	
станции	точек визирования	I верньер	II верньер				
2	3		КП			84 01 30 (15)	
		212 30 30 (1)	30 00 (2)	30 15 (3)	84 02 00 (7)		
		128 28 00 (4)	28 30 (5)	28 15 (6)			
	3		КЛ		84 01 00 (14)		
		40 58 30 (8)	58 30 (9)	58 30 (10)			
		316 57 30 (11)	57 30 (12)	57 30 (13)			

П р и м е ч а н и е: В скобках цифры указывают порядок заполнения журнала.

П р и м е ч а н и е. Приведенные выше рекомендации порядка измерения горизонтального угла относятся к теодолитам с металлическими лимбами.

При использовании теодолитов с односторонним отсчетом горизонтальный круг переставлять между полуприемами не следует.

Измерение углов способом круговых приемов

При способе круговых приемов измеряют направления, выходящие из общей вершины; только таких направлений не два, как в описанном выше способе приемов, а несколько (рис. 46); по разности соответствующих направлений вычисляют значения углов.

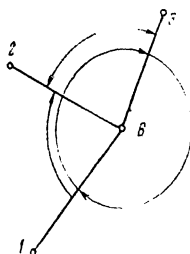


Рис. 46. Схема измерения углов способом круговых приемов

Работа на станции производится в такой последовательности.

Устанавливают теодолит в вершине В и приводят его в рабочее положение. Устанавливают на лимбе отсчет, близкий к нулю, и закрепляют алидаду. Вращением лимба наводят трубу на точку 1 начального направления, закрепляют лимб и вращением алидады по ходу часовой стрелки наводят последовательно центр сетки нитей на точки 2 и 3 заданных направлений. После каждого наведения производят отсчет и записывают в журнал (табл. 18); здесь цифрами в скобках показан порядок заполнения журнала. Заканчивают наблюдения повторным визированием на точку 1 и по полученным начальному и конечному отсчетам убеждаются в неподвижном положении лимба. Описанные действия составляют первый полуприем.

Т а б л и ц а 18

Журнал измерения углов способом круговых приемов

Дата

Время

Погода

Видимость

Теодолит Т30 № 1214

Наименование		Отсчеты по горизонтальному кругу		Среднее из отсчетов	Приведенные направления	КЛ—КП-20
стан-ция	точка визирования	КП	КЛ			
В	1	00 05 (1)	180 04 (8)	00 05 (13)	00 00 (14)	—01 (18)
	2	85 26 (2)	235 26 (7)	00 04,5 (9)	85 21 (15)	00 (19)
	3	153 20 (3)	333 21 (6)	85 26 (10)	153 15,5 (16)	+01 (20)
	1	00 06 (4)	180 05 (5)	153 20,5 (11)	00 00 (17)	—01 (21)
				00 05,5 (12)		

Переводят трубу через зенит, вновь визируют на начальную точку 1 и, вращая алидаду против хода часовой стрелки, последовательно наблюдают точки 3, 2 и 1. При каждом наведении производят отсчеты и записывают в журнал. На этом заканчивается второй полуприем. Два полуприема составляют полный прием.

Вычисляют средние значения отсчетов, полученных из наблюдений на точки при круге право и круге лево, после чего составляют среднее из средних отсчетов, соответствующих наведению на исходный пункт 1. Полученное среднее вычитают из средних отсчетов, произведенных при наблюдении на точки 1, 2 и 3, и получают приведенные направления. Последние являются значениями углов $1B2$ и $1B3$. Значение угла $2B3$ получают по разности направлений $B3-B2$.

Измерение углов производят несколькими (n) приемами. Между приемами лимб переставляют на угол, равный

$$\gamma = \frac{180^\circ}{n}. \quad (IV.8)$$

Дополнительным контролем правильности измерения углов способом круговых приемов является постоянство двойного значения коллимационной погрешности, получаемой из выражения $2c = КЛ - КП$. Колебание этой погрешности в пределах двойной точности отсчетного микроскопа свидетельствует о правильности измерений.

Измерение углов способом повторений

Измерение углов способом повторений может производиться теодолитами с повторительной системой осей.

Устанавливают теодолит в вершине угла, приводят его в рабочее положение и закрепляют алидаду так, чтобы отсчет по горизонтальному кругу был несколько больше нуля.

Вращением лимба против хода часовой стрелки наводят центр сетки на левую точку местности. Закрепляют лимб, открепляют алидаду и, вращая ее по ходу часовой стрелки, наводят трубу на правый предмет, после чего закрепляют алидаду и производят контрольный отсчет для определения приближенного значения угла. Полученные отсчеты заносят в журнал (табл. 19). Далее открепляют лимб и вращением его против хода часовой стрелки вновь наводят трубу на левую точку. Закрепляют лимб, открепляют алидаду и, вращая ее по ходу часовой стрелки, наводят центр сетки на правый предмет, но отсчет не производят. На этом заканчивается второе повторение.

Пусть угол измеряется тремя повторениями. Тогда вновь открепляют лимб и, вращая его против хода часовой стрелки вместе с закрепленной алидадой, наводят трубу на левую точку и лимб закрепляют. Вращением алидады по ходу движения часовой стрелки визируют на правую точку, производят отсчеты

Журнал измерения углов способом повторений

Дата

Врем:

Погода

Ви

Теодолит Т30 № 1005

Наименование		Число повторений	Отсчеты по горизонтальному кругу	л-кратный угол	Угол	Среднее из углов
станция	точка визирования					
2	3	3	КП	268 17 (4)	89 25,6 (5)	89 25,8 (10)
	1		00 05 (1)			
	1		89 26 (2)			
	1		268 22 (3)			
		3	КЛ	88 22 360 180 04 (8)	89 26 (9)	
			180 06 (6)			
			88 22 (7)			

по верньерам и вычисляют среднее из них. Если начальный отсчет был M , конечный N , число повторений p , то величина угла будет равна (см. табл. 19)

$$\angle \beta = \frac{N - M + k \cdot 360^\circ}{p} = \frac{268^\circ 22' - 0^\circ 05' + 0 \cdot 360^\circ}{3} = 89^\circ 25,6'$$

Здесь k — число переходов нуля первого верньера через нуль лимба, определяемое при помощи контрольного отсчета. В данном примере значение k оказалось равным нулю.

На этом заканчивается первый полуприем.

Далее переводят трубу через зенит и в описанном выше порядке выполняют то же число повторений относительно угла, дополняющего угол β до 360° . При этом левый предмет будет теперь правым, а правый — левым. Конечный отсчет первого полуприема может быть начальным во втором полуприеме.

Если расхождение между значениями измеряемого угла в первом и втором полуприемах не превышает 0,75 точности отсчетного приспособления, то вычисляют среднюю величину.

Измерение угла может быть выполнено несколькими полными приемами с перестановкой лимба на угол γ° , определяемый из выражения

$$\gamma^\circ = \frac{360^\circ}{2k},$$

где k — число приемов.

Измерение углов способом совмещения нулей лимба и алидады («от нуля»)

Совмещают нуль отсчетного приспособления с нулем лимба, закрепляют алидаду и поворотом лимба наводят трубу на левую точку.

Закрепляют лимб, открепляют алидаду и наводят трубу на правую точку. Отсчет при наблюдении на правую точку даст значение измеряемого угла, если деления на лимбе подписаны по ходу движения часовой стрелки.

Описанный способ находит применение при контроле измерения углов, а также при съемке контуров методом полярных координат и других работах.

П р и м е ч а н и е. При совмещении нуля отсчетного приспособления с нулем лимба, а также при наведении центра сетки на точки местности наводящими винтами следует действовать на ввинчивание. Для соблюдения этого условия перед наблюдением надо устанавливать наводящие винты в среднее положение.

§ 20. РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

На точность измерения горизонтальных углов влияют следующие основные погрешности:

- 1) собственно измерения угла $m_{с.у.}$,
- 2) центрирования теодолита $m_{ц.}$,
- 3) наклона визирных знаков или редукции $m_{р.}$,
- 4) инструментальные $m_{и.}$,
- 5) возникающие под влиянием внешних условий $m_{в.}$.

Перечисленные погрешности независимы между собой, могут иметь разные знаки, а потому среднюю квадратическую погрешность m_{β} измерения угла можно определить по формуле

$$m_{\beta} = m_{с.у.}^2 + m_{ц.}^2 + m_{р.}^2 + m_{и.}^2 + m_{в.}^2.$$

Применяя принцип равного влияния

$$m_{с.у.} = m_{ц.} = m_{р.} = m_{и.} = m_{в.} = m,$$

получим

$$m_{\beta} = m \sqrt{5}.$$

Полагая, что средняя квадратическая погрешность m_{β} измерения угла задана инструкцией, значение m определяют из соотношения

$$m \leq \frac{m_{\beta}}{\sqrt{5}}. \quad (IV.9)$$

Применим выражение (IV.9) для расчета значений основных источников погрешностей измерения угла.

1. Погрешности собственно измерения угла способом круговых приемов m_{β_k} и способом повторений m_{β_n} подсчитывают соответственно по формулам

$$m_{\beta_k} = \sqrt{\frac{1}{n} \left(m_v^2 + \frac{m_o^2}{2} \right)}, \quad (\text{IV.10})$$

$$m_{\beta_n} = \sqrt{\frac{1}{p} \left(m_v^2 + \frac{m_o^2}{2p} \right)} \quad (\text{IV.11})$$

где m_v — погрешность визирования; m_o — погрешность отсчета; n — число приемов; p — число повторений.

Выполнение условия (IV.9) приводит к выражениям.

а) для способа круговых приемов

$$\sqrt{\frac{1}{n} \left(m_v^2 + \frac{m_o^2}{2} \right)} \leq \frac{m_{\beta}}{\sqrt{5}}$$

или

$$n = \frac{5 \left(m_v^2 + \frac{m_o^2}{2} \right)}{m_{\beta}^2}; \quad (\text{IV.12})$$

б) для способа повторений

$$\sqrt{\frac{1}{p} \left(m_v^2 + \frac{m_o^2}{2p} \right)} \leq \frac{m_{\beta}}{\sqrt{5}}$$

или

$$p = \frac{m_o^2 + \sqrt{m_v^4 + 0,4m_{\beta}^2m_o^2}}{0,4m_{\beta}^2}. \quad (\text{IV.13})$$

Пусть величина заданной средней квадратической погрешности измерения равна $m_{\beta} = 30''$

Погрешность отсчета равна половине точности отсчетного устройства. Для теодолита минутной точности эта погрешность составит $30''$

Погрешность визирования определяется из выражения $m_v = \frac{60''}{v}$, где v — увеличение трубы. При $v = 20 \times m_o$ будет равна $\pm 3''$. Тогда согласно формулам (IV.12) и (IV.13) для достижения заданной точности измерения угла необходимо, чтобы $n = 3$ и $p = 2$.

П р и м е ч а н и е. Из сравнения формул (IV.10) и (IV.11) видно, что при измерении углов способом повторений погрешность отсчета уменьшается: $\frac{m_o}{2p} < \frac{m_o}{2}$. Вследствие этого способ повторений следует применять при работе с теодолитами, имеющими малую точность отсчета — одноминутниками или тридцатисекундниками.

2. Погрешность центрирования теодолита при значении измеряемого угла, близкого к 180° , определяется (см. § 43 учебника) по формуле

$$m_{\text{ц}} = \rho'' \frac{e^2}{d}, \quad (\text{IV.14})$$

где e — линейный элемент центрирования; d — длина сторон измеряемого угла и

$$\rho'' = \frac{1}{206\,265''}.$$

Имея в виду (IV.9), получим

$$m_{\text{ц}} = \rho'' \frac{e^2}{d} \leq \frac{m_{\beta}^2}{\sqrt{5}},$$

или

$$e \leq \frac{dm_{\beta}}{\rho'' 2\sqrt{5}}.$$

Если $d = 100$ м и $m_{\beta}' = 15''$, то $e \leq 2,0$ мм. В этом случае для центрирования теодолита необходимо применять оптический центр.

3. Погрешность редукции определяется из выражения

$$m_{\rho} = \rho'' \frac{e_1}{d}, \quad (\text{IV.15})$$

где e_1 — линейный элемент редукции; остальные обозначения те же, что в формуле (IV.14).

Полагая, как и ранее, что

$$m_{\rho} = \rho'' \frac{e_1 \sqrt{2}}{d} \leq \frac{m_{\beta}}{\sqrt{5}},$$

при $m_{\beta} = 15''$ и $d = 100$ м получим $e_1 \leq 3,6$ мм.

При такой величине погрешности редукции визировать следует на основание тонкой вежи, устанавливаемой по отвесу, или на основание шпильки.

4. К инструментальным погрешностям относятся погрешности делений лимба, коллимационная ошибка, погрешность наклона горизонтальной оси, основной оси теодолита, оси лимба и эксцентриситет алидады.

При современных способах изготовления теодолитов перечисленные погрешности составляют весьма малые значения. Кроме того, применение определенной методики наблюдений позволяет ослабить или исключить инструментальные погрешности из результатов измерений. Например, влияние эксцентриситета али

дады исключается отсчитыванием по двум верньерам, коллимационная ошибка исключается измерением углов двумя полуприемами — при КП и КЛ и т. д.

При значительных углах наклона визирной оси измерение угла полным приемом не исключает влияние наклона основной оси теодолита. В связи с этим необходимо тщательно приводить ее в отвесное положение при помощи уровня на алидаде горизонтального круга.

Учитывая, что в практике нередко влияние наклона оси теодолита может быть значительным, дадим дополнительное пояснение.

В отлично выверенном согласно правилам § 17 теодолите наклон основной оси теодолита вызывает наклон всех частей прибора, в том числе и горизонтальной оси вращения трубы. Этот наклон имеет один знак при обоих положениях трубы, а потому в среднем из измерений при КП и КЛ его влияние не исключается. Согласно § 17 учебника погрешность в угле между точками А и С, вызванная наклоном горизонтальной оси q , будет равна $m_{CA} = q_A \operatorname{tg} v_A - q_C \operatorname{tg} v_C$, где v — углы наклона на точки А и С соответственно, которые в условиях инженерно-геодезических работ могут быть большими и значительно различаться между собой. Поэтому при таких углах наклона на визирные цели рекомендуется особо тщательно осуществлять установку теодолита и предпочитать прибор с накладным уровнем при горизонтальной оси трубы.

5. Для уменьшения влияния внешних условий рекомендуется производить наблюдения в часы спокойных изображений.

Основным фактором внешних условий, влияющих на точность измерения углов, является боковая рефракция. Чтобы уменьшить влияние боковой рефракции на результаты наблюдений, необходимо следить за тем, чтобы визирные лучи проходили по возможности дальше от предметов местности, расположенных справа и слева от прибора.

§ 21. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Вертикальные углы — углы, измеряемые в отвесной плоскости. К их числу относятся углы наклона и зенитные расстояния.

Угол наклона составлен двумя направлениями. Одно направление дает линия визирования, другое соответствует горизонтальному положению визирной оси. Зенитное расстояние образовано линией визирования и отвесной линией (направлением на точку зенита). Зенитное расстояние является дополнением угла наклона до 90° : $z = 90^\circ - v$; здесь z — зенитное расстояние и v — угол наклона. Зенитное расстояние определяется при астрономических наблюдениях.

Для измерения вертикальных углов служит вертикальный круг теодолита, который скреплен с осью вращения трубы и вращается вместе с ней.

Разность отсчетов по вертикальному кругу, соответствующих двум указанным направлениям, дает значение вертикальных углов.

Устройство вертикального круга с системой подписей делений от 0 до 360° по ходу движения часовой стрелки показано на рис. 47.

Отсчеты по вертикальному кругу производят при помощи отсчетных приспособлений алидады 2, начальные индексы которых во время работы должны сохранять неизменное положение. Для этой цели при алидаде вертикального круга теодолитов Т5, Т2, Т15 и их модификациях, а также теодолитов с металлическими

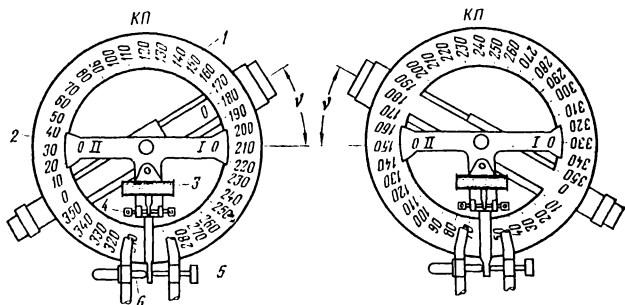


Рис. 47. Вертикальный круг теодолита

1 — вертикальный круг; 2 — алидада вертикального круга; 3 — уровень при алидаде; 4 — исправительный винт уровня; 5 — установочный винт алидады; 6 — пружинящая часть

кругами имеется цилиндрический уровень 3, пузырек которого перед отсчетом по вертикальному кругу приводят в нуль-пункт установочным винтом 5.

У теодолитов Т5К и Т15К для этой цели используется компенсатор.

Теодолит Т30 не имеет уровня при алидаде вертикального круга, поэтому перед отсчетом по нему, действуя подъемными винтами, приводят пузырек уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункт. В этой связи уровень скреплен с алидадой так, что его ось установлена параллельно коллимационной плоскости зрительной трубы.

При измерениях вертикальных углов принято считать исходным (основным) положением вертикального круга такое, при котором отсчеты по нему увеличиваются с поднятием визирной оси над горизонтом (образуются положительные углы наклона).

В соответствии с изложенным углы наклона определяются по формулам:

а) при работе с теодолитом ТЗ0

$$\left. \begin{aligned} v &= \text{КЛ} - \text{МО} \\ v &= \text{МО} - \text{КП} - 180^\circ \\ v &= \frac{\text{КЛ} - \text{КП} - 180^\circ}{2} \\ \text{МО} &= \frac{\text{КП} + \text{КЛ} + 180^\circ}{2} \end{aligned} \right\}; \quad (\text{IV.16})$$

б) при работе с теодолитами Т15К, 2Т5, 2Т5К

$$\left. \begin{aligned} v &= \text{КЛ} - \text{МО} \\ v &= \text{МО} - \text{КП} \\ v &= \frac{\text{КЛ} - \text{КП}}{2} \\ \text{МО} &= \frac{\text{КЛ} + \text{КП}}{2} \end{aligned} \right\}; \quad (\text{IV.17})$$

в) при работе с теодолитами ТТ5, ТТП, ТН

$$\left. \begin{aligned} v &= \text{КП} - \text{МО} \\ v &= \text{МО} - \text{КЛ} \\ v &= \frac{\text{КП} - \text{КЛ}}{2} \\ \text{МО} &= \frac{\text{КП} + \text{КЛ}}{2} \end{aligned} \right\}, \quad (\text{IV.18})$$

где КП — отсчет по вертикальному кругу при круге право; КЛ — отсчет по вертикальному кругу при круге лево; МО — место нуля.

Место нуля есть отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси и положению пузырька уровня при алидаде вертикального круга (у теодолита ТЗ0 — при алидаде горизонтального круга) в нуль-пункте.

Если уровень при алидаде вертикального круга заменен компенсатором (теодолиты Т15К, 2Т5К), то под местом нуля понимают отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси, которое обеспечивается компенсатором в пределах заданного угла компенсации.

При вычислении углов наклона и места нуля по формулам (IV.16) и (IV.18) надо к отсчету, меньшему 90° , прибавить 360° .

П р и м е ч а н и е. Поскольку заводами выпущены теодолиты различных модификаций, следует до применения формул (IV.16), (IV.17) и (IV.18) предварительно ознакомиться с устройством отсчетной системы вертикального круга — выяснить направление счета делений вертикального круга, определить его исходное положение.

Примеры вычисления места нуля и углов наклона

а. По формулам (IV.16). Дано: КЛ = $3^{\circ} 30'$; КП = $176^{\circ} 36'$.

$$\begin{aligned} \text{МО} &= \frac{\text{КП} + \text{КЛ} + 180^{\circ}}{2} = \frac{176^{\circ} 36' + 180^{\circ} + 3^{\circ} 30' + 360^{\circ}}{2} = \\ &= \frac{356^{\circ} 36' + 363^{\circ} 30'}{2} = \frac{720^{\circ} 06'}{2} = 360^{\circ} 03' = +0^{\circ} 03'. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{\text{КЛ} - \text{КП} - 180^{\circ}}{2} = \frac{3^{\circ} 30' + 360^{\circ} - 176^{\circ} 36' - 180^{\circ}}{2} = \\ &= \frac{363^{\circ} 30' - 356^{\circ} 36'}{2} = \frac{6^{\circ} 54'}{2} = +3^{\circ} 27'. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \nu &= \text{МО} - \text{КП} = 0^{\circ} 03' + 360^{\circ} - 176^{\circ} 36' - 180^{\circ} = \\ &= 360^{\circ} 03' - 356^{\circ} 36' = +3^{\circ} 27'. \end{aligned}$$

$$\nu = \text{КЛ} - \text{МО} = 3^{\circ} 30' - 0^{\circ} 03' = +3^{\circ} 27'.$$

б. По формулам (IV.18).

Дано: КП = $5^{\circ} 12' 00''$, КЛ = $354^{\circ} 50' 00''$. Найти МО и ν .

$$\begin{aligned} \text{МО} &= \frac{\text{КП} + \text{КЛ}}{2} = \frac{5^{\circ} 12' 00'' + 360^{\circ} + 354^{\circ} 50' 00''}{2} = \\ &= \frac{720^{\circ} 02' 00''}{2} = 360^{\circ} 01' 00'' = 0^{\circ} 01' 00''. \end{aligned}$$

$$\nu = \text{КП} - \text{МО} = 5^{\circ} 12' 00'' - 0^{\circ} 01' 00'' = +5^{\circ} 11' 00''.$$

$$\nu = \text{МО} - \text{КЛ} = 0^{\circ} 01' 00'' - 354^{\circ} 50' 00'' =$$

$$= 0^{\circ} 01' 00'' + 360^{\circ} - 354^{\circ} 50' 00'' = +5^{\circ} 11' 00''.$$

Проверка вертикального круга

Согласно определению, место нуля есть отсчет по вертикальному кругу, соответствующий горизонтальному положению визирной оси зрительной трубы.

Если бы этот отсчет равнялся нулю, то вычисление углов наклона облегчилось бы. Фактически в силу ряда причин этот отсчет не равен нулю.

Значение места нуля может иметь любое значение, но важно соблюдение основного условия: при работе с вертикальным кругом место нуля должно быть постоянным. Кроме того, для удобства вычислений желательно, чтобы место нуля было не более двойной точности отсчетного приспособления.

Чтобы убедиться в постоянстве места нуля, необходимо перед работой определить место нуля из наблюдений нескольких точек местности. В дальнейшем во время работы следует периодически определять его значение. Постоянство места нуля является гарантией правильности измерения вертикальных углов.

Способы приведения места нуля к значению, близкому к нулю, для различных типов теодолитов различны.

Теодолит Т30. Вычисляют место нуля из наблюдений одной и той же точки местности при двух положениях вертикального круга КЛ и КП. Перед отсчетами, действуя подъемными винтами подставки теодолита, приводят пузырек уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункт. По полученным отсчетам вычисляют место нуля. Пусть $КЛ = 1^\circ 40'$ и $КП = 178^\circ 36'$, тогда

$$\begin{aligned} MO &= \frac{КЛ + КП + 180^\circ}{2} = \frac{178^\circ 36' + 180^\circ + 1^\circ 40' + 360^\circ}{2} = \\ &= \frac{720^\circ 16'}{2} = 360^\circ 08' = +0^\circ 08'. \end{aligned}$$

Место нуля оказалось более двойной точности штрихового микроскопа, а потому выполняют юстировку в следующем порядке.

По полученным отсчетам КЛ и КП вычисляют угол наклона

$$\begin{aligned} \nu &= \frac{КЛ - КП - 180^\circ}{2} = \frac{1^\circ 40' + 360^\circ - 178^\circ 36' - 180^\circ}{2} = \\ &= \frac{361^\circ 40' - 358^\circ 36'}{2} = \frac{3^\circ 04'}{2} = +1^\circ 32'. \end{aligned}$$

Оставив трубу наведенной на точку местности, ее наводящим винтом устанавливают на вертикальном круге отсчет, равный вычисленному значению угла наклона. В результате центр сетки сместится с наблюдаемой точки. Действуя вертикальными исправительными винтами сетки нитей, находящимися под колпачком 8 (см. рис. 26), совмещают ее центр с изображением точки местности. Для контроля действия повторяют.

После юстировки места нуля следует убедиться в том, что не нарушено условие перпендикулярности визирной оси к оси вращения трубы (см. § 17).

Теодолит 2Т5. Определение места нуля теодолита 2Т5, а также теодолитов 2Т5К и Т15К производится так же, как у теодолита Т30. Юстировка выполняется следующим образом. Совмещают концы пузырька уровня при алидаде вертикального круга и производят отсчет КЛ или КП по нему. Вращением установочного винта уровня при алидаде вертикального круга устанавливают отсчет КЛ—МО или КП—МО. Юстировочными винтами уровня при алидаде вертикального круга совмещают концы его пузырька.

У теодолита 2Т5 установочный винт уровня и юстировочные винты находятся с тыльной стороны правой подставки колонки.

Теодолиты 2Т5К и Т15К. Действуя наводящим винтом трубы, устанавливают значение места нуля на вертикальном круге.

Вращением исправительного винта 4 места нуля теодолита Т15К, находящегося рядом с окулярной частью центрира (см. рис. 29) или винта 24 теодолита 2Т5К (см. рис. 32), устанавливают по вертикальному кругу отсчет, равный 0° .

Для контроля действия повторяют.

Теодолит 2Т2. Определяют место зенита по формуле

$$M_z = \frac{КП + КЛ + 360^\circ}{2}$$

подобно тому, как это делают при определении места нуля.

Совмещают концы пузырька уровня при помощи установочного винта вертикального круга и производят по нему отсчет. Вращением рукоятки 30 (см. рис. 36) меняют отсчет на величину M_z (при круге лево M_z из отсчета вычитают). Вращением установочного винта алидады вертикального круга совмещают изображение штрихов вертикального круга, после чего исправительными винтами уровня при нем приводят пузырек в нуль-пункт.

Для контроля действия повторяют.

Теодолиты ТТ-5, ТТП, ТН. Вычисляют место нуля из наблюдения точки местности, расположенной выше горизонта, при двух положениях вертикального круга. Перед каждым отсчетом вращением установочного винта алидады вертикального круга приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

Пусть $КЛ = 5^\circ 17'$ $КП = 355^\circ 13'$, тогда

$$МО = \frac{КП + КЛ}{2} = \frac{355^\circ 13' + 5^\circ 17' + 360^\circ}{2} = 360^\circ 15' = 0^\circ 15'$$

Отсчет $0^\circ 15'$ соответствует горизонтальному положению визирной оси.

Действуя наводящим винтом зрительной трубы, при КП устанавливают на вертикальном круге отсчет $0^\circ 15'$, приводя тем самым визирную ось в горизонтальное положение.

Вращением установочного винта алидады вертикального круга совмещают нуль верньера с нулем вертикального круга. В результате пузырек уровня при алидаде вертикального круга сойдет с нуль-пункта.

Действуя исправительными винтами 4 (см. рис. 47) этого уровня, приводят его пузырек в нуль-пункт.

Для контроля действия повторяют.

При измерении вертикальных углов записи производят в полевых журналах, одна из форм которого приведена в табл. 20.

Т а б л и ц а 20

Теодолит Т30

Наимен		Отсчеты по вертикальному кругу		Место нуля, МО	Угол наклона, γ
		КЛ	КП		
	точек наблюдения		°		
К	1	3 46	176 18	0 02	+3 44
	2	4 33	175 31	0 02	+4 31

Примерное содержание лабораторных занятий с теодолитами

1. Изучение устройства теодолита и взаимодействия его частей.
2. Определение точности отсчетных приспособлений.
3. Производство отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам теодолита.
4. Изучение порядка действий при установке трубы для наблюдений.
5. Производство поверок теодолитов.
6. Измерение горизонтального угла.
7. Определение места нуля.
8. Приведение места нуля к значению, близкому нулю.
9. Измерение вертикального угла.

Дополнительные вопросы

1. Определение рена шкаловых микроскопов.
2. Исследование оптических свойств зрительной трубы: кости изображения, увеличения, поля зрения трубы.
3. Исследование эксцентриситета алидады.
4. Исследование компенсатора вертикального круга оптических теодолитов.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите типы технических и точных теодолитов.
2. Что измеряют теодолитом?
3. Дайте определение основной оси теодолита, визирной оси, оси цилиндрического уровня.
4. Что такое нуль-пункт цилиндрического уровня?
5. Что называется ценою деления цилиндрического уровня?
6. Назовите основные части теодолитов ТЗ0, Т5, ТТ-5.
7. Изложите порядок действий при установке трубы для наблюдений.
8. Как установить теодолит в рабочее положение?
9. Какой порядок отсчета по штриховому и шкаловому микроскопам?
10. Как определить точность верньера?
11. Какой порядок отсчета при помощи верньера по лимбу теодолита?
12. Сформулируйте требования, предъявляемые к взаимному положению осей теодолита: основной, визирной, цилиндрического уровня.
13. Изложите порядок поверок и юстировок теодолитов ТЗ0, Т5, Т5К, Т15К.
14. Изложите порядок поверок теодолитов ТТ-5, ТТП, ТН.
15. Как устранить влияние эксцентриситета на отсчет у теодолитов с односторонней системой отсчета и с металлическими кругами?

16. Какой порядок центрирования теодолита нитяным ответом и оптическим центриром?

17. Изложите порядок измерения горизонтальных углов: способом приемов, повторений, круговых приемов; каковы области применения этих способов?

18. Как устроен вертикальный круг теодолитов Т30, Т5, Т5К, ТТ-5, ТТП?

19. Что называется местом нуля вертикального круга? Дайте определение места нуля для теодолитов Т5К, Т15К и ТТ-5.

20. По каким формулам определяется место нуля и углы наклона у теодолитов Т5, Т15 и ТТ-5, ТТП?

21. Основное требование, предъявляемое вертикальному кругу теодолита.

22. Какой порядок исправления места нуля у теодолитов Т30, Т5К, ТТ-5?

23. Как установить визирную ось теодолита Т5 в горизонтальное положение (то же у теодолита Т5К)?

П р и м е ч а н и е. При повторении материала необходимо пользоваться теодолитами соответствующих конструкций.

Г л а в а V

ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ *

Измерения линий на местности могут выполняться непосредственно, путем откладывания мерного прибора в створе измеряемой линии, и косвенно, с помощью дальномеров.

Ниже описаны инструменты и методы линейных измерений, дающих точность $1 : 300 \div 1 : 2000$.

§ 22. ПРИБОРЫ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНИЙ

Для непосредственного измерения линий применяются стальные штриховые, шкаловые и концевые ленты.

Ш т р и х о в ы е л е н т ы (рис. 48, а) имеют на концах прорези. Против центров закругления прорезей нанесены штрихи. Расстояние между штрихами соответствует номинальной длине ленты, например 20 м.

Метровые деления ленты оцифрованы. Оцифровка выполнена с двух сторон ленты — от 0 до 20 м с одной стороны и от 20 м до 0 — с другой. Наименьшее деление ленты равно 1 дм. Дециметровые деления отмечены сквозными круглыми отверстиями. Отсчет по ленте выполняется на глаз с точностью 1 см.

Ш к а л о в ы е л е н т ы (рис. 48, б) на концах имеют шкалы с миллиметровыми делениями. Эти деления нанесены в пределах одного дециметра.

* См. гл. VII учебника.

Концевые ленты (рис. 48, в) удобны для измерения расстояний между стенами зданий при производстве съемок на застроенной территории, так как начальный и конечный штрихи ленты совмещены с внешними сторонами ее ручек.

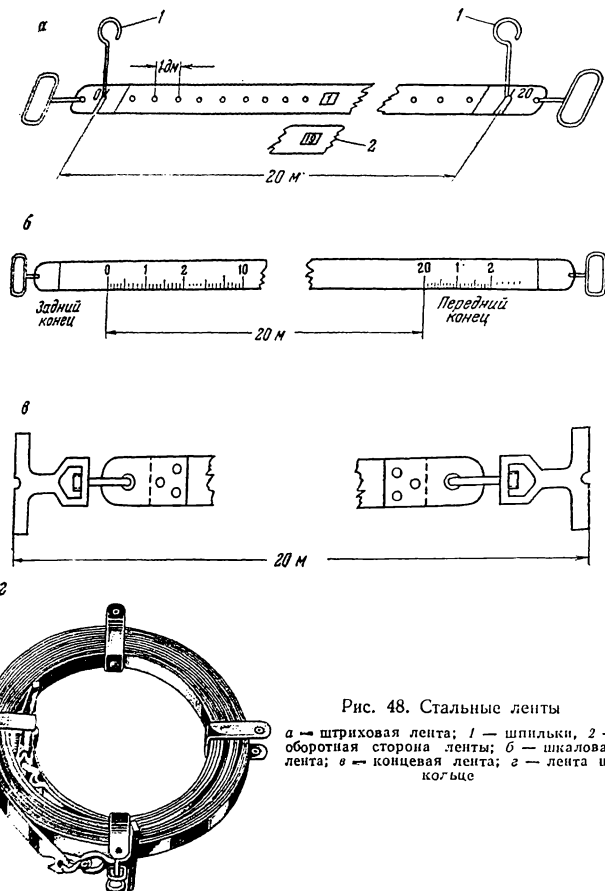


Рис. 48. Стальные ленты

а — штриховая лента; 1 — шпильки, 2 — оборотная сторона ленты; б — шкаловая лента; в — концевая лента; г — лента из кольца

Для фиксации концов ленты в процессе укладывания ее в створе измеряемой линии служат шпильки 1 (см. рис. 48, а). Комплект шпилек состоит из 6 или 11 штук. Для переноски шпильки надевают на проволоочное кольцо.

Для хранения и транспортировки ленту наматывают на металлический кольцевой станок (рис. 48, а).

Государственным стандартом ГОСТ 10815—64 предусмотрено изготовление трех типов штриховых лент: ЛЗ-20, ЛЗ-24, ЛЗ-50 — ленты землемерные длиной соответственно 20, 24 и 50 м с ценой деления 1 дм.

24-метровые ленты используются главным образом при производстве контрольных измерений. Ленты разделены на 20 равных интервалов, а каждый интервал — на 10 равных частей. Результаты измерения 24-метровыми лентами надо умножать на коэффициент 1,2.

Этим же ГОСТом предусмотрено производство трех типов землемерных шкаловых лент: ЛЗШ-20, ЛЗШ-24 и ЛЗШ-50 соответственно 20, 24 и 50-метровой длины.

Рулетки стальные и тесьмяные различной длины применяются для измерения коротких расстояний при съемке контуров местности и обмере зданий.

Государственным стандартом ГОСТ 7502—69 для выполнения геодезических, маркшейдерских и строительных работ предусмотрено изготовление металлических рулеток на крестовине (РК) длиной 50, 75 и 100 м с ценой деления 1 или 10 мм, с оцифровкой через 1 дм, а также рулеток на вилке (РВ) длиной 20, 30 и 50 м.

Рулетки типа РК и РВ могут быть снабжены динамометрами, обеспечивающими натяжение 10 кг на плоскости. Предусмотрено также изготовление металлических рулеток в закрытом корпусе РЗ-2, РЗ-5, РЗ-10, РЗ-20, РЗ-30 и РЗ-50 длиной соответственно 2, 5, 10, 20, 30 и 50 м.

§ 23. КОМПАРИРОВАНИЕ ЛЕНТ И РУЛЕТОК

Перед работой ленты и рулетки компарируют, т. е. их длину сравнивают с точно известной длиной нормальной меры (ленты, рулетки). Так, длина нормальной ленты выражается ее уравнением, в общей форме имеющим вид

$$l = l_0 + \Delta l_k + \alpha (t - t_0), \quad (V.1)$$

где l_0 — номинальная длина ленты при температуре $t_0 = +20^\circ \text{C}$ (например, 20 м); Δl_k — поправка за компарирование в длину ленты; t — температура измерения линии; α — коэффициент линейного расширения ленты при изменении температуры на 1°C (для стали, например, $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6}$).

В уравнении ленты (V.1) приведена абсолютная величина α в миллиметрах на всю длину ленты. Так, для стальной 20-метровой ленты

$$\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6} \cdot 20\,000 \text{ м} = 0,25 \text{ мм.}$$

Для каждой ленты в паспорте указывается ее уравнение с численными значениями Δl_k , l_0 , α , а также натяжения, при котором

определена длина l . Например, для нормальной 20-метровой ленты № 31 из компарирования при натяжении 10 кг на плоскости получено

$$l_{31} = 20 \text{ м} + 2,5 \text{ мм} + 0,25 (t - 20^\circ).$$

Компарирование стальных штриховых лент может быть выполнено на полу здания (или на ровной местности), на базисе, длина которого предварительно измеряется приборами, более точными, чем приборы, предназначенные для работы (рабочие меры). На концах базиса на расстоянии, равном длине компарируемой ленты, укрепляют металлические шкалы с миллиметровыми делениями от 0 до 150 мм (рис. 49).



Рис. 49. Шкалы компаратора штриховых лент

Процесс компарирования состоит из трех этапов.

1. Измерение длины базиса компаратора нормальными лентами (одной или двумя).

2. Измерение длины базиса рабочей лентой.

3. Повторное измерение длины базиса нормальными лентами.

На первом этапе работ каждую нормальную ленту поочередно укладывают вдоль базиса. С помощью динамометра ленте придают натяжение 10 кг, и наблюдатели берут одновременно шесть пар отсчетов по шкалам против переднего (П) и заднего (З) штрихов ленты. После каждой пары отсчетов ленту сдвигают на 2—3 см.

Колебания разностей отсчетов не должны превышать 3 мм. Температуру ленты измеряют подложенным под нее термометром с точностью до 1° .

В таком же порядке и с теми же допусками базис измеряют рабочей лентой. Длину B базиса по данным измерения одной нормальной лентой вычисляют по формуле

$$B = l_0 + \Delta l_k + \alpha (t - t_0) - (П - З)_{\text{ср}},$$

где $(П - З)_{\text{ср}}$ — среднее значение разностей из шести пар отсчетов; t — температура нормальной ленты.

Если колебания между измеренными значениями базиса не превышают 3 мм, из всех результатов вычисляют среднее арифметическое B_0 .

Длину рабочей ленты вычисляют по формуле

$$l = B_0 - \alpha (t - t_0) + (П - З)_{\text{ср}},$$

где $(П-З)_{ср}$ — среднее значение разностей из шести пар отсчетов при измерении базиса рабочей лентой; t — температура рабочей ленты; t_0 — температура, к которой приводится длина рабочей ленты (ближайшее к t кратное 10° значение температуры).

В табл. 21—24 даны образцы журналов измерений и вычислений при компарировании 20-метровой рабочей ленты № 12.

Т а б л и ц а 21

Определение длины базиса компаратора нормальными лентами

Дата: 4/IV 1977 г.

Наблюдатели П *

Начало измерений: 11 ч 20 мин

З

Конец измерен 12 ч 15 мин

Записывающий

№ измерения	Температура, t	Отсчеты по шкалам		П — З, мм	При
		П	З		
2	+18° С	Лента № 31			Натяжение лент 10 кг
		15	10	+5	
		31	25	+6	
		32	28	+4	
		21	18	+3	
		40	35	+5	
		41	35	+6	
		Среднее		+4,8	
		Лента № 24			
		14	7	+7	
3	+16° С	15	7	+8	
		20	15	+5	
		25	19	+6	
		21	15	+6	
		40	34	+6	
		Среднее		+6,3	
		Лента № 24			
		60	55	+5	
		62	56	+6	
		10	5	+5	
4	+15° С	20	14	+6	
		17	10	+7	
		41	33	+7	
		Среднее		+6,2	
		Лента № 31			
		40	35	+5	
		42	37	+5	
		15	10	+5	
		20	14	+6	
		27	24	+3	
		30	25	+5	
		Среднее		+4,8	

* Здесь П и З — соответственно отсчет, сделанный передним и задним наблюдателями.

Т а б л и ц а 22

Измерение длины базиса компаратора 20-метровой
рабочей лентой № 12

Дата 4-IV 1977 г.

Наблюдателя П.
З.

Врем 11 ч 35 мин

Записывающий...

Температура	Отсчеты по шкалам			
	П	З		
+16° С	34	22	+12	Натяж шне ленты 10 кг
	43	32	+11	
	51	38	+13	
	60	48	+12	
	29	15	+14	
	30	19	+11	
	Среднее		+12,2	

Здесь П и З — соответственно отсчет, сделанный передним и задним н
лами:

Т а б л и ц а 23

Вычисление длины базиса компаратора

Уравнения нормальных лент:

$$l_{21} = 20 \text{ м} + 2,5 \text{ мм} + 0,25 (t - t_0)$$

$$l_{41} = 20 \text{ м} + 4,0 \text{ мм} + 0,25 (t - t_0)$$

№ лент	Температура t	$l + \Delta l_K$	$\alpha (t - t_0)$ мм	$(П - З)_{\text{ср}}$ мм	
31	+18°	20 м + 2,5 мм	-0,5	-4,8	20 м - 2,8 мм
24	+16°	20 м + 4,0 мм	-1,0	-6,3	20 м - 3,3 мм
24	+15°	20 м + 4,0 мм	-1,2	-6,2	20 м - 3,4 мм
31	+15°	20 м + 2,5 мм	-1,2	-4,8	20 м - 3,5 мм
Среднее				B_c	20 м - 3,2 мм

Т а б л и ц а 24

Вычисление длины рабочей ленты № 12

№ лент	Температура t	$l + \Delta l_K$	$\alpha (t - t_0)$ мм	$(П - З)_{\text{ср}}$ мм	Длина ленты при $t_0 = +20^\circ \text{С}$
	+16° С	20 м - 3,2 мм	+0,5	+12,2	20 м + 9,5 мм

Уравнение ленты $l_{12} = 20 \text{ м} + 9,5 \text{ мм} + 0,25 (t - 20^\circ)$ при натяг 10 кг.

Компарирование лент в условиях, близких к полевым, производят на компараторах, базис которых не менее 120 м. Такой базис выбирают на ровной местности, лишенной растительности. Концы базиса закрепляют металлическими штырями, на торцах делают пасечки.

Работа по компарированию выполняется в описанном выше порядке.

Так как между концами базиса лента укладывается многократно, поправка за компарирование Δl_k определяется из выражения

$$\Delta l_k = \frac{D_n - D_p}{n},$$

где D_n — длина компаратора, полученная из многократных измерений нормальной лентой; D_p — длина компаратора, полученная из многократных измерений рабочей лентой; $n = \frac{D_p}{l_0}$, здесь l_0 — номинальная длина рабочей ленты.

Простейший способ компарирования лент (рулеток) состоит в непосредственном сравнении нормальной и рабочей меры. Для этого ленты укладывают на плоскости, совмещают начальные штрихи, натягивают с одинаковой силой и при помощи миллиметровой линейки измеряют расстояние между конечными штрихами. Величина расхождения между конечными штрихами является поправкой за компарирование. Сравнение выполняют многократно и из результатов выводят среднее значение.

Стальные рулетки могут компарироваться аналогично процессу компарирования стальных лент. Однако при решении геодезических задач в строительстве приходится откладывать линии, длина которых менее длины рулетки. В этом случае необходимо проверить не только длину рулетки, но и длину каждого ее метра.

Компарирование каждого метра рулетки выполняется специальной контрольной (женевской) линейкой с ценой деления 0,2 мм. Результат компарирования получают из выражения

$$l_{1м} = l_d + (\Pi - 3),$$

где l_d — уравнение контрольной линейки; Π и 3 — передний и задний отсчеты по шкалам линейки.

В табл. 25 приведен пример компарирования стальной 5-метровой рулетки.

Оригинальная конструкция компаратора для стальных рулеток применительно к условиям строительных площадок предложена Ф. Ф. Павловым, А. К. Зайцевым и В. С. Сытником*.

* См. журнал «Геодезия и картография», 1969, № 2.

Определение поправок метровых штрихов стальной рулетки № 10

Дата: 12/VI 1977 г.

Наблюдатели П *

З

Записывающий.

Температура $t = +21^{\circ}\text{C}$

Контрольная линейка № 6484

 $l_n = 1 \text{ м} + 0,1 \text{ мм} + 0,015 (l_0 - 16^{\circ})$

№ метр рулетки	$l_0 + \Delta l_k$	Отсчеты по линей- ке, мм		П-З, мм	$(\frac{P}{2} - \frac{Z}{2}) \cdot 2$	Длин	Поправка в длину интервала	
		П	К				интервал	поправка, мм
1	1 м + 0,1 мм	0,8	0,2	+0,6	+0,06	1 м + 0,76 мм	0—1	+0,8
2	1 м + 0,1 мм	0,3	0,3	0,0	+0,06	1 м + 0,16 мм	0—2	+0,9
3	1 м + 0,1 мм	0,0	0,2	-0,2	+0,06	0,999 м + 0,96 мм	0—3	+0,9
4	1 м + 0,1 мм	0,3	0,2	+0,1	+0,06	1 м + 1,26 мм	0—4	+1,1
5	1 м + 0,1 мм	1,3	0,4	+0,9	+0,06	1 м + 1,6 мм	0—5	+2,2

Напряжение 10 кВ

* Здесь П и К — соответственн

и задним наблюдателями.

§ 24. ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ ШТРИХОВЫМИ ЛЕНТАМИ

Измерение линий выполняется двумя мерщиками. Ленту аккуратно разматывают с кольца. Оцифровка ленты должна возрастать по ходу измерений. Задний мерщик совмещает с началом линии нулевой штрих ленты и закрепляет шпилькой ее конец. Передний мерщик, имея в руке 10 шпилек, натягивает ленту по указанию заднего мерщика в створе линии и фиксирует первой шпилькой передний конец ленты. Затем он вынимает заднюю шпильку из земли и оба мерщика переносят ленту вперед вдоль линии. Дойдя до первой шпильки, задний мерщик закрепляет на ней ленту прорезью в ее заднем конце, и работа продолжается в том же порядке, что и в первом пролете. Когда все 11 шпилек будут выставлены, задний мерщик передает переднему собранные 10 шпилек; число таких передач (т. е. отрезков по 200 м) записывают в журнале измерений. В конце измеряемой линии приходится, как правило, определять длину неполного пролета (остатка), отсчитывая по ленте метры и дециметры и оценивая сантиметры на глаз.

Измеренная длина линии D' вычисляется по формуле

$$D' = 200 \cdot N + 20 \cdot n + r, \quad (V.2)$$

где N — число передач шпилек; n — число шпилек у заднего мерщика (последняя шпилька у заднего конца не учитывается); r — остаток.

Для контроля линию измеряют вторично 24-метровой или той же 20-метровой лентой в обратном направлении. За окончательный результат принимают среднее арифметическое из двух измерений, если их расхождение не превышает:

1 2000 части от длины линии — при благоприятных условиях измерений;

1 1500 — при средних условиях измерений;

1 700—1 800 — при неблагоприятных условиях измерений.

В результаты измерений линий штриховой лентой вводятся следующие поправки.

1. Поправка ΔD_k за компарирование

$$\Delta D_k = \frac{D'}{l_0} \Delta l_k. \quad (V.3)$$

Знак этой поправки такой же, как у Δl_k в формуле (V.1), т. е. если рабочая лента короче номинала, поправка ΔD_k отрицательна, если длиннее — положительна.

2. Поправка ΔD_v за приведение к горизонту, вычисляемая по формуле

$$\Delta D_v = -2D' \sin^2 \frac{v}{2}, \quad (V.4)$$

где v — измеренный угол наклона линии.

3. Поправка ΔD_t за температуру. Для коэффициента α в уравнении ленты (V.1) формула поправки за температуру имеет вид

$$\Delta D_t = \frac{D'}{l_0} \alpha (t - t_0), \quad (V.5)$$

где t — температура измерений; t_0 — температура компарирования.

Для вычисления поправок ΔD_v и ΔD_t можно пользоваться специальными таблицами.

Вычисление длины линии, измеренной 20-метровой штриховой лентой, проиллюстрируем следующим примером.

Пример. Определить длину линии D , измеренной штриховой лентой № 12, уравнение которой $l_{12} = 20 \text{ м} + 9,5 \text{ мм} + 0,25 \times \times (t - t_0)$, если число передач $N = 1$, число шпилек у заднего мерщика $n = 9$. Значения остатка в первом и повторном измерениях равны соответственно $r_1 = 19,74 \text{ м}$, $r_2 = 19,90 \text{ м}$. Угол наклона линии $v = +4^\circ 30'$, температура измерений $t = +31^\circ$.

Решение. По формуле (V.2) находим длину линии из первого и второго измерений:

$D_1 = 200 \text{ м} \cdot 1 + 20 \text{ м} \cdot 8 + 19,74 \text{ м} = 379,74 \text{ м}$; аналогично $D_2 = 379,90 \text{ м}$.

Так как расхождение $D_1 - D_2 = -0,16 \text{ м}$ допустимо

$$\frac{-0,16}{380 \text{ м}} = \frac{1}{2375} < \frac{1}{2000},$$

то

$$D' = \frac{D_1 + D_2}{2} = 379,82 \text{ м}.$$

По формулам (V.3—V.5) находим поправки:

$$\Delta D_k = 380 \text{ м} \frac{+0,0095 \text{ м}}{20 \text{ м}} = +0,18 \text{ м};$$

$$\Delta D_v = -2,380 \text{ м} \cdot 0,0393^2 = -1,17 \text{ м};$$

$$\Delta D_t = 380 \text{ м} \frac{0,25 \text{ мм} \cdot 11}{20 \text{ м}} = +0,05 \text{ м}.$$

Окончательная длина линии равна

$$D = D' + \Delta D_k + \Delta D_v + \Delta D_t = 378,88 \text{ м}.$$

При заданной точности измерения $\frac{1}{2000}$ поправки ΔD_k , ΔD_v и ΔD_t можно не учитывать, если $\Delta l_k \leq 2 \text{ мм}$, $v \leq 1^\circ$ и $(t - t_0) \leq 8^\circ$.

Вычисление длины линии удобнее выполнять по схеме, приведенной в табл. 26.

Ведомость вычисления длины линии, измеренной
штриховой лентой № 12

	Результаты вычислений	Обозначен	Результаты вычислений
v	$+4^{\circ} 30'$	D'	379,82 м
t	$+31^{\circ}$	ΔD_K	$+0,18$ м
N	1	ΔD_v	$-1,17$ м
n	8	ΔD_l	$+0,05$ м
r_1	19,74 м	D	378,88 м
r_2	19,90 м		
r	19,82 м		

§ 25. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕПРИСТУПНЫХ РАССТОЯНИЙ

В практике инженерно-геодезических работ часто оказывается невозможным непосредственное измерение расстояния между двумя точками местности. Так бывает, например, при пересечении полигонометрическими или теодолитными ходами рек и заболоченных участков; при определении расстояний через котлованы и другие препятствия или привязке этих ходов к местным предметам с известными координатами (заводские трубы, мачты, башни и т. д.). В этих случаях искомое расстояние, называемое неприступным, определяется косвенным путем.

Пусть требуется определить длину $AB = a$ конечной стороны теодолитного хода (рис. 50); при этом пункт B (пункт триангуляции) является недоступным для установки на нем теодолита.

От пункта A измеряем два базиса b_1 и b_2 и углы $\beta_1, \beta_2, \beta'_1, \beta'_2$. Из треугольников ABC и ABD с общей стороной a находим

$$a = b_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin (\beta_1 + \beta_2)}; \quad (V.6)$$

$$a = b_2 \frac{\sin \beta'_1}{\sin (\beta'_1 + \beta'_2)}. \quad (V.7)$$

Для оценки точности определения расстояния a прологарифмируем формулу (V.6):

$$\ln a = \ln b_1 + \ln \sin \beta_1 - \ln \sin (\beta_1 + \beta_2).$$

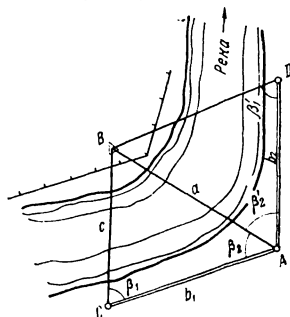


Рис. 50. Определение неприступного расстояния

Дифференцируя последнее выражение по переменным b_1 , β_1 и β_2 , получим

$$\frac{da}{a} = \frac{db_1}{b_1} + \operatorname{ctg} \beta_1 \frac{d\beta_1}{\rho} - \operatorname{ctg} (\beta_1 + \beta_2) \frac{d\beta_1}{\rho} - \operatorname{ctg} (\beta_1 + \beta_2) \frac{d\beta_2}{\rho}.$$

Переходя к средним квадратическим погрешностям, будем иметь

$$\frac{m_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{m_{b_1}}{b_1}\right)^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [\operatorname{ctg}^2 \beta_1 + 2 \operatorname{ctg} \beta_1 \operatorname{ctg} (\beta_1 + \beta_2) + 2 \operatorname{ctg}^2 (\beta_1 + \beta_2)]}. \quad (\text{V.8})$$

Из формулы (V.8) следует, что точность определения неприступного расстояния a зависит от погрешности измерения базиса b_1 и от формы треугольника ABC : чем ближе углы при точках A и B к 90° , тем погрешность $\frac{m_a}{a}$ меньше.

Практически длины базисов b_1 и b_2 выбирают так, чтобы оба треугольника были близки к равнобедренным.

Пример. При определении неприступного расстояния a (см. рис. 50) получены следующие результаты измерений:

$$b_1 = 208,31 \text{ м}, \quad b_2 = 204,45 \text{ м}, \quad \beta_1 = 70^\circ 04' 00'',$$

$$\beta_2 = 51^\circ 17' 15'', \quad \beta'_1 = 70^\circ 08' 22'', \quad \beta'_2 = 52^\circ 50' 30''.$$

Относительная погрешность измерения базисов

$$\frac{m_b}{b} = \frac{1}{2000},$$

средняя квадратическая погрешность измерения угла $m_{\beta} = \pm 30''$. Вычислить расстояние a и оценить его точность.

Результаты вычислений приведены в табл. 27.

Т а б л и ц а 27

Вычисление неприступного расстояния

Элементы формул		
β_1	$70^\circ 04' 00''$	$70^\circ 08' 22''$
β_2	$51^\circ 17' 15''$	$52^\circ 50' 30''$
$\beta_1 + \beta_2$	$121^\circ 21' 15''$	$122^\circ 58' 52''$
b	$208,31 \text{ м}$	$204,45 \text{ м}$
$\sin \beta_1$	$0,94009$	$0,94052$
$b \sin \beta_1$	$195,83 \text{ м}$	$192,29 \text{ м}$
$\sin (\beta_1 + \beta_2)$	$0,85397$	$0,83885$
a	$229,32 \text{ м}$	$229,23 \text{ м}$
$a_{\text{ср}}$	$229,28 \text{ м}$	

По формуле (V.8) найдем среднюю квадратическую относительную погрешность $\frac{m_a}{a}$ определения расстояния a из первого треугольника; подставляя в эту формулу значения погрешностей $\frac{m_b}{b}$, m_β , котангенсов углов β_1 и β_2 и принимая $\rho'' \approx 200\,000''$, получим

$$\frac{m_a}{a} = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 10^3}\right)^2 + \left(\frac{3 \cdot 10}{2 \cdot 10^3}\right)^2 (0,36^2 + 2 \cdot 0,36 \cdot 0,60 + 2 \cdot 0,60^2)},$$

$$\frac{m_a}{a} = \frac{10,6}{20\,000} = \frac{1}{1887}.$$

Для второго треугольника погрешность $\frac{m_a}{a}$ будет такого же порядка; в среднем из двух определений будем иметь

$$\frac{m_{a_{\text{ср}}}}{a_{\text{ср}}} = \frac{1}{1887 \sqrt{2}} = \frac{1}{2661}.$$

Это значит, что при заданной точности измерения базисов $\frac{1}{2000}$ предельное расхождение между расстояниями a , полученными из двух треугольников, не должны превышать $\frac{1}{1000}$ величины a .

Если в точке B линии AB можно установить теодолит, измеряют только один базис b_1 и третий угол β_3 треугольника ABC . Если разность между суммой измеренных углов и 180° (угловая невязка треугольника) не превышает величины $f_\beta = 2m_\beta \sqrt{3}$, ее распределяют с обратным знаком поровну между углами и по исправленным углам β_1 и β_3 вычисляют расстояние a из соотношения

$$a = b_1 \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_3}.$$

Для контроля вычислений дважды определяют расстояние a по формулам

$$c = b_1 \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_3};$$

$$c = a \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1}.$$

Средняя квадратическая погрешность определения расстояния a вычисляется по формуле

$$\frac{m_a}{a} = \sqrt{\left(\frac{m_{b_1}}{b_1}\right)^2 + \frac{2}{3} \frac{m_\beta^2}{\rho^2} (\text{ctg}^2 \beta_1 + \text{ctg} \beta_1 \text{ctg} \beta_3 + \text{ctg}^2 \beta_3)}. \quad (\text{V.9})$$

Т а б л и ц а 28

Вычисление неприступного расстояния a

Обозначения	Измеренные углы	Поправки	Исправленные углы	Обозначения	Результаты вычисления
β_1	46° 14' 22"	-22"	46° 14' 00"	b	418,42 м
β_2	51 11 30	-22	52 11 08	$\sin \beta_1$	0,72216
β_3	81 35 15	-23	81 34 52	$\sin \beta_3$	0,98922
$\Sigma \beta$	180° 01' 07"		180° 00' 00"	a	305,46 м
f_β	$\pm 1' 07"$				
доп. f_β	$\pm 1' \sqrt{3} = \pm 1' 42"$				

Пример. Определить неприступное расстояние a и оценить его точность по следующим результатам измерений:

Т а б л и ц а 29
Контроль
вычислений

Обозначения	Результаты вычисления
$\sin \beta_2$	0,79000
$\sin \beta_3$	0,98922
c	334,16 м
c	334,16 м
$\sin \beta_1$	0,72216
$\sin \beta_2$	0,79000
a	305,46 м

$$\frac{m_b}{b} = \frac{1}{2000}, \quad m_\beta = \pm 30''$$

Вычисления выполнены в табл. 28 и 29.
Из формулы (V.9) имеем:

$$\frac{m_a}{a} = \pm \sqrt{\left(\frac{1}{2 \cdot 10^3}\right)^2 + \frac{2}{3} \left(\frac{3 \cdot 10}{2 \cdot 10^5}\right)^2 (0,95^2 + 0,95 \cdot 0,15 + 0,15^2)},$$

$$\frac{m_a}{a} = \frac{10,3}{20\,000} = \frac{1}{1941}.$$

§ 26. ИЗМЕРЕНИЕ РАССТОЯНИЙ НИТЯНЫМ ДАЛЬНОМЕРОМ

Для измерения расстояний нитяным дальномером (см. § 50 учебника) центрируют над одним концом измеряемой линии теодолит и направляют его трубу на рейку с сантиметровыми делениями, стоящую на противоположном конце измеряемой линии. Действуя наводящим винтом трубы, наводят верхнюю нить сетки на границу двух ближайших дециметровых делений. Подсчитав число делений n между верхней и нижней нитями, находят искомое расстояние d по формуле

$$d = Kn + c, \quad (\text{V.10})$$

где K — коэффициент; c — постоянная дальномера.

Для современных теодолитов обычно принимают $K = 100$, а величиной c при съемках в масштабах мельче 1 : 500 пренебрегают по ее малости (40—60 мм). В соответствии с этим в формуле

(V.10) дальномерный отсчет n при работе с рейками, разделенными на сантиметровые деления, выражает расстояние d в метрах. Например, при $n = 15,5$ см (рис. 51) $d = 15,5$ м.

Однако даже для новых инструментов отклонения действительной величины K от 100 могут доходить до $\pm 0,5\%$ т. е.

$$99,5 \leq K \leq 100,5.$$

Для учета этого обстоятельства перед выполнением геодезических работ производится полевое определение коэффициента дальномера совместно с постоянной c .

Рис. 51. Поле зрения трубы при работе с нитяным дальномером
Отсчет: 15,5 м

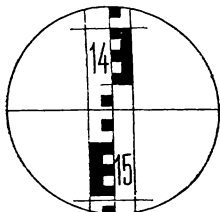
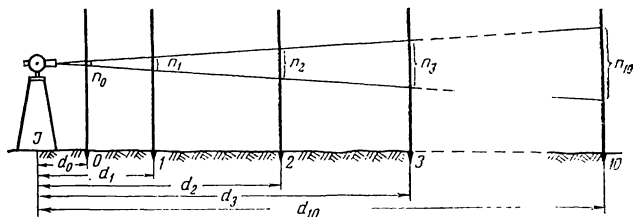


Рис. 52. Определение постоянных нитяного дальномера



На ровном участке местности устанавливают теодолит в точке J (рис. 52) и от его основной оси откладывают расстояния $d_1, d_2, \dots, d_{10}$, кратные длине мерного прибора, например 20, 40, 60, ..., 200 м, а также отрезок d_0 , равный примерно 4—6 м. Закрепив концы отрезков d_i кольями, измеряют указанные расстояния шкаловой лентой и результаты записывают в журнал (табл. 30, графа 2). Последовательно устанавливая на точках 0, 1, 2, ..., 10 рейку в прямом (от J до 10) и обратном направлениях, берут дальномерные отсчеты n_i по ее черной и красной сторонам 1. из четырех результатов берут среднее.

Для точек 0 и 10 находят значения d_i по формуле (V.10):

$$d_0 = Kn_0 + c; \quad (V.11)$$

$$d_{10} = Kn_{10} + c, \quad (V.12)$$

откуда

$$K = \frac{d_{10} - d_0}{n_{10} - n_0}.$$

Журнал определения постоянных дальномера

№ точек	Дальномерные отсчеты					Сред- нее n	$d - c$	K		
	прямо		обратно							
	черная сторона	красная сторона	черная сторона	красная сторона						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	6,298	6,2	6,3	6,3	6,2	6,25				
2	19,991	19,9	19,9	19,8	19,9	19,88	19,967	100,44	+0,04	0,0016
3	40,045	39,9	39,9	39,8	39,9	39,88	40,021	100,35	—0,05	0,0025
4	59,928	59,8	59,8	59,7	59,7	59,75	59,904	100,26	—0,14	0,0196
5	79,992	79,5	79,6	79,6	79,5	79,55	79,968	100,53	+0,13	0,0169
6	99,998	99,5	99,5	99,6	99,5	99,52	99,964	100,45	+0,05	0,0025
7	120,084	119,4	119,5	119,5	119,4	119,45	120,060	100,51	+0,11	0,0121
8	139,948	139,5	139,4	139,5	139,5	139,48	139,924	100,32	—0,08	0,0064
9	160,032	159,6	159,6	159,5	159,5	159,55	160,008	100,29	—0,11	0,0121
10	179,890	178,9	179,0	179,0	179,0	178,98	179,866	100,50	+0,10	0,0100
11	200,081	199,2	199,3	199,3	199,3	199,28	200,057	100,39	—0,01	0,0001

$$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0838}{9}} = \pm 0,096 \text{ м}$$

Среднее $100,40 \pm 0,43$ $[v^2] = -0,39 = 0,0838$
 $[v] = +0,04$

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,096}{10} \text{ м} = \pm 0,031 \text{ м}$$

$$\frac{M}{K} = \frac{0,031 \text{ м}}{100,40 \text{ м}} \approx \frac{1}{3200}$$

Для данного примера

$$K = \frac{200,081 \text{ м} - 6,298 \text{ м}}{1,9928 \text{ м} - 0,0625 \text{ м}} = 100,39.$$

Пользуясь полученным приближенным значением $K = 100,39$, вычисляют c из соотношения (V.11):

$$c = d_0 - K n_0 = 6,298 \text{ м} - 100,39 \cdot 0,0625 \text{ м},$$

$$c = 0,024 \text{ м}.$$

Далее по каждому из расстояний d_1 , коэффициент K , пользуясь формулой

$$K_1 = \frac{d_1 - c}{n_1},$$

например

$$K_1 = \frac{19,991 \text{ м} - 0,024 \text{ м}}{0,1988 \text{ м}} = 100,44.$$

Из всех десяти значений K вычисляют среднее арифметическое, равное в данном примере 100,40. Вычисления заканчиваются оценкой точности коэффициента дальномера.

Результаты вычислений показывают, что постоянное c мало и его можно не учитывать. В то же время коэффициент K отличается от 100, и при работе с нитяным дальномером в измеренные расстояния необходимо вводить поправки, определенные по формуле

$$\Delta d = (K - 100) n.$$

В табл. 31 приведены поправки Δd для $K = 100, 40$ и n от 20 до 200 см.

Т а б л и ц а 31

Таблица поправок в длины линий, измеренных нитяным дальномером

20		90		170	
30	+0,1	110	+0,4	180	+0,7
40		120		200	+0,8
60	+0,2	130	+0,5		
70		140			
80	+0,3	160	+0,6		

§ 27. ДАЛЬНОМЕРНЫЙ КОМПЛЕКТ ДН-08 (ДНТ-2)

Дальномерный комплект ДН-08 предназначен для измерения расстояний от 50 до 700 м со средней квадратической относительной погрешностью порядка 1 : 1500. При работе с ДНТ-2 могут

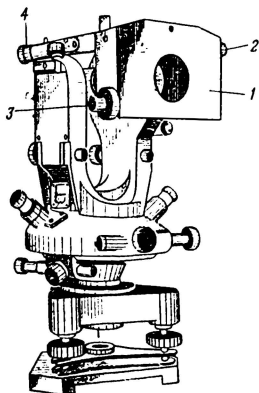
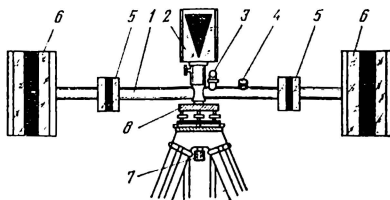


Рис. 53. Дальномерная насадка ДН-08

1 — корпус насадки; 2 — винт установочной части компенсатора; 3 — винт измерительной части компенсатора; 4 — отсчетный микроскоп

Рис. 54. Дальномерная рейка ДН-08



быть использованы теодолиты ТТ-4, ТТ-5, ТТП и ТН; в зрительных трубах этих теодолитов сетка нитей заменяется бипризмой, а на окуляр надевается щелевая диафрагма.

Комплект ДН-08 состоит из дальномерной насадки (рис. 53) и двух дальномерных реек (рис. 54).

Насадка укрепляется на объективном конце трубы теодолита; в ее корпусе 1 (см. рис. 53) находится линзовый компенсатор, служащий для измерений параллактических углов β . Взаимное смещение линз компенсатора осуществляется наводящими винтами 2 и 3 его установочной и измерительной частей; величина этого смещения определяется с помощью

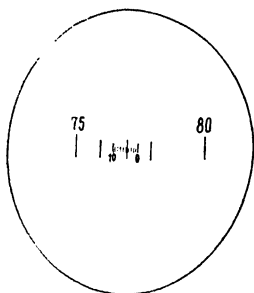


Рис. 55. Поле зрения отсчетного микроскопа ДНТ-2 (отсчет 77, 46)

дальномерной шкалы, видимой в поле зрения отсчетного микроскопа 4. Дальномерная шкала, состоящая из 120 делений, оцифрована через каждые 5 делений. Сценка десятых и сотых долей этих делений производится по шкале микроскопа. На рис. 55 изображено поле зрения отсчетного микроскопа и приведен пример отсчета (77, 46). На штанге 1 дальномерной рейки (см. рис. 54) укреплены 4 марки, имеющие вид дюралюминиевых пластин, лицевые поверхности которых лежат в одной плоскости. Две крайние 6 и две средние 5 марки образуют

соответственно большой (1018 мм) и малый (550 мм) базисы рейки. Марка 2 служит для измерения углов. Рейка устанавливается на подставке 8, закрепленной на штативе станковым винтом 7. Круглый уровень 4 служит для приведения рейки в горизонтальное положение; с помощью оптического визира 3 плоскость марок устанавливается перпендикулярно к измеряемой линии. Внутрь штанги вставлен термометр для определения температуры рейки во время измерения.

§ 28. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИХ УГЛОВ ДАЛЬНОМЕРОМ ДН-08

Дальномерная насадка закрепляется на трубе теодолита при круге лево (см. рис. 53). При этом верхняя грань корпуса компенсатора должна быть примерно параллельна оси вращения трубы. Расположенная на другом конце линии дальномерная рейка центрируется по отвесу, приводится в горизонтальное положение и разворачивается таким образом, чтобы изображение теодолита оказалось внутри круга сетки оптического визира. Наводящим винтом 1 трубы устанавливают разделительное ребро би-призмы вдоль середины штанги рейки.

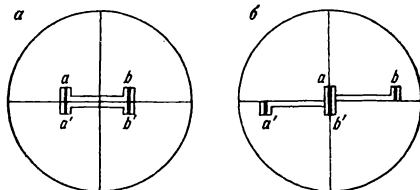
Изложенные действия составляют подготовительную часть измерений, методика которых зависит от длины линии. Если последняя не превышает 100 м, измерения выполняются по средним маркам четырьмя приемами в следующем порядке.

1. Винтом 3 (см. рис. 53) устанавливают на дальномерной шкале отсчет, близкий к 0, и вводят изображение рейки в центр поля зрения трубы наводящим винтом алидады.

2. Совмещают винтом 3 изображение одноименных марок рейки (a и a' , b и b' , рис. 56, а) и делают отсчет n_1 по дальномерной шкале.

3. Винтом 3 совмещают изображения разноименных марок (a и b' , рис. 56, б) и берут отсчет n_2 .

Рис. 56. Измерение одинарного параллактического угла



Величина одинарного параллактического угла β , полученная из первого приема, вычисляется по формуле

$$\beta = 2(n_2 - n_1).$$

Во втором приеме вращением винта 2 (см. рис. 53) примерно на пол-оборота разводят изображения марок. Далее вновь совмещают винтом 3 изображения разноименных марок a и b' и берут отсчет n_2 .

Прием заканчивается совмещением изображений a и a' , b и b' одноименных марок и отсчетом n_1 по дальномерной шкале.

Третий прием выполняется аналогично первому, а четвертый — второму; перед каждым приемом изображения марок слегка разводятся винтом 2 (см. рис. 53).

Если расхождения между углами β , полученными из разных приемов, не превышают 0,15, за окончательное значение принимается среднее из четырех приемов.

В табл. 32 дан пример записей в журнале измерений параллактических углов изложенным выше способом.

Т а б л и ц а 32

Измерение одинарного параллактического угла

№ приемов			$\frac{1}{2} \beta = n_2 - n_1$
1	75,36	1,31	74,05
2	78,30	4,35	73,95
3	76,40	2,44	73,96
4	78,55	4,48	74,07
Среднее			74,01 β 148,02

При расстояниях свыше 100 м измеряют двойной параллактический угол: до 180 м — по малому базису и от 180 м и более — по большому базису рейки. В этом случае измерения производят в такой последовательности:

1) вращением винта 3 (см. рис. 53) устанавливают на дальномерной шкале отсчет, близкий к 60;

2) совмещают приблизительно изображения одноименных марок винтом 2;

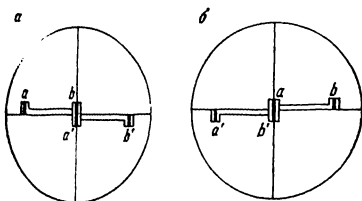


Рис. 57. Измерение двойного параллактического угла

3) наводящим винтом алидады вводят изображение рейки в поле зрения трубы;

4) винтом 3 точно совмещают изображения a' и b разноименных марок (рис. 57, а) и делают отсчет n_1 по дальномерной шкале;

5) винтом 3 совмещают изображения a и b' разноименных марок (рис. 57, б) и делают отсчет n_2 .

Величина двойного параллактического угла для первого приема вычисляется по формуле

$$2\beta = n_2 - n_1.$$

Во втором приеме винтом 2 немного разводят изображения марок a и b' , точно совмещают их винтом 3 и берут отсчет n_2 . Затем винтом 3 приводят марки в положение, изображенное на рис. 57, а и берут отсчет n_1 и т. д.

Расстояния до 400 м измеряются четырьмя приемами. Для расстояния более 400 м увеличивают число приемов до шести; при этом расхождения между отдельными значениями двойных параллактических углов допускаются в пределах 0,20.

§ 29. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДАЛЬНОМЕРА ДН-08

Коэффициент дальномера определяется отдельно для каждой пары марок обеих реек не реже чем через 3 месяца. Для этого на ровном участке местности, удобном для линейных измерений, выбирают базис AB (рис. 58) и разбивают его на интервалы. Общая длина базиса должна быть назначена с таким расчетом, чтобы по каждой паре марок рейки можно было измерить параллактические углы не менее чем на 6 интервалах в прямом и обратном направлениях. Каждый интервал базиса измеряется мерной проволокой или лентой с точностью не ниже 1 : 5000. После этого на

пункте *A* устанавливают теодолит с насадкой и измеряют шестью приемами параллактические углы по каждой рейке. На интервалах 72, 96 и 120 измерения ведут по малому базису, а на интервалах 216, 240, 264 и 360 — по большому базису рейки. Затем теодолит переносят на пункт *B*, и измерение параллактических углов продолжается в обратном направлении: на интервалах 96, 120, 144 м — по малому базису и на интервалах 240, 264 и 288 — по большому базису каждой рейки.

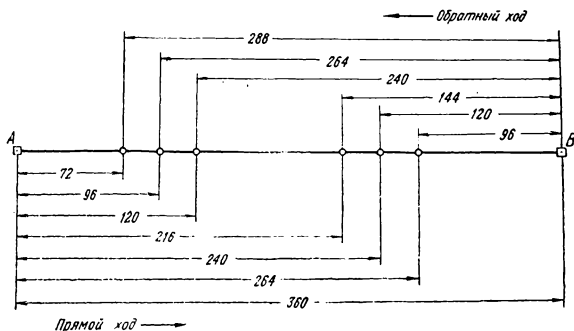


Рис. 58. Схема разбивки базиса

Значения параллактических углов, полученных для данного интервала по одной рейке, не должны различаться между собой более чем на 0,15.

На каждом интервале измеряют и записывают в журнал углы наклона и температуру реек.

Вычисление коэффициента дальномера для большого и малого базисов реек производится по формуле

$$K = (B_0 - c + \Delta D_v) \beta + \Delta K_t, \quad (V.13)$$

где B_0 — приведенная к горизонту длина интервала; c — постоянное слагаемое дальномера, равное 0,10 м; ΔD_v и ΔK_t — поправки за наклон линии к горизонту и за температуру рейки, вычисляемые по формулам

$$\Delta D_v = 2 \frac{K}{\beta} \sin^2 \frac{v}{2}; \quad (V.14)$$

$$\Delta K_t = 16 \cdot 10^{-6} K (t_{cp} - t); \quad (V.15)$$

здесь v — измеренный угол наклона; t — температура при измерении данного интервала; t_{cp} — средняя температура всех измерений.

Значение коэффициента K , входящего в соотношения (V.14) и (V.15), принимается приближенно равным 21 000 для крайних

Определение коэффициента дальномера ДН-0,8 № 5467

Теодолит ТТ-5 № 1103

Рейки № 17393 (1) и 17008 (2)

Дата: 15 мая 1977 г.

Начало измерений: 9 ч 30 мин

Наблюдатель

Конец измерений: 12 ч 50 мин

Записывающий

Температура t и угол наклон ν	Интервал базиса	Длина интервала базиса, м	№ рейки, базис, измеряе- мый угол	Отсчеты по шкалам дальномера		Разность отсчетов $n_2 - n_1$
				n_2	n_1	
$t = +16,5^\circ$ $\nu = +0^\circ 05'$	0—1	72,044	№ 1, малый, β $\frac{\beta}{2}$	80,70	1,88	78,82
				93,15	14,15	78,90
				96,40	17,50	78,90
				96,69	17,79	78,90
				101,49	22,66	78,83
				107,24	28,40	78,84
				Среднее		78,86
$t = +16,5^\circ$ $\nu = -0^\circ 10'$	0—1	72,044	№ 2, малый, β $\frac{\beta}{2}$	107,12	28,11	79,01
				111,95	33,06	78,89
				112,40	33,50	78,90
				111,59	32,71	78,88
				114,56	35,59	78,97
				106,49	27,58	78,91
				Среднее		78,93
$t = +16,5^\circ$ $\nu = +0^\circ 10'$	0—2	95,987	№ 1, малый, β	68,96	9,54	59,12
				67,82	8,62	59,20
				64,18	5,11	59,07
				69,73	0,58	59,15
				65,78	6,22	59,06
				68,34	9,26	59,08
				Средн		59,11
$t = +17,0^\circ$ $\nu = -0^\circ 05'$	0—3	119,970	№ 1, малый, β	96,02	1,32	94,68
				96,91	2,31	94,60
				99,20	4,63	94,57
				98,20	3,60	94,60
				98,62	4,03	94,59
				98,51	3,95	94,56
				Среднее		94,60

Вычисление коэффициента дальномера ДН-0,8 № 5467

Дата определе- ния	Интервал базиса	$B_0, \text{ м}$	$B_0 - c, \text{ м}$	Темпера- тура t		K	
Рейка № 1. Малый базис							
15/V 1977	0—1	72,020	71,920	+16,5°	157,72	11 343	+6
	0—2	95,987	95,887	+16,5	118,22	11 336	—1
	0—3	119,970	119,870	+17,0	94,60	11 340	+3
	7—6	95,944	95,844	+18,0	118,25	11 334	—3
	7—5	120,045	119,945	+18,5	94,49	11 334	—3
	7—4	144,008	143,908	+18,5	78,75	11 333	—4

Среднее $+17,8^\circ$ Среднее 11 337 $[v^2] = -80$

$$M_K = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}} = \pm 2; \quad \frac{M_K}{K} = \frac{2}{11\,337} \approx \frac{1}{5600}$$

Рейка № 1. Большой базис							
15/V 1977	0—4	215,939	215,839	+17,0°	97,18	20 975	—5
	0—5	239,902	239,802	+17,5	87,53	20 990	+10
	0—6	263,983	263,883	+17,5	79,47	20 970	—10
	0—7	359,947	359,847	+18,0	58,32	20 986	+6
	7—3	239,977	239,877	+19,0	87,50	20 989	+9
	7—2	263,960	263,860	+19,0	79,49	20 974	—6
	7—1	287,903	287,803	+19,5	72,89	20 978	—2

Среднее $+18,2^\circ$ Среднее 20 980 $[v^2] = 382$

$$M_K = \pm \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}} = \pm 3; \quad \frac{M_K}{K} = \frac{3}{20\,980} \approx \frac{1}{7000}$$

Среднее значение коэффициентов дальномера по двум рейкам при температуре $t_{cp} = +18,0^\circ$:

для малого базиса 11 339;

для большого базиса 20 978.

марок и 11 000 — для средних марок рейки. При $v < 50'$ и $t_{cp} - t < 10^\circ$ поправки ΔD_v и ΔK_t не учитываются.

Наибольшие расхождения между значениями K , полученными из измерений на разных интервалах базиса по одной и той же паре марок, не должны превышать 1 800 величины коэффициента; в этом случае за окончательное значение K для каждой пары марок принимается среднее арифметическое из результатов определений.

Средняя квадратическая относительная погрешность коэффициента K , вычисляемая по формуле

$$\frac{M_K}{K} = \pm \frac{1}{K} \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}}, \quad (\text{V.16})$$

не должна превышать 1 4000. При соблюдении этого условия вычисляют среднее значение K по двум рейкам для данной температуры t_{cp} .

В табл. 33 приведен пример записей в журнале определения коэффициента K дальномера ДН-08 для трех интервалов базиса и даны результаты вычислений K .

Журнал измерения линии дальномером ДН-08 № 6487

Теодолит ТТ-5 № 1103

Рейки № 17 393 (1) и 17 008 (2)

Дата: 20 июня
Наблюдатель:
Записывающий:Начало измерений: 11 ч 20 мин
Конец измерений: 12 ч 10 мин

№ станции	№ наблюдений двух точек	Температура t и угол наклона γ	№ рейки, базис, измеренный угол	Отсчеты по шкалам дальномера		Разность отсчетов $n_2 - n_1$	Вычисление длины линии
				n_2	n_1		
Линия 0102—0121 (прямой ход)							
2	№ 1, большой базис, двойной	$t = +26,5^\circ$		63,69	8,40	55,29	$D_1 = \frac{K}{\beta_1} = \frac{20\,978}{55,22} = 379,90 \text{ м}$
		$\gamma = +2^\circ 14'$		63,89	8,74	55,15	
				64,75	9,55	55,20	
				62,50	7,26	55,24	
				Среднее		55,22	
	№ 2, большой базис, двойной	$t = +27,0^\circ$		77,99	22,74	55,25	$D_2 = \frac{K}{\beta_2} = \frac{20\,978}{55,24} = 379,76 \text{ м}$
		$\gamma = +2^\circ 14'$		75,31	20,14	55,17	
				78,18	22,87	55,31	
				76,82	21,61	55,21	
				Среднее		55,24	
						$D_{\text{ср}}$	379,83 м
						ΔD_c	+0,10 м
						ΔD_t	+0,06 м
						ΔD_γ	-0,29 м

§ 30. ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ ДАЛЬНОМЕРНОЙ НАСАДКОЙ ДН-08

Измерение каждой стороны теодолитного хода производится в прямом и обратном направлениях по обеим рейкам дальноммерного комплекта в соответствии с указаниями, изложенными в § 28. Если коэффициенты K обеих реек различаются между собой в пределах 1 4000, то порядок установки реек на концах линии произволен; в противном случае рейки следует чередовать по ходу измерений. Одновременно с параллактическими углами измеряются углы поворота и углы наклона, а также температура воздуха.

Длины сторон хода вычисляются по формулам:

$$d = \frac{K}{\beta} + c + \Delta D_t - \Delta D_v;$$

$$\Delta D_t = 16 \cdot 10^{-6} \frac{K}{\beta} (t - t_0),$$

где t — температура измерения линии; t_0 — средняя температура при определении коэффициента дальноммера. При $v < 1^\circ$ и $t - t_0 < 10^\circ$ поправками ΔD_t и ΔD_v пренебрегают.

В табл. 34 приведены результаты измерений стороны теодолитного хода дальноммером ДН-08.

§ 31. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ ДАЛЬНОМЕР ДД-3 (ДН-10)

Дальноммерный комплект ДД-3 применяется для измерения расстояний от 20 до 200 м с точностью 1 2000. Он состоит из насадки (рис. 59), надеваемой на зрительную трубу теодолитов ТТ-5, ТТП, ТН и др., и двух дальноммерных реек длиной 2 или 3 м (фрагмент рейки показан на рис. 60). Главной частью насадки являются два оптических клина (см. рис. 59), закрывающих одну половину объектива трубы; вторую половину закрывает плоско-параллельная пластинка, заключенная вместе с клиньями в оправу 2. Положение оправы относительно оптической оси трубы может быть изменено с помощью двух исправительных винтов 1, прикрытых колпачком с откидной шторкой 5. Корпус 3 насадки укрепляется на объективе трубы закрепительным винтом 4.

На каждой стороне деревянной двухметровой рейки (см. рис. 60) натянута инварная шкала с делениями через 2 см (цена деления трехметровой рейки 5 см). К шкалам неподвижно прикреплены варньеры; на основной шкале 1, оцифрованной от 2 до 9, варньер 2 расположен так, что постоянное слагаемое дальноммера равно нулю. На контрольной шкале с оцифровкой от 1 до 9 варньер сдвинут на величину, соответствующую $c = 11,111$ м. Каждая рейка снабжена круглым уровнем, подставкой и двумя съемными подпорками.

Измерение расстояний дальноммером ДД-3 производится в следующем порядке.

1. Зрительную трубу наводят на рейку так, чтобы средняя горизонтальная нить сетки расположилась вблизи нулевого штриха верньера, обозначенного треугольником.

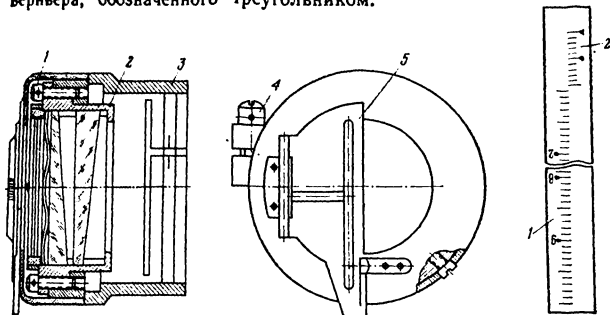


Рис. 59. Дальномерная насадка ДН-10

исправительный винт; 2 — оправа; 3 — корпус насадки; 4 — закрепительный винт; 5 — шторка

Рис. 60. Дальномерная рейка ДН-10

1 — основная шкала; 2 — верньер

2. Наводящим винтом перемещают трубу вверх, пока какой-либо штрих верньера не совпадет со штрихом шкалы рейки (рис. 61).

3. Берут отсчет по рейке, состоящий из трех частей:

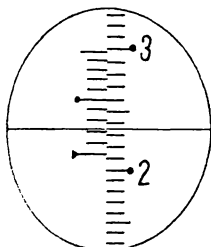


Рис. 61. Отсчет по рейке ДН-10

а) число целых делений рейки, расположенных ниже нуля верньера (21 м);

б) число десятых долей деления рейки, равное номеру совпадающего штриха верньера (5 дм);

в) число сотых и тысячных делений рейки, равное числу делений верньера от его нулевого штриха до средней горизонтальной нити сетки (2.2 см). Таким образом, изображенный на рис. 61 отсчет равен 21,522 м.

Отсчеты берут дважды по каждой шкале рейки; расхождение между отсчетами не должно превышать 1 : 2000.

Сумма двух отсчетов по основной шкале дает измеренное расстояние. Для получения расстояния по контрольной шкале к сумме взятых по ней отсчетов прибавляют $s=11,111$ м. Например:

	21,522	15,970
2-й отсчет	21,530	15,975
Расстояние	43,052 м	43,056 м

Если расстояния, полученные по основной и контрольной шкалам рейки, различаются между собой не более чем на 1 : 3000, вычисляют среднее арифметическое D из двух результатов и вводят в него поправку ΔD за наклон линии к горизонту. Для этого измеряют угол наклона ν , наводя среднюю горизонтальную нить сетки на совпадающий штрих верньера (на рис. 61 это 5 дм).

Поправка ΔD берется из специальных таблиц или вычисляется по формуле

$$\Delta D = D' \sin^2 (\nu + 17').$$

§ 32. ПРИВЕДЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДАЛЬНОМЕРА ДД-3 К 100

На ровном участке местности выбирают базис длиной около 140 м, который разбивают на 5—6 интервалов, примерно одинаковых и не равных целому числу метров. Длины интервалов измеряются шкаловой лентой с точностью не ниже 1 : 7000.

Установив на одном конце базиса теодолит с насадкой, а на конце второго или третьего интервалов (50—80 мм) рейку, делают два отсчета по основной шкале рейки и вычисляют расстояние. Введя в него поправку ΔD , сравнивают полученный результат с длиной интервала D_0 , измеренного лентой. Если они различаются более чем на 1 : 2000, снимают предохранительный колпачок и с помощью юстировочных винтов наклоняют оптические клинья до тех пор, пока отсчет n по основной шкале не станет равным

$$n = \frac{D_0 + \Delta D}{2}.$$

После этого берут еще 6 отсчетов по основной и столько же по контрольной шкалам рейки. Расхождение между полученным результатом и длиной интервала D_0 не должно превышать 1 : 5000. Для проверки правильности установки коэффициента дальномера производят контрольные измерения расстояния на других интервалах базиса от обоих его концов. Коэффициент дальномера считается приведенным к 100, если разности между расстояниями, измеренными лентой и дальномером, лежат в пределах 1 : 2000. В табл. 35 дан пример записей измерений и вычислений при приведении коэффициента ДД-3 к 100.

Приведение к 100 коэффициента дальности ДД-3N342

Дата: 17.VIII 1978 г.

Записывающий

Наблюдатель

1	Угол наклона	2	3	Отсчеты по пикам		Расхождение	7	8
				основной	контрольной			
76,401	+0° 05'	+0° 22'	38,449	32,888		76,883	$\Delta D = 16,9 \sin^2 0^\circ 22' = 0,003 \text{ м}$ $n = \frac{76,401 + 0,003}{2}$ $n = 38,202$	
			38,443	32,875		-0,003		
				11,111		76,880		
			76,892	76,874				
			П о с л е ю с т и р о в к и к л и н ь е в					
Среднее			38,202	32,641				
			38,205	32,632				
			38,200	32,640				
			38,208	32,637				
			38,210	32,630				
			38,206	32,643				
			38,208	32,640				
			38,206	32,638				
				65,276				
				11,111				
106,122	+0° 03'	+0° 20'	76,412	76,387	+25			
			-76,401	-76,401				
			+11	-14				
			П р о в е р к а к о э ф ф и ц и е н т а					
			53,058	47,482	+53	106,094		
52,702	+0° 06'	+0° 23'	53,063	47,475		-0,005		
				11,111		106,089		
			106,121	106,068				
			26,346	20,780		52,690		
			26,349	20,774	+30	-0,002		
			52,695	11,111		52,688		
				52,665				

§ 33. ИЗМЕРЕНИЕ ДАЛЬНОМЕРОМ ДД-3 ДЛИН СТОРОН ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ

Измерение каждой стороны хода производится в прямом и обратном направлениях. Если длина стороны не превышает 180 м, над одним из ее концов устанавливают теодолит с насадкой, на другом — рейку. При измерении стороны в обратном направлении инструмент и рейку меняют местами. Стороны длиной от 180 до 350 м измеряют по частям. Для этого инструмент устанавливают последовательно над концами линии, рейку — примерно в середине ее. В обратном ходе в середине линии ставят инструмент, а на концах — рейки. Точность установки инструмента и реек в створе линии 10—20 см; расхождение между результатами двух измерений не должно быть больше 1 : 2000. Образец журнала измерений длины линии дальномером ДД-3 (ДН-10) приведен в табл. 36.

Т а б л и ц а 36

Журнал измерения длины стороны 3—4 теодолитного хода
дальномером ДД-3 (ДН-10) № 342

Дата: 18/VIII—1977 г.

Наблюдатель
Записывающий

№ станции	№ наблюдаемых точек	Угол наклона ν	$\nu + 17'$	Отсчеты по шкалам реек		Расхождение	Среднее, поправка за наклон, горизонтальное проложение
				основной	к контрольной		
3	3а	+2° 19'	+2° 36'	45,271 45,264	39,732 39,721 11,111	—29	90,550 —0,187 90,363
4	3а	—4° 18'	—4° 01'	90,535 45,740 45,746	90,564 40,175 40,170 11,111		91,471 —0,448
36	4	+3° 39'	+3° 56'	91,486 48,594 48,587	91,456 43,028 43,022 11,111	+30	91,023 Σ 181,386
36	3	—3° 02'	—2° 45'	97,181 42,391 42,384	97,161 36,840 36,836 11,111	+20	97,171 —0,458 96,713
				84,775	84,787	—12	84,781 —0,195 84,596 Σ 181,299
						Среднее	181,342

§ 34. ДАЛЬНОМЕРНАЯ НАСАДКА ДНР-06

Дальномерная насадка ДНР-06 (рис. 62) предназначена для измерения горизонтальных расстояний от 20 до 200 м в диапазоне углов наклона $\pm 20^\circ$ со средней квадратической погрешностью ± 6 см на 100 м расстояния. Она может применяться с теодолитами, имеющими наружный диаметр объектива зрительной трубы 46 мм (теодолиты Т2, Т5, Т15).

Оптическая схема насадки состоит из неподвижного оптического клина 1 и качающегося редуцирующего клина 3. Эти клинья

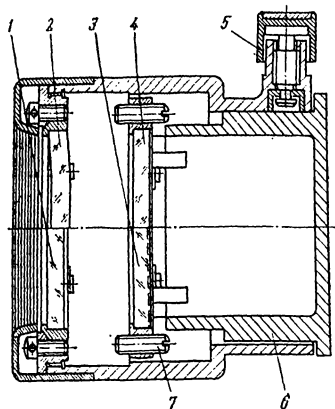
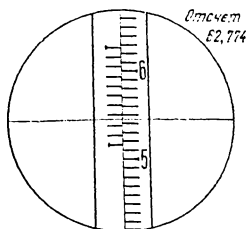


Рис. 62. Дальномерная насадка ДНР-06 (разрез)

1 — оптические клинья;
2 — телескопическая линза;
4 — плоскопараллельная пластинка; 5 — закрепительный винт; 6 — заглушка;
7 — балансирующий винт

Рис. 63. Отсчет по рейке ДНР-06 (отсчет 62, 77)



закрывают половину объектива зрительной трубы. Линза 2 и плоскопараллельная пластинка 4 перекрывают вторую половину объектива.

Дальномерная рейка длиной 2,5 м имеет шкалы с двух сторон. Цена деления шкал обеих сторон рейки 2 см. Верньер на рейке обратный: десяти делениям его соответствуют одиннадцать делений рейки. Отсчет по рейке производится в том же порядке, что и при работе с дальномером ДД-3 (ДН-10) (рис. 63).

Принцип действия автоматического редуцирующего устройства насадки ДНР-06 следующий. При перемещении трубы в вертикальной плоскости свободно висящий перед объективом трубы клин 3 сохраняет постоянно отвесное положение и угол, образуемый клином с линией визирования, равен углу наклона последней относительно горизонта. Этим достигается приближенное редуцирование, необходимое для получения горизонтальных преломлений измеряемых линий. При углах наклона до 14° погрешность

редуцирования не превышает 1 : 2000 измеряемого расстояния. Определение расстояний насадкой ДНР-06 выполняется так же, как и насадкой ДД-3 (ДН-10). Однако последняя дает наклонные расстояния, а при работе с насадкой ДНР-06 отсчитываются непосредственно горизонтальные проложения.

Примерное содержание лабораторных занятий с приборами для линейных измерений

1. Устройство лент и рулеток.
2. Изучение нитяного дальномера определение им расстояний.
3. Изучение дальномеров двойного изображения.
4. Знакомство с эклиметром и эккером.

Д о п о л н и т е л ь н ы е в о п р о с ы

1. Компарирование лент и рулеток, обработка результатов компарирования.
2. Знакомство с приборами высокоточных измерений.

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких действий состоит подготовка линии для измерения?
2. Назовите приборы непосредственного измерения линий.
3. Какие различают типы дальномеров?
4. Какой порядок измерения линий стальной 20-метровой лентой, нитяным дальномером?
5. Какие поправки вводят в длину линии, измеренную лентой?
6. Почему точность дальномеров двойного изображения выше, чем у дальномеров нитяных?
7. Для какой цели выполняется полевое определение постоянных нитяного дальномера?
8. В чем состоит принцип измерения расстояний радиодальномерами?

НИВЕЛИРОВАНИЕ *

А. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ НИВЕЛИРОВАНИИ

§ 35. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИБОРОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

В соответствии с ГОСТ 10528—76 предусмотрено изготовление трех типов нивелиров: Н-05, Н-3 и Н-10 **

Последние по точности делятся на три группы:

а) технические, предназначенные для обоснования топографических съемок, инженерно-геодезических изысканий, строительства;

б) точные, предназначенные для нивелирования III и IV классов и инженерно-геодезических изысканий;

в) высокоточные, предназначенные для нивелирования I и II классов в государственных геодезических сетях, на геодезических полигонах и при инженерно-геодезических работах.

В зависимости от устройства, применяемого для приведения визирной оси в горизонтальное положение, нивелиры всех типов предусмотрено выпускать в двух исполнениях: 1) с уровнем при зрительной трубе (которые в дальнейшем будем условно называть уровнемыми) и 2) с компенсатором углов наклона. В последнем случае в шифре нивелира добавляется буква К, например Н-3К.

Кроме того, нивелиры типа Н-3 и Н-10 допускается изготавливать с лимбами для измерения горизонтальных углов. При наличии лимба в шифре нивелира добавляется буква Л, например, Н-10КЛ.

Как видно из изложенного, ГОСТ 10528—76 существенно улучшил классификацию нивелиров, предусмотренную ГОСТ 10528—69 (см. § 58 учебника), уменьшив число типов приборов с восьми до трех.

Ниже рассмотрены основные типы нивелиров, предусмотренные ГОСТ 10528—76. При этом описаны приборы, как выпускаемые отечественной промышленностью согласно указанному ГОСТ, так и являющиеся их прототипами. Кроме того, описаны некоторые типы иностранных нивелиров, широко используемые при выполнении инженерно-геодезических работ в нашей стране.

§ 36. УСТРОЙСТВО НИВЕЛИРОВ С КОМПЕНСАТОРАМИ (С САМОУСТАНОВЛИВАЮЩЕЙСЯ ГОРИЗОНТАЛЬНО ЛИНИЕЙ ВИЗИРОВАНИЯ)

Технический нивелир Н-10КЛ (рис. 64) изготавливался согласно ГОСТ 10528—69 под шифром НТСК; он позволяет выполнять нивелирование со средней квадратической погрешностью 8—10 мм на 1 км одинарного хода.

* См. § 53—71 учебника.

** Здесь Н — нивелир; 0,5; 3; 10 — средняя квадратическая погрешность (мм) определения превышений на 1 км двойного хода.

Рис. 64. Нивелир НТСК (Н-10КЛ)

1 — пластина; 2 — лимб; 3 — окуляр зрительной трубы; 4 — зеркало-крышка; 5 — маховичок перефокусировки; 6 — подъемный винт

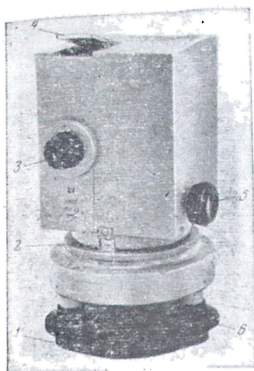
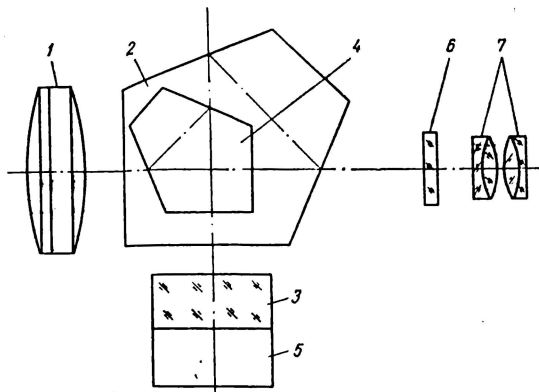


Рис. 65. Схема оптики нивелира НТСК

1 — объектив; 2 — пентапризма; 3 — призма-компенсатор; 4 — пентапризма; 5 — рамка; 6 — сетка; 7 — окуляр



Компенсатор нивелира состоит из двух пентапризм (рис. 65) 4 и 2, склеенных между собой и скрепленных с корпусом зрительной трубы, а также подвижной прямоугольной призмы 3, заключенной в рамку 5. Рамка может перемещаться в вертикальной плоскости при помощи маховичка 5 фокусирующего устройства (см. рис. 64), меняя положение подвижной призмы компенсатора и одновременно осуществляя фокусировку зрительной трубы. Колебания подвижной призмы гасятся воздушным демпфером.

Зрительная труба нивелира дает прямое изображение рейки (рис. 66). Она помещена в термостатирующий кожух с целью предохранения ее от температурных воздействий.

К числу особенностей конструкции прибора относится также наличие лимба, который может переставляться при помощи специального винта, имеющегося в нижней части нивелира. Наведение зрительной трубы на рейку осуществляется от руки.

Предварительная установка прибора в рабочее положение выполняется при помощи круглого уровня находящегося под крышкой зеркала 4 (см. рис. 64).

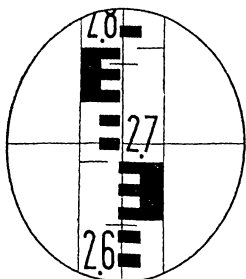


Рис. 66. Поле зрения трубы нивелира НТСК

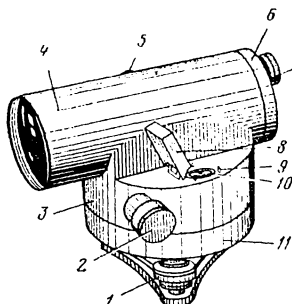


Рис. 67. Нивелир НС-4

1 — подъемный винт; 2 — маховик; 3 — основание зрительной трубы; труба; 5 — кремальера; 6 — крышка; 7 — окуляр; 8 — зеркало для наблюдения; 9 — исправительный винт уровня; 10 — круглый уровень;

Точный нивелир Н-3К по внешнему виду и конструкции подобен своему прототипу НС-4 (рис. 67), серийно выпускаемому для целей нивелирования IV класса и технического. Возможность применения прибора Н-3К для нивелирования III класса достигнута повышением чувствительности компенсатора и усовершенствованием технологии изготовления.

Нивелир Н-3К имеет призмный компенсатор — призмы 3 и 6 (рис. 68), который обеспечивает автоматическую установку линии визирования в горизонтальное положение в пределах угла компенсации, равного $\pm 10'$. Этот предел достигается предварительной установкой прибора в рабочее положение по круглому уровню 10, расположенному под отражателем 8 вращением подъемных винтов 1 (см. рис. 67).

Зрительная труба нивелира не имеет закрепительного винта. Предварительное наведение трубы на рейку производится от руки преодолением фрикционного сцепления. Точное наведение осуществляется вращением одной из головок 2 бесконечного наводящего винта.

Нивелир НЛС (рис. 69, а). Прибор предназначен для высотного обоснования топографических съемок и инженерно-геодезических изысканий. Нивелиром можно определять превышения как наклонным, так и горизонтальным лучом.

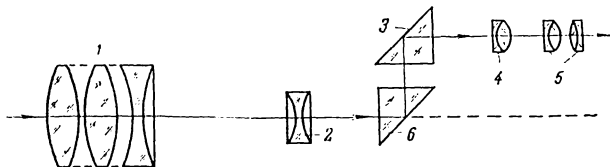


Рис. 68. Оптическая схема зрительной трубы нивелира Н-3К (и Н-4)
1 — объектив; 2 — фокусирующая линза; 3, 6 — призмы компенсатора; 4 — сетка нитей; 5 — окуляр

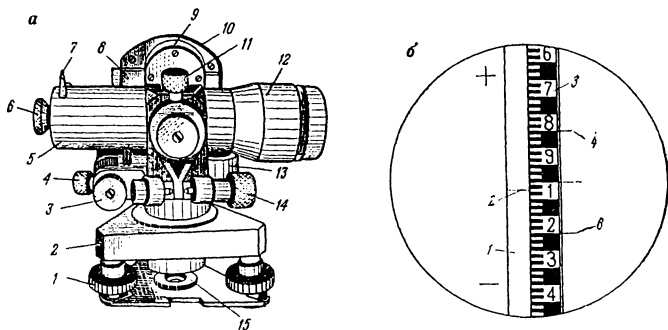


Рис. 69. Нивелир НЛС

а — общий вид: 1 — подъемный винт, 2 — треножник, 3 — наводящий винт трубы, 4 — закрепительный винт, 5 — корпус трубы, 6 — окуляр, 7 — целик, 8 — оправа уровня, 9 — матовое защитное стекло, 10 — кожух, 11 — закрепительный винт трубы, 12 — объективная часть трубы, 13 — круглый уровень, 14 — наводящий винт, 15 — пружинящая пластинка; б — поле зрения трубы: 1 — посеребренная пластинка, 2 — высотный штрих, 3 — изображение рейки, 4, 5, 6 — штрихи сетки нитей

Точность нивелира НЛС ниже точности нивелиров с горизонтальным лучом, но труба нивелира может устанавливаться под углом наклона $\pm 3^\circ$, что позволяет определять превышения до 15 м с одной станции и тем самым повышать эффективность работы на всхолмленной местности.

Особенностью нивелира является наличие специального устройства, образующего систему оптического высотомера, содержащую самоустанавливающийся высотный штрих. Изображение высотного штриха 2 (рис. 69, б) через оптическую систему высотомера передается в поле зрения трубы.

В поле зрения трубы высотный штрих 2 перемещается относительно неподвижных штрихов 4, 5 и 6 сетки нитей.

Нивелир Ni-B3 (рис. 70, а). Изготавливается заводом МОМ (ВНР). Предназначен для нивелирования III и IV классов и технического.

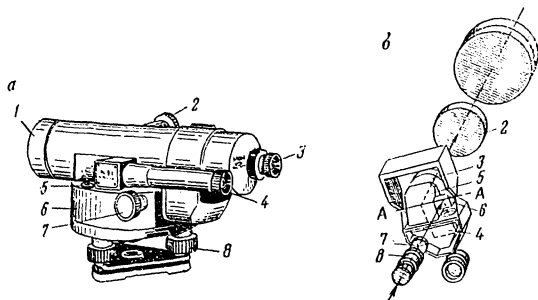


Рис. 70. Нивелир Ni-B3

а — общий вид: 1 — объектив, 2 — кремальера, 3 — окуляр, 4 — микроскоп, для отсчета по горизонтальному кругу, 5 — стекло подсветки горизонтального круга, 6 — основание зрительной трубы, 7 — наводящий винт трубы, 8 — подъемный винт; б — оптическая схема трубы и компенсатора: 1 — объектив, 2, 3 — фокусирующие линзы, 4 — неподвижная призма компенсатора, 5, 6 — подвижные призмы компенсатора, 7 — сетки нитей, 8 — окуляр

Прибор не имеет закрепительного винта. Предварительное наведение трубы на рейку выполняется от руки, точное — бесконечным наводящим винтом 7.

Нивелир имеет горизонтальный круг с ценою деления 1', отсчеты по которому производят в поле зрения микроскопа 4.

Компенсатор нивелира оптико-механический маятниковой типа, состоит из неподвижной призмы 4 (рис. 70, б) и двух подвижных призм 5 и 6, закрепленных на одной общей оправе. Последняя подвешена на четырех попарно перекрещивающихся по линии AA стальных проволочках. Предел работы компенсатора $\pm 8'$. Колебания маятника гасятся воздушным демпфером в течение 0,6—0,8 с.

В комплект прибора входит насадка с плоскопараллельной пластинкой, используемая в случае применения нивелира для выполнения точных работ.

Заводом МОМ выпускаются также нивелиры Ni-B4, Ni-B5 и Ni-B6, являющиеся модификациями нивелира Ni-B3. Так, у нивелиров Ni-B4 и Ni-B6 нет горизонтального круга. Кроме того, у нивелира Ni-B6 изображение пузырька круглого уровня передано в поле зрения трубы.

Нивелир Ni-025 (рис. 71, а). Выпускается фирмой «Карл Цейсс» (ГДР). Предназначен для точных работ. Отличается компакт-

ностью и малой массой. Широко используется как на топографических, так и на инженерно-геодезических работах.

Труба нивелира дает прямое изображение. Наведение трубы на рейку производится от руки преодолением фрикционного трения, точное — при помощи бесконечного наводящего винта 8.

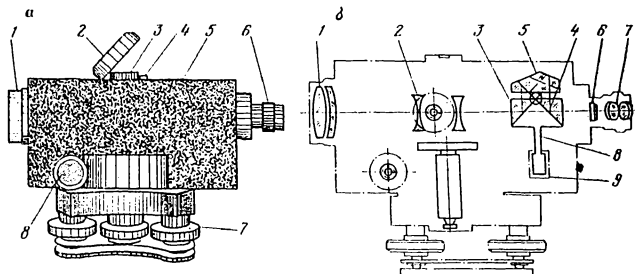


Рис. 71. Нивелир Ni-025

a — общий вид: 1 — объектив, 2 — зеркало, 3 — круглый уровень, 4 — исправительный винт уровня, 5 — корпус нивелира, 6 — окуляр, 7 — подъемный винт, 8 — бесконечный наводящий винт; *б* — оптическая схема трубы и компенсатора: 1 — объектив, 2 — фокусирующая линза, 3, 4 — призмы компенсатора, 5 — призма крышка; 6 — сетка нитей, 7 — окуляр, 8 — маятник, 9 — демпфер

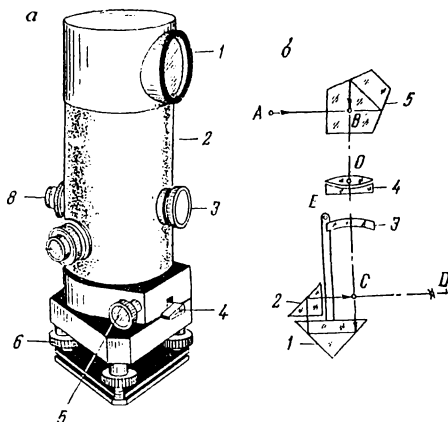


Рис. 72. Нивелир Ni-007

a — общий вид: 1 — крышка объектива, 2 — зрительная труба, 3 — кремальера, 4 — закрепительный рычаг, 5 — наводящий винт, 6 — подъемный винт, 7 — винт вращения пентапризмы, 8 — окуляр; *б* — схема работы компенсатора: 1 — подвижная призма компенсатора, 2 — неподвижная призма, 3 — фокусирующая линза, 4 — объектив, 5 — пентапризма; *D* — центр сетки нитей

В нивелире установлен призмный компенсатор, состоящий из двух призм 3 и 4 (рис. 71, б), закрепленных на маятнике 8, и скрепленной с корпусом трубы призмы 5. Предел работы компенсатора $\pm 10'$. Колебания компенсатора гасятся воздушным демпфером 9.

Нивелир Ni-007 (рис. 72, а). Производится народным предприятием «Карл Цейсс» (ГДР). Нивелир предназначен как для технического, так и для точного нивелирования. В последнем случае

включается специальное устройство и отсчет по рейке производится в поле зрения отсчетного микроскопа, расположенного ниже окуляра 8.

Компенсатор нивелира оптический; он представляет собою прямоугольную призму 1 (рис. 72, б), подвешенную в виде маятника в точке Е. При соблюдении угла компенсации $\pm 10'$ линия визирования устанавливается в горизонтальное положение. Такая величина угла компенсации достигается при помощи установочного круглого уровня.

Труба нивелира перископическая, ломаная, прямого изображения. Оптическая схема трубы и компенсатора показана на рис. 72, б.

Основные технические данные рассмотренных нивелиров с компенсаторами приведены в табл. 37.

Т а б л и ц а 37

Исчисленные и конструктивные данные	Типы нивелиров					
	Н-10КЛ	Н-3К	Н-ВЗ	Н-025	Н-	НЛС
Увеличение зрительной трубы, крат	20	30,5	30	20	31,5	31
Предел работы компенсатора, мин	± 15	± 10	± 8	± 8	± 8	± 3
Цена деления круглого уровня, мин	18	8	5	8	8	—
Наименьшее расстояние визирования, м	2	2	3	1,5	2,2	2
Масса нивелира, кг	1,5	2,5	2,3	1,7	4,8	2,1

§ 37. УСТРОЙСТВО НИВЕЛИРОВ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ УРОВНЯМИ

Основными частями нивелиров с цилиндрическими уровнями являются зрительная труба, цилиндрический уровень и подставка с тремя подъемными винтами. Если у таких нивелиров соблюдены определенные геометрические условия (см. § 41), то после приведения в нуль-пункт пузырька цилиндрического уровня визирная ось займет горизонтальное положение. Процесс приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт весьма трудоемкий, поэтому большая производительность труда достигается при работе нивелирами с компенсаторами.

Нивелир Н-10Л (рис. 73, а) согласно ГОСТ 10528—69 выпускался под шифром НТ. Верхняя вращающаяся часть нивелира несет на себе зрительную трубу 4, цилиндрический уровень 3 и специальное призматическое устройство, передающее изображение концов пузырька уровня в поле зрения зрительной трубы (рис. 73, б). Точное совмещение концов пузырька уровня производится при помощи элевационного винта 9.

Предварительная установка нивелира выполняется по круглому уровню. Вместо подставки с тремя подъемными винтами нивелир снабжен шаровой пятой. Наклоны прибора в шаровой пите производят при помощи рукоятки станového винта.

Нивелир не имеет закрепительного и наводящего винтов, наведение трубы на рейку достигается поворотом верхней части его от руки путем преодоления фрикционного трения осевой пары.

Горизонтальный круг 10 нивелира (см. рис. 73, а) имеет цену деления 1° ; точность отсчета по кругу $6'$.

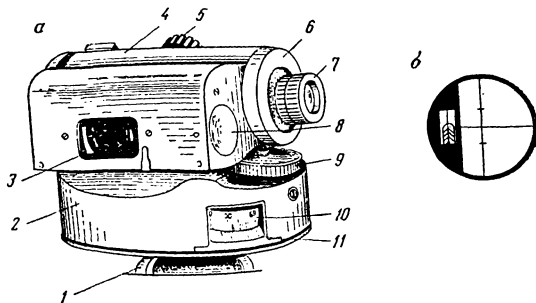


Рис. 73. Нивелир Н-10Л (НТ)

а — общий вид; 1 — подставка, 2 — кожух, 3 — цилиндрический уровень, 4 — зрительная труба, 5 — кремальера, 6 — крышка, 7 — окуляр, 8 — крышка исправительных винтов цилиндрического уровня, 9 — элевационный винт, 10 — горизонтальный круг, 11 — верньер; б — поле зрения трубы

Заметим, что половинки пузырька контактного (цилиндрического) уровня появляются в поле зрения трубы после предварительного приведения оси прибора в отвесное положение при помощи круглого (установочного) уровня.

Нивелир Н-3 (рис. 74, а). Корпус 6 зрительной трубы имеет прилив, где в коробке 7 расположены цилиндрический уровень и призматическое устройство, передающее изображение половинок пузырька в поле зрения трубы (рис. 74, б). Предварительная установка оси прибора в отвесное положение производится при помощи круглого уровня 13. Совмещение половинок пузырька контактного уровня достигается вращением элевационного винта 3.

Прототипом нивелира Н-3 является нивелир НВ-1 (рис. 75), аналогичный ему по устройству. Небольшое различие в параметрах нивелиров видно из рассмотрения табл. 38.

Нивелир Н-2 (рис. 76, а). Освоен и серийно выпускается отечественными заводами. Является прототипом нивелира Н-05, предусмотренного ГОСТ 10528—76. Нивелир снабжен наводящим устройством с плоскопараллельной пластинкой, позволяющим производить отсчеты по прецизионным инварным рейкам (рис. 77).

Для изменения положения визирной оси в пределах $\pm 40''$ предусмотрен оптический клин, установленный перед плоскопараллельной пластинкой и выполняющий одновременно роль защитного стекла объектива.

Наводящее устройство работает в пределах 5 мм, что равно наименьшему делению инварной рейки. Отсчет по рейке с боль-

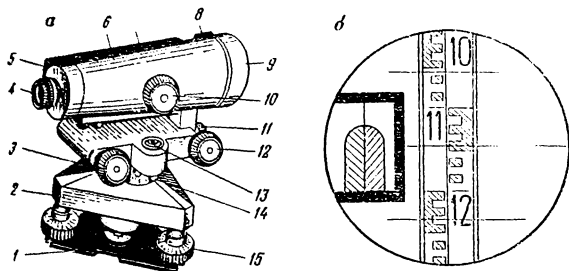


Рис. 74. Нивелир Н-3

а — общий вид: 1 — пружинящая пластинка с втулкой, 2 — подставка, 3 — элевационный винт, 4 — окуляр, 5 — торцевая часть коробки цилиндрического уровня, где расположены его исправительные винты, 6 — корпус трубы, 7 — коробка цилиндрического уровня, 8 — мушка, 9 — объектив, 10 — ручка для фокусировки, 11 — закрепительный винт, 12 — наводящий винт, 13 — круглый уровень, 14 — исправительный винт круглого уровня, 15 — подъемный винт; б — поле зрения нивелира Н-3

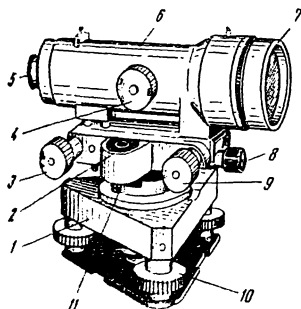


Рис. 75. НВ-1

1 — подставка; 2 — круглый уровень; 3 — элевационный винт; 4 — кремальера; 5 — окуляр; 6 — зрительная труба; 7 — объектив; 8 — закрепительный винт; 9 — наводящий винт; 10 — подъемный винт; 11 — исправительный винт круглого уровня

шой точностью достигается путем измерения части ее деления, заключенной между проекцией средней горизонтальной нити сетки и ближайшим младшим штрихом рейки. Эта часть деления рейки выражается соответствующим числом делений барабана (см. рис. 76, б) окулярного микрометра. При полном обороте барабана визирный луч смещается на величину расстояния между двумя соседними штрихами, равного 5 мм. Барабан содержит 100 делений, а потому цена его наименьшего деления равна 0,05 мм. Изображение шкалы окулярного микрометра передано в поле зрения трубы, куда передано и изображение концов пузырька цилиндрического уровня и шкалы его ампулы. Перед отсчетом

по рейке совмещают концы пузырька уровня при помощи элевационного винта 3 (см. рис. 76, а).

Для производства отсчета вращением маховичка 4 оптического микрометра совмещают равноделящую угла биссектора 4 (см. рис. 76, б) с ближайшим штрихом рейки. На этом рисунке отсчет по основной шкале рейки будет 18,440.

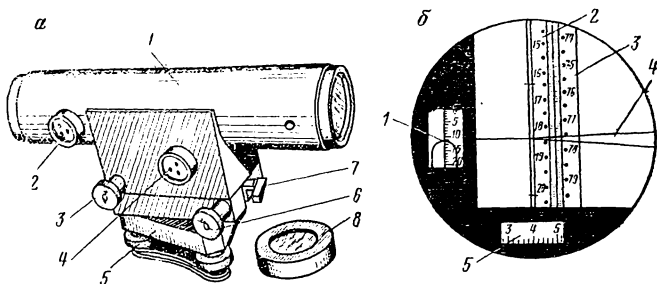
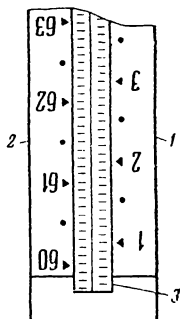


Рис. 76. Нивелир Н-2

а — общий вид: 1 — кожух трубы, 2 — кремальера, 3 — элевационный винт, 4 — маховичок оптического микрометра, 5 — подставка нивелира, 6 — наводящий винт, 7 — закрепительный рычаг, 8 — дополнительная линза; б — поле зрения трубы: 1 — изображение половинок пузырька контактного уровня, 2 — основная и 3 — дополнительная шкалы рейки, 4 — биссектор, 5 — изображение шкалы оптического микрометра

Рис. 77. Рей

1 — ось



Для предохранения от неравномерного нагрева зрительная труба, цилиндрический уровень и механизм окулярного микрометра прибора заключены в дополнительный термостатирующий металлический кожух 1 (см. рис. 76, а).

Для выполнения специальных инженерных работ, при которых нивелирование выполняют короткими визирными лучами, прибор снабжен дополнительной линзой 8, изготовленной в виде насадки на объектив трубы и позволяющей сократить расстояние визирования до 1 м.

Краткие оптические и конструктивные данные нивелиров с цилиндрическими уровнями приведены в табл. 38.

Оптические и конструктивные данные	Типы нивелиров			
	НТ		НВ-1	
Увеличение трубы, крат	23	30	31	40
Поле зрения трубы	1° 30'	1° 20'	1° 20'	50'
Цена деления цилиндрического уровня $\frac{1}{2}$ мм	45	15	17—23	10
То же, круглого $\frac{1}{2}$ мм	10	5	7—15	5
Наименьшее расстояние визирования, м	1,5	2	3	2
Масса нивелира, кг	1,0	2,0	1,8	5,6

§ 38. УСТРОЙСТВО, ИССЛЕДОВАНИЕ И ПОВЕРКИ НИВЕЛИРНЫХ РЕЕК

Устройство нивелирных реек

В соответствии с действующим ГОСТ 11158—76 предусмотрено изготовление трех типов реек: РН-10, РН-3 и РН-05.

Рейка РН-10 двусторонняя шашечная, предназначена для технического нивелирования и производства строительных работ. Рейки этого типа складные длиной 4 м (рис. 78, а). Рейки могут изготавливаться с прямой или обратной оцифровкой шкал, что должно соответствовать прямому или обратному изображению зрительной трубы нивелира.

В обозначении складных реек после указания их длины добавляется буква «С». В зависимости от того, какая предусмотрена оцифровка шкал, добавляется буква «П» (прямая) или «О» (обратная).

Рейка РН-3 двусторонняя шашечная, предназначена для нивелирования III и IV классов и инженерно-геодезических изысканий. Эти рейки могут быть длиной 1,5; 3,0 и 4,0 м. Рейки этого типа длиной 3,0 м могут быть складными и цельными (рис. 78, б). Так, рейка длиной 3,0 м складная, для прямого изображения трубы, имеет условное обозначение РН-3П-3000 С.

Рейка РН-05 односторонняя штриховая, предназначена для нивелирования I и II классов. Изготавливается длиной 3,0 или 1,2 м. На лицевой стороне таких реек смонтирована инварная лента. Нижний конец ленты закреплен наглухо, а верхний соединен с пружиной, придающей ленте постоянное натяжение с силой

* Здесь Р — рейка; Н — нивелирная; 10; 3; 0,5 — средняя квадратическая погрешность на 1 км хода, выраженная в мм.

20 кг. На лицевой стороне ленты имеются две шкалы, смещенные одна относительно другой на 2,5 мм. На шкалах даны подписи полудециметровых делений. Изображения шкал реек приведены на рис. 76, б и 77

Рейки типа РН-3 и РН-05 снабжены круглыми уровнями для установки в отвесное положение; рейки РН-10 снабжаются уровнями только по просьбе заказчика.

На двусторонних рейках с одной стороны чередуются черные и белые деления (черная сторона реек), а на другой стороне — красные и белые (красная сторона). На черной (основной) стороне счет делений идет от пятки рейки, с которой совмещен нуль. С пятками красных сторон реек совмещены отсчеты 4687 и 4787, т. е. на рейках одного комплекта отсчеты отличаются на 100 мм.

При обратной оцифровке шкал каждый дециметр рейки подписан перевернутыми цифрами, что дает возможность в трубу нивелира, имеющую обратное изображение, видеть их в прямом виде (рис. 79).

Рейки во время работы устанавливают на деревянные колья, башмаки или костыли (рис. 80).

Исследование и поверки нивелирных реек

Состав проверок определяется типом реек.

Поверки и исследования реек РН-10 и РН-3

Рейки исследуют в закрытом помещении, куда их вносят вместе с нормальным штриховым метром за два часа до начала исследований.

1. Определение средней длины одного метра рейки.

Укладывают рейку так, чтобы ее концы не провисали и при помощи контрольного метра дважды, в прямом и обратном направлениях измеряют длины отрезков между делениями 1—10, 10—20 и 20—30 дм.

По результатам исследований находят среднюю длину метра каждой пары реек и средний поправочный коэффициент для одного метра.

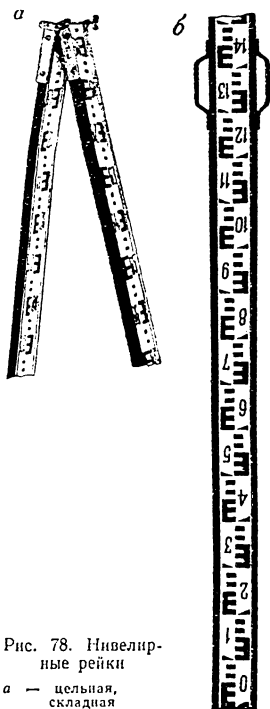


Рис. 78. Нивелирные рейки
а — цельная,
складная

Допустимая разность между средней длиной метра пары реек комплекта принята равной 1,5 мм.

2. Определение погрешностей дециметровых делений реек.

Исследование выполняют при помощи нормальной штриховой линейки, нуль которой совмещают с нулевым делением рейки. Отсчеты производят против дециметровых штрихов рейки в пределах каждого метра.

Случайные погрешности дециметровых делений рей должны превышать $\pm 0,5$ мм.

3. Определение разности высот нулей красной и черной сторон реек.

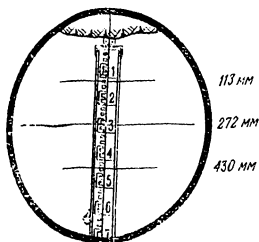


Рис. 79. Отсчет в поле зрени

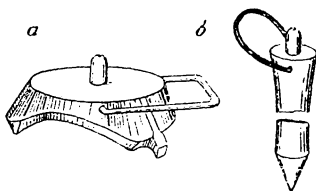


Рис. 80.

а — ашмак, б — кость

На расстоянии 20 м от нивелира забивают костыль, на который устанавливают отвесно рейку и берут отсчеты по черной и красной сторонам. Разность этих отсчетов дает разность нулей реек. Таких определений делают четыре и за окончательный результат принимают среднее значение из всех полученных значений разностей.

4. Проверка правильности установки на рейке круглого уровня; проверка параллельности оси уровня оси рейки.

Один из способов проверки этого условия состоит в следующем. В 50—60 м от нивелира * забивают костыль (или колышек) и устанавливают на него рейку. Наводят на нее зрительную трубу, и по сигналу наблюдателя реечник устанавливает ребро рейки, так, чтобы его изображение совпало с вертикальной нитью сетки. Если при этом пузырек уровня при рейке остался на середине, то условие выполнено. В противном случае, действуя его исправительными винтами, приводят пузырек на середину. Проверку повторяют, повернув рейку на 90° .

* Нивелир должен быть предварительно поверен, отъюстирован и приведен в рабочее положение (см. § 40).

Рейки этого типа подвергаются дополнительно к описанным выше следующим исследованиям и поверкам:

- 1) *поверка натяжения инварной ленты;*
- 2) *определение длины интервала между делениями 10—30, 30—50 основной шкалы и 70—90, 90—110 дополнительной шкалы рейки;*
- 3) *поверка перпендикулярности плоскости пятки рейки к оси рейки и поверка совпадения плоскости пятки с нулем основной шкалы;*
- 4) *определение прогиба рейки.*

Порядок этих исследований и поверок предусмотрен Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов (М., Недра, 1974).

§ 39. ИССЛЕДОВАНИЯ НИВЕЛИРОВ

Исследования основных механико-технологических и оптических условий, предъявляемых к нивелирам, выполняются в основном так же, как и у теодолитов (см. § 16).

Кроме того, для нивелиров всех конструкций * производят следующие исследования.

1. Исследование цены деления цилиндрического уровня.

Устанавливают рейку на расстоянии 40—60 м от нивелира. Расстояние должно быть измерено с точностью не менее 0,1 м. Нивелир на штативе устанавливают так, чтобы один из подъемных винтов расположился по линии визирования.

Действуя этим подъемным винтом, перемещают пузырек уровня к одному из концов ампулы. Производят отсчеты a_1 и a_2 (табл. 39) по концам пузырька и по рейке против средней нити сетки. Делениям уровня справа от нуль-пункта придают знак плюс, слева от нуль-пункта — знак минус.

Перемещают пузырек уровня, действуя также подъемным винтом, к другому концу трубки и снова отсчитывают по концам пузырька и по рейке.

Цену деления τ уровня вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{206265''h}{nd}, \quad (VI.1)$$

где h — разность отсчетов по рейке; n — число делений, на которое переместился пузырек уровня; d — расстояние от нивелира до рейки.

2. Исследование коэффициента дальномера.

Производится по правилам, описанным в § 29.

3. Определение цены деления отсчетного барабана.

Для полевого исследования прикрепляют к рейке шкалу с 8—10 делениями толщиной 1 мм и расстоянием между ними около 4 мм.

* См. Инструкцию по нивелированию I, II, III и IV классов (М., Недра, 1974).

Отсчеты по рейке	Отсчеты по концам пузырька		$\frac{a_1 + a_2}{2}$
	a_1	a_2	
1570 1545	1 прием -14,2 -2,2	$d = 40$ м +2,8 +14,8	-5,7 +6,3
$h = 25$	$n = 12$	$n = 12$	$n = 12$
1768 1747	2 прием -14,4 -3,7	$d = 38$ м +3,0 +13,8	-5,7 +5,0
$h = 21$	$n = 10,7$	$n = 10,8$	$n = 10,7$

$$\tau_1 = \frac{206\ 265'' \cdot 25}{12 \cdot 40\ 000} = 10'',0$$

$$\tau_2 = \frac{206\ 265'' \cdot 21}{10,7 \cdot 38\ 000} = 10'',6 \quad \tau_{\text{ср}} = 10,3''$$

Шкалу компарируют при помощи нормальной штриховой линейки. Устанавливают рейку на костыль, забитый на расстояниях 30, 50 и 70 м от нивелира, и определяют величину смещения визирного луча, соответствующую повороту барабана, например на 80 делений.

Работу выполняют несколькими приемами. Цену деления барабана получают как частное от деления значения интервала шкалы, определяемого из компарирования и выраженного в миллиметрах, на разность средних отсчетов по барабану.

4. Компенсатор нивелиров с самоустанавливающейся горизонтально линией визирования должен быть исправным.

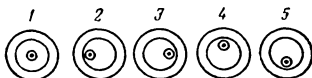
Приводят ось нивелира в отвесное положение при помощи круглого уровня (см. § 40). Устанавливают рейку на расстоянии 40—50 м от нивелира и производят по ней отсчет. Не отнимая глаз от окуляра, слегка постукивают по штативу. Изображение рейки при этом становится нерезким из-за дрожания компенсатора. Если компенсатор исправен, то изображение рейки восстанавливается через 1—2 с, а отсчет по рейке остается неизменным. Неисправность компенсатора устраняется в оптико-механической мастерской.

5. Компенсация углов наклона оси нивелира с самоустанавливающейся горизонтально линией визирования должна быть полной.

Для определения погрешности недокомпенсации устанавливают нивелир в середине створа между рейками, отстоящими на расстоянии 100 м друг от друга.

Определяют значения превышения пятью приемами при положениях пузырька круглого уровня, показанных на рис. 81. Если средние значения превышения, полученные при положении пузырька круглого уровня 2, 3, 4 и 5, отличаются от среднего

Рис. 81. Положение пузырька круглого уровня при установлении погрешности недокомпенсации



значения превышения, полученного при положении 1, более чем 3 и 5 мм соответственно для нивелирования III и IV классов (1 мм для высокоточного нивелирования), то прибор нуждается в заводской юстировке.

Исследование погрешности недокомпенсации рекомендуется выполнять при расстояниях между рейками 50, 100 и 200 м.

§ 40. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ НИВЕЛИРОВ С КОМПЕНСАТОРАМИ

Основное условие, которому должны удовлетворять нивелиры этой группы (описанные в § 36), следующее: *линия визирования должна быть горизонтальной при наклонах оси прибора в пределах расчетного угла компенсации.*

Для выполнения этого условия необходимо выполнить следующие проверки и соответствующие им юстировки.

1. *Проверка круглого (установочного) уровня: ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.*

Устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и, действуя ими, приводят пузырек в нуль-пункт (рис. 82). Поворачивают верхнюю часть нивелира на 180° . Если после этого пузырек остался в нуль-пункте, то условие выполнено. В противном случае, действуя исправительными винтами круглого уровня (см. например, 9, рис. 67), перемещают пузырек на половину дуги отклонения. Для контроля действия повторяют.

Перед каждой последующей проверкой производят предварительную установку нивелира по круглому уровню. Для этой цели устанавливают уровень по двум подъемным винтам и, действуя ими и третьим подъемным винтом, приводят пузырек в нуль-пункт.

2. *Проверка правильности установки сетки нитей: вертикальная нить сетки должна быть параллельной оси нивелира.*

Один из способов проверки этого условия * состоит в следующем. В защищенном от ветра месте на тонком шнуре подвешивают отвес. В 25—30 м от отвеса устанавливают нивелир и совмещают

* См. Инструкцию п
1974).

, , III и IV классов (М., Недра,

один из концов вертикальной нити сетки со шнуром отвеса. Если другой конец нити отходит от шнура отвеса не более чем на 0,5 мм, то условие выполнено.

Юстировка производится поворотом пластинки с сеткой нитей до совмещения ее вертикальной нити со шнуром отвеса. Для этого надо снять крышку 6 (см. рис. 67), прикрывающую исправительные винты сетки, отвернуть слегка крепежные винты пластины и после ее поворота вновь завернуть их.

Для контроля действия повторяют.

3. Проверка основного условия: линия визирования должна быть горизонтальной.

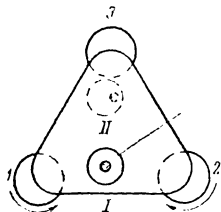


Рис. 82. Проверка круглого уровня

2, 3 — подъемные винты; 4 — круглый уровень; I и II — положение после поворота его на 180°

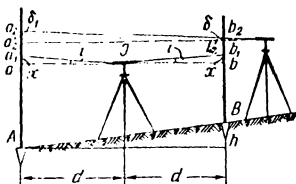


Рис. 83. Проверка главного условия у нивелиров с компенсаторами

Закрепляют кольями линию длиной 50—70 м и устанавливают на них рейки (рис. 83). Точно посередине между рейками устанавливают нивелир, приводят его ось в отвесное положение при помощи круглого уровня и производят отсчеты a_1 по задней и b_1 по передней рейкам. Находят величину превышения по формуле

$$h = a_1 - b_1.$$

Далее устанавливают нивелир за передней рейкой на наименьшем расстоянии визирования и производят отсчеты a_2 по дальней и b_2 по ближней рейкам. Предвычисляют отсчет a'_2 , соответствующий горизонтальному положению визирного луча,

$$a'_2 = h + b_2.$$

Разность $\delta_1 = a_2 - a'_2$ по абсолютной величине не должна быть более 4 мм. В противном случае сетку нитей с помощью исправительных винтов перемещают так, чтобы центр ее был установлен на отсчет a'_2 . Для контроля действия повторяют.

Пример:

$$a_1 = 1268 \text{ мм}, b_1 = 1046 \text{ мм и } h = a_1 - b_1 = 1268 - 1046 = +222 \text{ мм},$$

$$a_2 = 1574 \text{ мм}, b_2 = 1324 \text{ мм и } a'_2 = h + b_2 = 222 + 1324 = 1566 \text{ мм},$$

$$\delta_1 = a_2 - a'_2 = 1574 - 1566 = +8 \text{ мм}.$$

Поскольку разность δ_1 оказалась более 4 мм (4 мм — величина расхождения, допустимая для нивелиров технической точности), то центр сетки вращением ее исправительных винтов надо переместить на отсчет 1574 мм. У нивелира НС-4, например, исправительные винты сетки находятся под крышкой 6 (см. рис. 67).

Поверки нивелира НЛС

1. *Ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.*
2. *Вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси нивелира.*

Приведенные две поверки производятся аналогично соответствующим поверкам нивелиров с компенсаторами (см. стр. 151).

3. *При горизонтальном положении визирной оси высотный штрих должен совпадать со средней горизонтальной нитью сетки.*

Поверка производится двойным нивелированием одной и той же линии (см. § 41). В результате вычисляют ошибку x по формуле

$$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2},$$

где b_1 и b_2 — отсчеты по высотному штриху при наведении средней горизонтальной нити сетки на отсчеты по рейкам, соответственно равные высотам i_1 и i_2 инструмента.

При $|x| > 2$ мм вычисляют отсчет $b'_2 = b_2 - x$. Вращением наводящего винта уровня высотомера устанавливают высотный штрих на вычисленный отсчет по рейке. После этого исправительными винтами уровня приводят его пузырек в нуль-пункт.

4. *Коэффициент дальности должен быть равен 2,5; 5 или 10.*

Поверка и юстировка этого условия выполняется в мастерской.

§ 41. ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ НИВЕЛИРОВ С ЦИЛИНДРИЧЕСКИМИ УРОВНЯМИ

В результате поверок и юстировок нивелиров с цилиндрическими уровнями должно быть соблюдено основное геометрическое условие: *визирная ось и ось цилиндрического уровня должны быть параллельны* (рис. 84).

Если это условие выполнено, то после приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт визирная ось займет горизонтальное положение.

Поверки и юстировки нивелиров НТ, Н-3, НВ-1

1. *Поверка круглого (установочного) уровня: ось круглого уровня должна быть параллельна оси нивелира.*

Поверка выполняется аналогично соответствующей поверке нивелиров с компенсаторами (см. § 40). Юстировка производится исправительными винтами круглого уровня, которыми пузырек перемещается по направлению к нуль-пункту на половину дуги отклонения. Так, у нивелиров Н-3 и НВ-1 вращают винты соответственно 14 и 11 (см. рис. 74 и 75).

2. Проверка правильности установки сетки нитей: вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси нивелира.

См. соответствующую поверку нивелиров с компенсаторами (§ 40).

3. Проверка основного геометрического условия: визирная ось и ось цилиндрического уровня должны быть параллельны.

Проверка производится двойным нивелированием одной и той же линии в прямом и обратном направлениях. Для этой цели линию

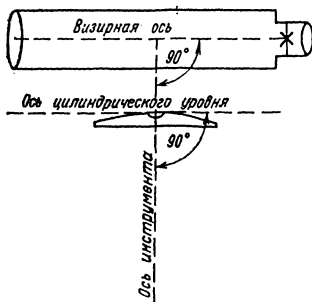
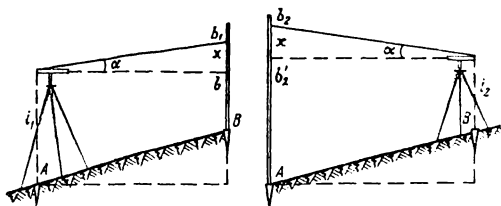


Рис. 84. Главное условие уровенных нивелиров

Рис. 85. Проверка главного условия уровенных нивелиров



длиной 50—70 м закрепляют кольями. Устанавливают нивелир над точкой A (рис. 85), приводят ось прибора в отвесное положение при помощи круглого уровня, измеряют высоту нивелира i_1 и производят отсчет b_1 по рейке, установленной в точке B .

Высота нивелира измеряется с точностью до 2 мм при помощи стальной рулетки или рейки. В последнем случае на колышек в точке установки инструмента ставят отвесно рейку (рис. 86), надевают на объектив колпачок с отверстием в центре, поворачивают трубу окуляром к рейке и, глядя через отверстие колпачка, вводят в поле зрения острень карандаша, которым делают метку на рейке. Высота прибора будет равна отсчету по рейке от ее пятки до карандашной метки.

Переставляют местами нивелир и рейку, определяют высоту прибора i_2 на точке B и производят отсчет по рейке b_2 в точке A .

Вычисляют ошибку x , возникающую из-за несоблюдения основного условия, по формуле

$$x = \frac{b_1 + b_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}. \quad (\text{VI.2})$$

Если величина $|x| = 4$ мм, то условие выполнено. В противном случае, действуя элевационным винтом 9, 3, 3 соответственно нивелиров НТ, Н-3, НВ-1 (см. рис. 73, а, 74, а, 75), наводят среднюю нить сетки на отсчет по рейке, вычисляемый по формуле

$$b'_2 = b_2 - x, \quad (\text{VI.3})$$

после чего вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня, находящимися под крышкой в торцевой части коробки уровня (см. например, 5 на рис. 74, а), совмещают изображение концов половинок пузырька уровня.

Для контроля действия повторяют.

Пример.

$$b_1 = 1732 \text{ мм}, \quad i_1 = 1278 \text{ мм};$$

$$b_2 = 1246 \text{ мм}, \quad i_2 = 1724 \text{ мм}.$$

$$x = \frac{1732 + 1246}{2} - \frac{1278 + 1724}{2} = -12 \text{ мм}.$$

Так как величина x получилась более 4 мм, то вычисляют правильный отсчет по формуле (VI.3)

$$b'_2 = 1246 - (-12) = 1258 \text{ мм}.$$

На этот отсчет устанавливают центр сетки вращением элевационного винта, после чего вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня приводят пузырек его в контакт.

Описанная поверка может быть также выполнена способом, изложенным на стр. 152.

Поверки нивелира Н-2

1. Поверки круглого (установочного) уровня: ось круглого уровня должна быть параллельна оси прибора.

2. Поверка установки сетки нитей: вертикальная нить сетки должна быть параллельна оси нивелира.

Первая и вторая поверки выполняются так же, как и у нивелиров НТ и Н-3.

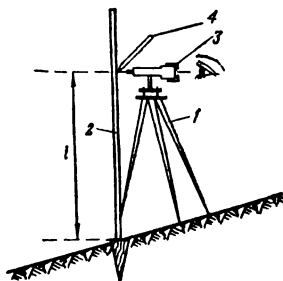


Рис. 86. Измерение высоты нивелира

1 — нивелир; 2 — рейка; 3 — колпачок с отверстием; 4 — карандаш; i — высота нивелира

3. Проверка цилиндрического контактного уровня включает два условия: а) отвесные плоскости, проходящие через ось уровня и визирную ось трубы, должны быть параллельны; б) угол i (проекция на отвесную плоскость угла, образованного осью цилиндрического уровня и визирной осью трубы) должен быть менее $20''$.

Пункт «а» третьей поверки выполняется следующим образом. Производят предварительную установку прибора по круглому уровню. Устанавливают трубу по направлению одного из подъемных винтов, приводят пузырек цилиндрического уровня в контакт и производят отсчет по рейке, расположенной в 50—70 м от нивелира. Вращением в разные стороны (на несколько оборотов) двух подъемных винтов, расположенных перпендикулярно к линии визирования, наклоняют нивелир. При этом следят, чтобы отсчет по рейке не изменился, и замечают положение половинок концов пузырька уровня. Приводят нивелир в исходное положение и убеждаются в том, что отсчет по рейке не изменился. Действуя теми же подъемными винтами, наклоняют нивелир в другую сторону, сохраняя неизменным отсчет по рейке. Если при наклонах нивелира изображение концов половинок уровня оставалось в контакте или расходилось в одну сторону, то условие выполнено. Если изображение расходилось в разные стороны, то исправление производят боковыми исправительными винтами цилиндрического уровня. Вращать винты надо до тех пор, пока при наклонах прибора изображение половинок пузырька будет в контакте либо расходится в одну сторону. По мере того как один боковой исправительный винт ввинчивают, другой, противоположный, надо вывинчивать, следя за тем, чтобы выступ оправы уровня был плотно зажат между этими винтами.

Пункт «б» третьей поверки выполняется методом двойного нивелирования одной и той же линии длиной 50 м по правилам, изложенным в § 41.

Концы линии закрепляют кольями, в торцы которых забивают гвозди с полусферическими головками.

Значение угла i вычисляют по формуле

$$i = \frac{(v_1 + v_2) - (a + b) \rho''}{2d},$$

где v_1 и v_2 — высоты инструмента, измеренные до мм; a и b — отсчеты по рейкам в мм; d — расстояние между кольями в мм; $\rho'' = 206265''$.

Отсчеты a и b по рейкам производят по средней нити сетки без использования биссектора отсчетного барабана. Последний должен быть предварительно установлен на отсчет 50.

Определение угла i выполняют не менее трех раз. Расхождение между полученными значениями i не должны превышать $4''$.

Пример определения угла i приведен в табл. 40.

№ прие- мов	№ точек	Высота инстру- мента и, мм	Отсчеты		Отсчеты и, мм	$(v_1 +$ $+v_2) -$ $-(u_1 +$ $+u_2)$	Угол i
			штрих	нить			
	1 2	1496,0 1568,0	34,3 26,7	5 2	1717,5 1336,0	3064,0 3053,5 <u>+10,5</u>	$i_1'' = +21^{\circ},6$
2	2 1	1426,0 1408,0	24,0 32,4	2 6	1201,0 1623,0	2834,0 2824,0 <u>+10,0</u>	$i_2'' = +20^{\circ},6$
3	1 2	1417,0 1446,0	33,1 23,8	8 6	1659,0 1193,0	2863,0 2852,0 <u>+11,0</u>	$i_3'' = +22^{\circ},6$
$i_{cp}'' = 21^{\circ},6$							

Для уменьшения угла i нужно навести биссектор сетки нитей при помощи элевационного винта 3 (см. рис. 76, а) на отсчет u_2' по рейке, равный

$$u_2' = u_2 + \frac{di''}{\rho''} = 1193 + \frac{50\,000 \cdot 21,6''}{206\,265''} = 1197,8 \text{ мм.}$$

Затем вертикальными исправительными винтами цилиндрического уровня совмещают изображение концов половинок его пузырька.

Для контроля действия повторяют.

Геометрическое нивелирование может производиться также при помощи теодолитов. Для этой цели линия визирования устанавливается в горизонтальное положение по значению места нуля (см. § 20). Если для производства геометрического нивелирования труба нивелира снабжена цилиндрическим уровнем, то предварительно выполняют поверку параллельности визирной оси и оси уровня при трубе двойным нивелированием одной и той же линии (см. § 41), а затем юстировку согласно указаниям на стр. 155.

§ 42. ПРИБОРЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОМ, ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ И БАРОМЕТРИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ

Приборы тригонометрического нивелирования

Для тригонометрического нивелирования применяют теодолиты, описанные в § 15.

Чтобы получить превышение методом тригонометрического нивелирования, требуется определить значение угла наклона линии визирования к горизонту и расстояние между нивелиру-

емыми точками. Угол наклона измеряют при помощи вертикального круга теодолита (см. § 21), а расстояние может быть измерено непосредственно, например при помощи мерной ленты (см. § 24), но чаще всего его измеряют при помощи дальномеров (см. § 26). В последнем случае могут применяться нивелирные рейки либо специальные дальномерные (см. § 64). По значениям угла наклона и расстояниям искомое превышение получают при помощи специальных таблиц (см. § 43).

В настоящее время находят широкое применение тахеометры. Они являются повторительными оптическими теодолитами, позволяющими отсчитывать превышения и горизонтальные расстояния по дальномерной рейке в поле зрения трубы. Эти приборы используются при производстве тахеометрической съемки и описаны в § 64.

Приборы гидростатического нивелирования

Гидростатические высотомеры находят широкое применение в строительной практике при решении различных инженерных задач: монтаже фундаментов под промышленное оборудование,

при строительстве самостечных канализационных коллекторов, исследовании деформаций гидротехнических сооружений, изучении сдвижения горных пород и др.

Преимущество гидростатического нивелирования перед другими видами нивелирования ощутимо в условиях отсутствия прямой видимости либо в стесненных условиях строительства.

Гидростатические высотомеры бывают различные по конструкции и точности получаемых результатов. Ниже описан прибор НШТ-1 (рис. 87), который применяется для измерения превышений в пределах ± 200 мм. Он состоит из двух измерительных головок 1 и 2, соединенных гибким резиновым шлангом 3. Длина шланга 10 м, внутренний диаметр — 9 мм.

Измерительная головка состоит из стеклянного цилиндра 4, заключенного в металлическую оправу 5. На цилиндр нанесена

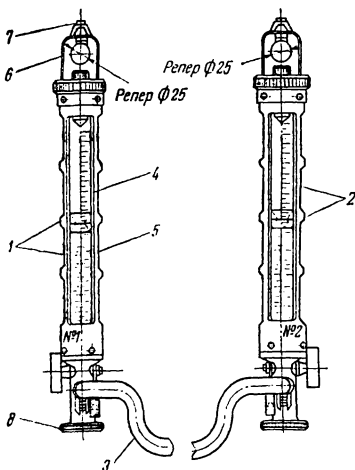


Рис. 87. Гидростатический высотомер (НШТ-1)

миллиметровая шкала. Металлическая оправа стеклянных сосудов в верхней своей части оканчивается рамкой 6, в которой помещена двусторонняя опорная пятка 7. В зависимости от расположения нивелируемой точки к ней приставляется верхняя или нижняя плоскость опорной пятки. Плоская пятка 8 служит для установки прибора на нивелируемой поверхности.

В зависимости от способа нивелирования средняя квадратическая погрешность измерения превышения нивелиром, НШТ-1 колеблется в пределах $0,6 \div 2,0$ мм.

Приборы барометрического нивелирования

Барометр-анероид (рис. 88) является основным прибором, применяемым при барометрическом нивелировании. Главной частью барометра-анероида является гофрированная герметическая коробочка, из которой выкачан воздух. Поверхность этой коробочки воспринимает изменения атмосферного давления.

Колебания верхней крышки коробочки через систему рычагов и пружин передаются стрелке, по концу которой производят отсчет по шкале анероида.

Внутри барометра-анероида вмонтирован термометр для определения температуры прибора.

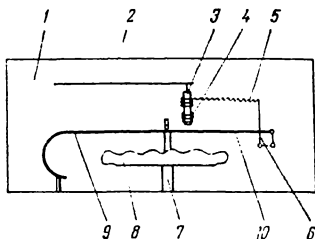


Рис. 88. Схема устройства анероида

1 — корпус; 2 — стрелка; 3 — вал; 4 — спиральная контрпружина; 5 — цепочка; 6 — система рычагов; 7 — стойка; 8 — гофрированная герметическая коробочка; 9 — пружина; 10 — стержень

Б. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ПРЕВЫШЕНИЙ

§ 43. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ ПРИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ

Подготовка нивелиров для наблюдений

Подготовка нивелиров для наблюдений состоит из двух действий: 1) приведения оси прибора в отвесное положение и 2) установки трубы для наблюдений.

Приведение оси прибора в отвесное положение производится при помощи круглого уровня (предварительная установка нивелира). Выверенный нивелир прикрепляют к головке штатива становым винтом. Действуя ножками штатива, устанавливают его головку на глаз в горизонтальное положение. Затем при помощи подъемных винтов приводят пузырек круглого уровня в нуль-пункт.

Произведенная таким образом предварительная установка нивелиров с компенсаторами обеспечивает достижение расчетного угла компенсации, в пределах которого линия визирования устанавливается горизонтально.

При работе с уровненными нивелирами необходимо вращением элевационного винта совместить концы половинок пузырька цилиндрического уровня, после чего производить отсчет по рейке.

Установка трубы для наблюдений выполняется по правилам, изложенным в § 18.

Измерение превышений

Ниже рассмотрена методика измерения превышений при нивелировании IV класса и техническом.

Превышения при геометрическом нивелировании измеряют чаще всего по способу «из середины» (рис. 89), при этом пользуются формулой

$$h = a - b, \quad (VI.5)$$

где h — превышение; a , b — отсчеты соответственно по задней и передней рейкам. Если, например, $a = 2368$ и $b = 1756$ мм, то $h = 2368 - 1756 = +512$ мм.

Порядок работы на станции (месте установки прибора) зависит от класса нивелирования и способа контроля отсчетов по рейкам на станции.

Контроль на станции

ГОСТ 11158—76 предусматривает изготовление нивелирных реек РН-3 и РН-10 двусторонними, при этом дополнительная шкала рейки (красная сторона) должна иметь цену деления 10 мм или величину, кратную ей (50 мм).

Однако указанный ГОСТ был введен только с 1 января 1977 г., а до этого времени действовавший ГОСТ 11158—65 предусматривал для нивелирования IV класса и технического изготовления односторонних реек и, кроме того, реек, красная сторона которых имела 11-миллиметровые деления. В соответствии с изложенным ниже рассмотрены способы контроля отсчетов на станции применительно к различному устройству реек.

Основными способами контроля отсчетов являются применение двусторонних реек и перемена горизонта инструмента.

Применение двусторонних реек. Если на красной стороне реек деления сантиметровые, то превышение, полученное по красным сторонам, должно быть равно превышению полученному по черным сторонам.

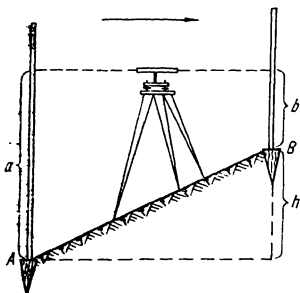


Рис. 89. Нивелирование «из середины»

Отсчеты, совмещенные с пятками красных сторон двух реек одного комплекта, различаются на 100 мм. При работе такими рейками превышения, полученные на соседних станциях по обоим сторонам реек при правильном их чередовании, должны попеременно отличаться друг от друга на +100 и —100 мм.

Если на красной стороне реек деления одиннадцатимиллиметровые, то превышение, полученное по красным сторонам, надо умножить на коэффициент 1,1.

Например,

$$a_{\text{чрн}} = 1426 \text{ мм}, b_{\text{чрн}} = 1024 \text{ мм},$$

$$a_{\text{кр}} = 1968 \text{ мм}, b_{\text{кр}} = 1685 \text{ мм},$$

тогда

$$h_{\text{чрн}} = a_{\text{чрн}} - b_{\text{чрн}} = 1426 - 1024 = \\ = +402 \text{ мм},$$

$$h_{\text{кр}} = a_{\text{кр}} - b_{\text{кр}} = 1968 - 1605 = +363 \text{ мм},$$

$$h_{\text{кр}} = 363 \cdot 1,1 = +399 \text{ мм}; \quad \Delta h = 3 \text{ мм}.$$

Перемена горизонта и инструмента. Этот способ контроля применяется при работе с односторонними рейками. При его применении превышения на станции получают дважды. Перед повторным определением превышения меняют горизонт инструмента. Для этой цели надо изменить высоту нивелира не менее чем на 1 дм.

Допустимое расхождение между превышениями при любом способе контроля не должно быть более 4—5 мм.

Отсчеты по рейкам производят при отвесном их положении. Для этой цели рейки для нивелирования IV и более высоких классов снабжены круглым уровнем; в момент отсчета его пузырек должен быть на середине. Рейки, предназначенные для технического нивелирования, не имеют уровней. Для получения отсчета при отвесном положении реек их следует во время отсчета покачивать в плоскости визирования симметрично относительно вертикального положения (рис. 90). Наименьший отсчет соответствует перпендикулярному положению рейки к линии визирования.

Если отсчет меньше 1000 м, то рейку не покачивают.

Работа на станции при нивелировании IV класса

Устанавливают нивелир на равных расстояниях от реек и приводят его в рабочее положение.

Наводят трубу на черную сторону задней рейки и производят отсчеты (1), (2) по верхней и средней нитям (табл. 41).

Наводят трубу нивелира на черную сторону передней рейки и производят отсчеты (3), (4) по верхней и средней нитям.

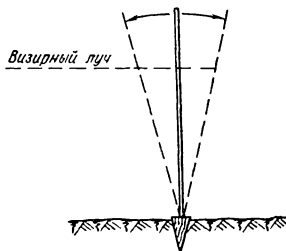


Рис. 90. Покачивание рейки

Журнал нивелирования IV класса

Дата: 24 июля 1977 г.

Погода: ясно, слабый ветер

Начало: 7 ч 10 мин

Конец: 7 ч 28 мин

Нивелир НВ-1 № 507

Рейки двусторонние

№ станции № знака	Дальнейшие расстояния до задних и передних реек	Отсчеты по рейке, мм		Превышения, мм	Средние превышения, мм
		задний	передний		
$\frac{1}{\text{№ 001—1}}$	380 (7)	216 (1)	541 (3)		
	368 (8)	596 (2)	909 (4)	—313 (11)	—312 (14)
		5 283 (6)	5 695 (5)	—412 (12)	
		4 687 (9)	4 786 (10)	+99 (13) *	
$\frac{2}{1—2}$	321	444	652		
	320	765	972	—207	
		5 552	5 659	—107	—207
		4 787	4 687	—100	
$\frac{3}{2—3}$	301	227	406		
	305	528	711	—183	
		5 215	5 498	—283	—183
		4 687	4 787	+100	
$\frac{4}{3—4}$	281	890	1 186		
	283	1 171	1 469	—298	
		5 958	6 158	—200	—299
		4 787	4 689	—98	
Контроль- ные вычисления	2549 (19)	23 568 (15)	25 571 (16)	—2 003 (17)	—1001 (18)
		25 571		—10 015 (22)	
		—2 003 (20)			
		—10 015 (21)			

* Чертование знаков равенности (11) — (12) — (13) означают чертование реек задняя — передняя. отан :я 1—4 говорит о

Наводят трубу нивелира на красную сторону передней рейки и производят отсчет (5) по средней нити.

Наводят трубу на красную сторону задней рейки и делают отсчет (6) по средней нити.

Перед каждым отсчетом приводят пузырек уровня в нуль-пункт.

При работе нивелирами, имеющими компенсатор, выполняется только предварительная установка инструмента по круглому уровню.

Отсчеты по верхней нити по черным сторонам реек производят для определения дальномерных расстояний от нивелира до реек.

Для нашего примера эти расстояния будут:

до задней рейки (2) — (1) = (7),

до передней рейки (4) — (3) = (8).

Неравенство плеч составит $2 [(7) - (8)] = 2 (380 - 368) = 24$ мм. Здесь разность удвоена, так как отсчеты выполнены между средней и крайней, а не по двум крайним нитям сетки.

При коэффициенте дальномера, равном 100, неравенство плеч составит 2,4 м. Для нивелирования IV класса неравенство плеч не должно превышать 5 м.

После выполнения на станции всех отсчетов по рейкам производят контрольные вычисления.

Вычисляют разность нулей черной и красной сторон реек: (6) — (2) = (9), (5) — (4) = (10) и (10) — (9) = (13). Значение (13) не должно отличаться от разности нулей, полученной при исследовании реек, более чем на ± 3 мм.

Вычисляют превышение по черным (4) — (2) = (11) и красным (5) — (6) = (12) сторонам реек.

Так как разность в подписях пятков реек + 99, то среднее превышение составит значение (14).

После окончания всех вычислений на данной станции нивелир переносят на следующую и производят действия в указанном выше порядке.

На каждой странице журнала (на странице помещаются записи результатов 3—4 станций) производят постраничный контроль вычисления превышений. Порядок производства контроля показан цифрами в скобках.

Работа на станции при техническом нивелировании

Устанавливают нивелир на равных расстояниях от реек (равенство расстояний определяется на глаз) и приводят его в рабочее положение.

Наводят трубу на красную сторону задней рейки и производят отсчет (1) (табл. 42) по средней нити.

Наводят трубу на красную сторону передней рейки и производят отсчет (2) по средней нити.

Поворачивают рейки черными сторонами к наблюдателю производят отсчеты (3) по передней и (4) по задней рейкам.

Производят отсчет (5) по рейке, установленной на промежуточной точке.

Производят контроль наблюдений, для чего находят значения превышений (6) и (7) соответственно по красной и черной сторонам реек. Разность превышений не должна превышать 5 мм. Если это условие выполнено, то вычисляют среднее превышение (8).

После заполнения страницы журнала производят постраничный контроль. Порядок вычислений показан цифрами в скобках.

Кыргыз Республикасынын Ички иштер министрлиги

Результаты

№ отчета о выполнении задания	№ задания по плану	Средства на задание, млн			Продукция, млн		Средние показатели, млн, мес		Годовой выпуск, млн	Сумма, в млн руб.
		на начало года	на конец года	в среднем	на начало года	на конец года	в среднем			
1	Рез- тат	5 260							160,230	
	ПК 0	845					384		149,846	
2	ПК 0	6 423 (1) 1 737 (4)							150,583 (10)	149,846
	+78 ПК 1	6 011 (2) 1 327 (3)	1926 (5)		412 (6) 410 (7)	411 (8)			148,657 (11) 150,257 (9)	
3	ПК 1	5 719 0 933							151,190	150,257
	+66 ПК 2	6 544 1 760	1256				826		149,934 149,431	
Контроль- ные вычисления	20 612	22 209 -1 597 -7 985 (12)	822	2419 1597 7985 (13)	411	1210 799 (14)			-799	

Определение превышений нивелиром НЛС

Устанавливают инструмент приблизительно посередине между нивелируемыми точками и приводят его в рабочее положение при помощи круглого уровня.

Визируют на заднюю рейку, определяют расстояние (1) по дальномеру, наводят среднюю горизонтальную нить сетки на какую-либо ее точку n , соответствующую, например, отсчету 1500 (2), приводят пузырек уровня высотомера в нуль-пункт и производят отсчет a_1 (3) против высотного штриха (табл. 43).

Для контроля визируют на другую точку 1600 (4) рейки и берут отсчет a_2 (5).

Т а б л и ц а 43

Журнал технического нивелирования инструментом НЛС

№ стан- ций	№ ин- стеров	Отсчеты по рейке.			4 ($n_a - n_b$)	Превышения, мм	
				b		5 ($a - b$)	h
2	2	1520 (1)	1500 (2)	2835 (3)	+2,00 (11)	+11,260 (12)	+13,268
			1600 (4)	2915 (5)		+11,275 (13)	
			2000 (7)	0583 (8)			
		1620 (6)	2100 (9)	0660 (10)			

Контроль выполняют по формуле

$$(a_2 - a_1) = 0,8 (n_2 - n_1).$$

В том же порядке производят наблюдение на переднюю рейку (6), (7), (8), (9) и (10) и выполняют контроль

$$(b_2 - b_1) = 0,8 (n_2 - n_1).$$

Допустимое расхождение ± 3 мм.

Превышение определяют по формуле

$$h = k(a - b) - (k - 1)(n_a - n_b).$$

В рассматриваемом примере коэффициент $k = 5$.

Порядок вычислений ясен из рассмотрения табл. 43.

§ 44. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ ПРИ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ

Определение превышений теодолитом

Устанавливают теодолит на штативе, центрируют над точкой А (рис. 91), приводят ось прибора в отвесное положение и измеряют высоту i прибора при помощи рулетки с точностью

Наблю-дае-мые точки	Отсчеты						Место нуля МО
	по нитяному дальномеру	по горизон-тальному кругу	по вертикальному кругу			среднее из минут	
			верньеры				
			I		II		
			c				

Станция I,							
Ст II	126,6 (1)	231° 15' (2)	2	КП 35,0	35,0 (3)	35,0 (5)	0° 00',5 (7)
			357	КЛ 26,0			

1 см (высоту прибора измеряют от верха колышка до горизонтальной оси трубы).

На рейке делают метку на высоте прибора, измеряют высоту рейки и устанавливают ее в точке *B*.

Наводят среднюю нить сетки на метку рейки, сделанную на высоте прибора (если по условиям местности оказалось, что

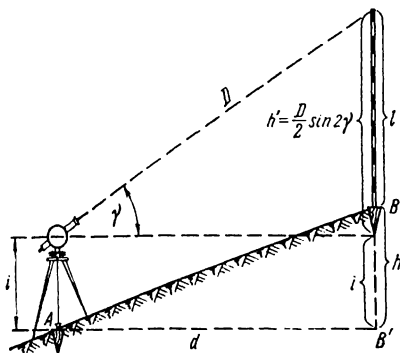


Рис. 91. Тригонометрическое нивелирование

метка не видна, то наводят среднюю нить на высоту рейки), производят отсчет по дальномерным нитям (см. § 26) и вычисляют наклонное расстояние (*l*) (табл. 44).

Приводят пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину и производят отсчеты (3)—(6) по вертикальному кругу для вычисления места нуля (7) и угла наклона (8) (см. § 21).

Вычисляют превышения *h* по формулам:

а) при визировании на высоту рейки

$$h = \frac{D}{2} \sin 2v + i - l + f, \quad (VI.6)$$

ческого нивелирования

Углы наклона γ	Горизон- тальные расстояния $d = D \cos^2 \gamma$	Превышения $h' = \frac{D}{2} \sin 2\gamma$	Вы- сота визи- рова- ния, l	$l - l$	Прс- выше- ния $h = h' + l - l$	Отметки		При- меча- ние
						стан- ции	рееч- ных точек	
$i = 1,47$								
$+2^\circ 34',5$ (8)	126,4 (9)	+5,69 (10)	3,00	-1,53	+4,16			

где D — наклонное расстояние, определенное при помощи даль-
номера по формуле $D = K\ell + c$; ν — угол наклона линии визи-
рования к горизонту; f — поправка за кривизну Земли и рефрак-
цию; K — коэффициент дальномера; c — постоянное слагаемое
дальномера;

б) при визировании на метку рейки, сделанную на высоте
инструмента

$$= \frac{D}{2} \sin 2\nu.$$

Для облегчения вычислений превышений пользуются табли-
цами превышений, составленными А. С. Никулиным, В. Н. Гань-
шинным, Л. С. Хреновым и другими авторами.

Пр и м е р. Наклонное расстояние $D = 126,6$ м и угол на-
клона $\nu = 2^\circ 34,5'$ (табл. 45). Вычисления по таблицам превы-
шений ведут в следующем порядке.

Таблица 45

126 м	$2^\circ 34'$	5,64 м
0,6 м		0,03 м
	0,5'	0,02 м
126,6 м	$2^\circ 34,5'$	+5,69 м

Находят страницу таблицы, содержащую значения заданных
наклонного расстояния и угла наклона. Для рассматриваемого
примера это будет страница, приведенная в приложении 1.

Находят значение превышения, соответствующее целому числу
метров и целому числу минут. Это значение получают на пере-
сечении столбца, подписанного 126 м, и строки, соответствующей
углу $2^\circ 34'$. Превышение равно 5,64 м.

Находят поправку на 0,6 м из средней интерполяционной таблички. В левой части таблички даны десятые доли метра, а в правой — поправки в сотых долях метра. В нашем примере на 0,6 м поправка равна 0,03 м.

Интерполяционные таблички берутся из той же части страницы таблиц, из которой выбрано превышение.

Определяют поправку на 0,5'. Для этого сначала находят в столбце $D = 126$ м табличную разность между значениями превышений, приходящимися на $v = 2^\circ 34'$ и $v = 2^\circ 36'$. Эта разность равна 7. Ей соответствует нижняя интерполяционная табличка, из которой находят значение поправки, равное 0,02 м.

В результате получают искомое превышение h' (см. табл. 45).

Знак превышения h' соответствует знаку угла наклона.

Значение горизонтального проложения d линии находят из таблицы, помещенной в нижней части этой же страницы, интерполируя между значениями 126 и 127 м. Табличное значение угла наклона берут ближайшее к заданному. В данном случае это значение будет $2^\circ 30'$.

Порядок вычисления превышения h показан в табл. 44.

Если визирование выполняют не на высоту инструмента, то необходимо учесть разность высот инструмента i и рейки l .

§ 45. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ ПРИ ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ И БАРОМЕТРИЧЕСКОМ НИВЕЛИРОВАНИИ

Определение превышений при гидростатическом нивелировании

Пусть требуется определить превышение между точками A и B . Устанавливают измерительные головки 1 и 2 нивелира соответственно в точках A и B (рис. 92) и производят отсчеты c_1 и c_2 , а после перестановки измерительных головок соответственно c'_2 и c'_1 .

Превышение определяют по формуле

$$h = \frac{(c_2 - c_1) - (c'_2 - c'_1)}{2}.$$

При $c_1 = 83$ мм и $c_2 = 28$ см, $c'_1 = 29$ мм и $c'_2 = 82$ мм получим

$$h = \frac{(28 - 83) - (82 - 29)}{2} = -\frac{108}{2} = -54 \text{ мм.}$$

Если превышение определяют без перестановки сосудов, то его находят по формуле

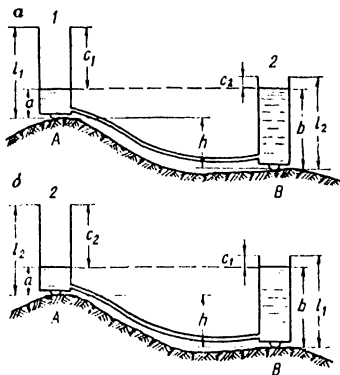
$$h = c_2 - c_1 - MO,$$

где МО — место нуля, которое для данной пары сосудов является величиной постоянной и определяется согласно формуле

$$\text{МО} = \frac{(c_2 - c_1) + (c'_2 - c'_1)}{2}. \quad (\text{VI.8})$$

Рис. 92. Схема гидростатического нивелирования с перестановкой сосудов

a — в прямом и b — в обратном направлениях; 1 и 2 — номера сосудов



Для тех же значений отсчетов c_1 и c_2 будем иметь

$$\text{МО} = \frac{(28 - 83) + (82 - 29)}{2} = -1 \text{ мм}$$

$$h = 28 - 83 - (-1) = -54 \text{ мм.}$$

Определение превышений и производство работ при барометрическом нивелировании

Для определения превышений при барометрическом нивелировании можно воспользоваться сокращенной гипсометрической формулой

$$h = H_2 - H_1 = 18470 \left[1 + 0,0037 \left(\frac{t_1 + t_2}{2} \right) \right] (\lg B_1 - \lg B_2), \quad (\text{VI.9})$$

где H_1 , H_2 — высоты первой и второй точек; 18470 — постоянный коэффициент; 0,0037 — температурный коэффициент; t_1 , t_2 — температура воздуха в точках 1 и 2, B_1 и B_2 — давление воздуха в этих же точках, определяемое по ртутным барометрам.

Барометрическое нивелирование выполняется не ртутными барометрами, а anerоидами. Поэтому показания A anerоида приводят к показаниям B ртутного барометра по формуле

$$B_0 = A + a + bA + C(760 - A), \quad (\text{VI.10})$$

где a — добавочная поправка; t_A — температура анероида; b — температурный коэффициент; C (760— A) — поправка шкалы.

Значения приведенных поправок и температурного коэффициента имеются в паспорте анероида.

Барометрическое нивелирование производят различными способами. Наиболее простым является способ нивелирования одним анероидом по замкнутому маршруту. Маршрут прокладывают с таким расчетом, чтобы вернуться на исходную точку через 2—3 часа.

Наблюдения производят в начальной точке маршрута, на всех характерных точках рельефа и вновь повторяют на исходной точке.

На каждой точке (станции) измеряют температуру t воздуха, температуру t_A анероида, высоту инструмента над точкой местности и отсчитывают показания A анероида.

Полученные данные записывают в журнал барометрического нивелирования (табл. 46).

Т а б л и ц а 46

	Время наблюдения	Температура		Показа- ния ане- роида A , мм	Высота инстру- мента, м	Поправки ан
		анероида t_A	воздуха t			
1	9 ч 55 мин	17,8°	17,1°	746,8	1,2	Анероид № 4615 $a = +4,0$ мм $b = -0,1$ $\gamma = C(760 - A)$ 750—0,5 740—0,4
2	10 15	18,0	17,4	745,3	1,2	
3	10 55	18,4	17,6	744,6	1,3	
4	11 20	19,9	18,0	745,1	1,3	
5	11 50	19,2	18,2	748,3	1,4	
6	12 15	19,7	18,4	746,9	1,3	
1	12 50	20,1	18,8	746,6	1,3	

Обработка наблюденных значений с целью получения отметок станций выполняется в специальной ведомости (табл. 47).

В графы 1—5 вписывают данные из соответствующих граф журнала барометрического нивелирования (см. табл. 46). Графу 6 заполняют на основании значений поправок, имеющих в аттестате анероида, приведенных в том же журнале. Вводя полученную в графе 6 суммарную поправку, переходят от показаний анероида к показаниям ртутного барометра (графа 7) согласно формуле (VI.10). Из графы 7 следует, что давление воздуха за время 2 ч 48 мин в начальной точке изменилось на —0,5 мм.

Полагая, что давление воздуха менялось пропорционально времени, во все показания барометра вводят поправки. После введения поправок получают исправленные показания ртутного барометра и записывают их в графе 8.

По данным графы 8, пользуясь таблицами барометрического нивелирования, составленными проф. А. С. Чеботаревым, находят приблизительные альтитуды (высоты) и записывают их в графу 9.

Таблица 47

№ точек	Время измерений	Температура		Показания анемометра А, мм	Суммарная поправка $a + b_1 A + v$	Показания анемометра B_0	Исправленные показания анемометра B_0	Прибыльные высоты H , м	Средняя температура воздуха $\frac{t + t_{+1}}{2}$	Разности прибыльных высот $h = H_{i+1} - H_i$	Поправка за температуру	Исправленная разность высот h , м	Отметка H_A , м	Высота анемометра над точкой, м	Отметка точки H , м	Округленные отметки, м
		анемометра A	воздуха													
1	9 ч 55 мин	17,8°	17,1°	746,8	+1,8	0,0	748,6	149,9	17,2°	+16,9	+0,2°	+17,1	149,9	1,2	148,7	149
2	10 15	18,0	17,4	745,3	+1,7	748,6 +0,1	747,1	166,8	17,5	+6,8	+0,1	+6,9	167,0	1,2	165,8	166
3	10 55	18,4	17,6	744,6	+1,7	747,0 +0,2	746,5	173,6	17,8	-5,6	-0,1	-5,7	173,9	1,3	172,6	173
4	11 20	18,9	18,0	745,1	+1,7	746,3 +0,2	747,0	168,0	18,1	-13,6	-0,1	-13,7	168,2	1,4	166,8	167
5	11 50	19,2	18,2	746,3	+1,6	746,8 +0,3	748,2	154,4	18,3	-7,9	-0,1	-8,0	154,5	1,3	153,2	153
6	11 15	19,7	18,4	746,9	+1,6	747,9 +0,4	748,9	146,5	18,6	+3,4	0,0	+3,4	146,5	1,3	145,2	145
1	12 50	20,1	18,8	746,6	+1,5	748,5 +0,5	748,6	149,9	18,6			+3,4	149,9	1,2	148,7	149

$+27,1 + 0,3$
 $-27,1 - 0,3$

 $0,0 \quad 0,0 \quad 0,0$

$748,1$
 $-748,6$

 $-0,5$

12 50
10 08

2 ч 48 мин

(Правила пользования таблицами имеются в предисловии к таблицам.)

В графе 10 подсчитывают среднюю для двух соседних станций температуру воздуха и в графу 11 записывают разности приближенных высот. Так как ход замкнутый, то сумма разностей высот (сумма превышений) должна быть равна нулю.

Пользуясь таблицами поправок за температуру воздуха, помещенными в тех же барометрических таблицах, по значениям средней температуры и превышений находят поправки и записывают их в графу 12.

Порядок последующих вычислений ясен из рассмотрения табл. 47

§ 46. РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Расчет точности геометрического нивелирования

Пусть превышение h определено согласно выражению (VI.5)

$$h = a - b,$$

где a , b — отсчеты (взгляды) соответственно по задней и передней рейкам.

Если m_a и m_b — средние квадратические погрешности взглядов по передней и задней рейкам, то погрешность m_h в определении превышения составит

$$m_h = \sqrt{m_a^2 + m_b^2}. \quad (\text{VI.11})$$

Полагая $m_a = m_b = m_{\text{взг}}$, будем иметь

$$m_h = m_{\text{взг}} \sqrt{2} \quad (\text{VI.12})$$

Основными погрешностями, влияющими на погрешность взгляда по рейке, будут следующие.

1. Средняя квадратическая погрешность $m_{\text{в.о}}$ установки визирной оси трубы в горизонтальное положение, определяемая из соотношения:

а) для нивелиров с компенсаторами

$$m_{\text{в.о}} = \frac{m_{\text{у.к}}}{\rho} S, \quad (\text{VI.13})$$

где $m_{\text{у.к}}$ — средняя квадратическая погрешность установки компенсатора; S — расстояние от нивелира до рейки (в мм).

Величина $m_{\text{у.к}}$ у приборов, предназначенных для нивелирования III—IV классов, составляет 0,4—0,6".

Если $S = 100$ м, то

$$m_{\text{в.о}} = \frac{0,6'' \cdot 100\,000 \text{ мм}}{206\,265''} = \pm 0,3 \text{ мм};$$

б) для уровенных нивелиров

$$m_{в.о} = \frac{m_{ур}''}{\rho''} S, \quad (VI.14)$$

где $m_{ур}$ — средняя квадратическая погрешность установки пукзырька уровня в нуль-пункт; S — расстояние от нивелира до рейки (в мм).

Согласно исследованиям, $m_{ур} = 0,1 \tau$, где τ — цена деления уровня.

Если $\tau = 20''$ $S = 100$, то

$$m_{в.о} = \frac{20'' \cdot 100\,000 \text{ мм}}{206\,265} \approx \pm 1 \text{ мм.}$$

2. Средняя квадратическая погрешность $m_{о.р}$ собственно отсчета по рейке. Ее значение можно получить по формуле

$$m_{о.р} = \pm \left(0,136 \frac{S}{v} + 0,0292t \right), \quad (VI.15)$$

где S — расстояние от нивелира до рейки (в м), v — увеличение зрительной трубы; t — цена деления рейки в мм.

При $S = 100$ м, $v = 30\times$ и $t = 10$ мм

$$m_{о.р} = \pm \left(0,136 \frac{100}{30} + 0,0292 \cdot 10 \right) \cong \pm 1 \text{ мм.}$$

3. Средняя квадратическая погрешность отсчета $m_{р.т}$, зависящая от разрешающей способности трубы, действующая пропорционально расстоянию и равная

$$m_{р.т} = \frac{60''}{v\rho''} S, \quad (VI.16)$$

где обозначения прежние.

При $v = 30\times$ и $S = 100$ м

$$m_{р.т} = \frac{60'' \cdot 100\,000 \text{ мм}}{30 \cdot 206\,265''} \cong \pm 1 \text{ мм.}$$

4. Допустимая случайная погрешность в положении дециметровых делений рейки

$$\Delta_{дел} = \pm 1 \text{ мм}$$

или

$$m_{дел} = \pm 0,5 \text{ мм.} \quad (VI.17)$$

Полагая, что перечисленные погрешности действуют независимо друг от друга, среднюю квадратическую погрешность взгляда получим из выражения

$$m_{взг} = \sqrt{m_{в.о}^2 + m_{о.р}^2 + m_{р.т}^2 + m_{дел}^2}. \quad (VI.18)$$

* См. Ф. Н. Красовский и В. Д. Данилов. Руководство по высшей геодезии, ч. I, вып. 2. Аналогичная формула получена Л. А. Башлавыным.

Подставив числовые значения погрешностей в формулу (VI.18) и учитывая выражение (VI.12), будем иметь

$$m_h = 2\sqrt{2} \approx \pm 3 \text{ мм.}$$

Такова средняя квадратическая погрешность собственно превышения. Она получена по значениям погрешностей (VI.14—VI.17) применительно к нивелированию IV класса.

При расстоянии от нивелира до рейки, равном $S = 100$ м, на один километр хода будет приходиться 5 станций, тогда

$$m_{\text{км}} = m_{\text{ст}} \sqrt{5} = 3 \text{ мм} \sqrt{5} = \pm 7 \text{ мм.}$$

Предельная невязка хода длиной 1 км составит

$$\text{доп } f_h \leq 3m_{\text{км}} \leq \pm 21 \text{ мм,} \quad (\text{VI.20})$$

а при длине хода L км

$$\text{доп } f_h \leq 21 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (\text{VI.21})$$

что соответствует требованиям, предъявляемым результатам нивелирования IV класса.

Расчет точности тригонометрического нивелирования

Из рассмотрения формулы (VI. 6) следует, что на точность определения превышений тригонометрическим способом влияют погрешности измерения расстояния D , угла наклона ν , высоты инструмента и визирного знака l , а также определения поправки f за кривизну Земли и рефракцию.

Высоты инструмента и визирного знака могут быть измерены с предельно малыми погрешностями. Значением поправки за кривизну Земли и рефракцию можно пренебречь для расстояний до 300 м.

Дифференцируя выражение (VI.6) по переменным D и ν и переходя к средним квадратическим погрешностям, получим

$$\text{ин}^2 2\nu m_D^2 + D^2 \cos^2 2\nu \frac{m_\nu^2}{S^2}.$$

После незначительных преобразований, полагая по малости угла ν , что $\cos 2\nu = \cos^2 \nu$, и имея в виду, что $d = D \cos^2 \nu$, будем иметь

$$m_h^2 = h^2 \left(\frac{m_D}{D} \right)^2 + d^2 \left(\frac{m_\nu}{\rho} \right)^2 \quad (\text{VI.22})$$

Первое слагаемое правой части формулы (VI.22) при малых углах наклона мало по сравнению со вторым слагаемым * и им можно пренебречь, тогда

$$m_h = d \frac{m_\nu}{\rho}. \quad (\text{VI.23})$$

* См., например, М. А. Гириберг, Геодезия. М., Недра, 1967.

Так, например, при $d = 100$ м и $m_v = \pm 0,5'$ средняя квадратическая погрешность превышения составит

$$m_h = 10\,000 \frac{0,5'}{3438} \approx \pm 1,5 \text{ см.}$$

Очевидно, это значение m_h будет возрастать пропорционально расстоянию d .

Примерное содержание лабораторных занятий с нивелирами

1. Устройство нивелиров с компенсаторами.
2. Устройство уровенных нивелиров.
3. Устройство нивелирных реек.
4. Производство отсчетов по рейкам.
5. Производство и изучение поверок нивелиров *.
6. Определение превышений между точками.
7. Вычисление отметок точек.

Дополнительные вопросы

1. Исследование нивелирных реек.
2. Исследование цены деления цилиндрического уровня.
3. Исследование величины угла i у точных нивелиров.
4. Определение превышений гидростатическими нивелирами.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните устройство нивелиров Н-3, НТ и Н-10Л и взаимодействие их частей.
2. Объясните устройство нивелиров НС-4, Н-3К, НТСК, Н-10КЛ и взаимодействие их частей.
3. Назовите типы реек и поясните их устройство.
4. Назовите поверки нивелирных реек.
5. Сформулируйте основное условие, предъявляемое к нивелирам с цилиндрическими уровнями.
6. Поясните понятие «угол компенсации».
7. Назовите основное условие, предъявляемое к нивелирам с компенсаторами.
8. Изложите порядок поверок и юстировок нивелиров Н-3 и НТ.
9. Как производятся поверки и юстировки нивелиров с компенсаторами?
10. Какой порядок действий при установке нивелиров в рабочее положение?

* Производятся поверки нивелиров, выполнение которых возможно в лабораторных условиях. Изучается порядок поверки главного условия нивелиров.

11. В каком случае и для какой цели надо покачивать нивелирные рейки перед отсчетом?

12. Какие способы контроля отсчетов по рейкам применяют при геометрическом нивелировании?

13. Какова точность отсчета по рейкам при нивелировании IV класса и техническом?

14. Какой порядок работы на станции при нивелировании IV класса?

15. Какой порядок работы на станции при техническом нивелировании?

16. Для какой цели производят постраничный контроль при обработке журнала геометрического нивелирования?

17. Как вычисляют отметки промежуточных точек?

18. Какими приборами, кроме нивелиров, можно производить нивелирование горизонтальным лучом?

19. Какими приборами производят тригонометрическое нивелирование?

20. Изложите идею тригонометрического нивелирования.

21. В чем состоит идея гидростатического нивелирования?

22. Поясните устройство приборов для гидростатического нивелирования.

23. В чем состоит идея барометрического нивелирования?

24. Какие приборы применяют при барометрическом нивелировании?

Раздел 3

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

Глава VII

ГОСУДАРСТВЕННЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ СГУЩЕНИЯ

§ 47. СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ГОСУДАРСТВЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЯХ И СЕТЯХ СГУЩЕНИЯ

Сведения о государственных геодезических сетях, геодезических сетях сгущения, их назначении и методах построения, составе с последовательности работ по их развитию изложены в главе X учебника; сведения о методах точных геодезических измерений в кратком виде даны в главах VI, VII и VIII.

Программа лабораторных занятий по геодезии на строительных специальностях не предусматривает выполнения заданий по данному разделу, а потому ниже приводятся только таблицы (табл. 48, 49, 50) с основными показателями государственных геодезических сетей и сетей сгущения как справочные данные. Глава VII осуществляет логическую связь в изложении материала.

Глава VIII

ПЛАНОВОЕ СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

§ 48. ВИДЫ ПЛАНОВОГО СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

Основными видами планового съемочного обоснования являются теодолитные ходы и съемочные триангуляционные сети (микротриангуляция). Типовые схемы построения теодолитных ходов приведены ниже.

1. Разомкнутый теодолитный ход, опирающийся на две стороны высшего класса (рис. 93).

2. Замкнутый теодолитный ход с опорой на один исходный пункт и заданное исходное направление (дирекционный угол, рис. 94).

3. Сеть ходов, опирающихся на исходные данные и образующих одну узловую точку a (рис. 95).

Государственные плановые геодезические сети

Показатели	Триангуляция				ПолYGONометрия			
	1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.	1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.
Длины сторон, км	20 и более	7—20	5—8	1—5	20—25		3	0,25—2,0
Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по невязкам треугольников или замкнутых фигур)	$\pm 0,7''$	$\pm 1,0''$	$\pm 1,5''$	$\pm 2,0''$	$\pm 0,4''$	$\pm 1,0''$	$\pm 1,5''$	$\pm 2,0''$
Относительная средняя квадратическая погрешность измерения базисной стороны	1 400 000	1 300 000	1 : 200 000	100 000				
Средняя квадратическая погрешность измерения сторон полигонометрического хода					1 300 000	250 000	200 000	100 000
Средняя квадратическая погрешность определения астрономического азимута	$\pm 0,5''$	$\pm 0,5''$			$\pm 0,5''$	$\pm 0,5''$		
Предельные значения невязок треугольников	3''	4''	6''	8''				

Государственные высотные геодезические сети

Погрешн	Класс нивелирования			
				IV
Средняя квадратическая случайная погрешность на 1 км хода η , мм	$\pm 0,5$	$\pm 2,0$	$\pm 5,0$	$\pm 10,0$
Систематическая погрешность на 1 км хода δ , мм	0,05	0,4		
Допустимая невязка в полигоне или ходе (между реперами нивелирования высшей точности), мм, L — число км в ходе или полигоне		$5\sqrt{L}$	$10\sqrt{L}$	$20\sqrt{L}$

Т а б л и ц а 50

Геодезические сети сгущения

			Полigonометри- ческие сети (теодолитные ходы)		
	разряды		разряды		
	1	2	1	2	
Средняя квадратическая погрешность изме сняя угла	$\pm 5''$	$\pm 10''$	$\pm 5''$	$\pm 10''$	
Средняя квадратическая погрешность выходных (базисных) сторон	1 50 000	1 20 000			
Относительная средняя квадратическая погрешность измерения сторон в полигонометрических сетях			1 10 000	1 5000	
Допустимые невязки полигонометрических ходов			1 10 000	1 5000	—
Предельные значения невязок треугольников	20"	40"			
Допустимые невязки в полигонах и ходах технического нивелирования (между реперами нивелирования высшего класса)					50 $\sqrt{L}$ мм (L — число км в ходе или полигоне)

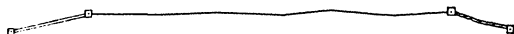


Рис. 93. Разомкнутый теодолитный ход

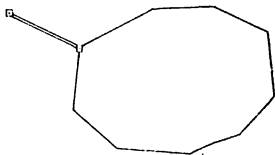


Рис. 94. Замкнутый теодолитный ход, опирающийся на одну исходную точку

Рис. 95. Сеть теодолитных ходов с одной узловой точкой

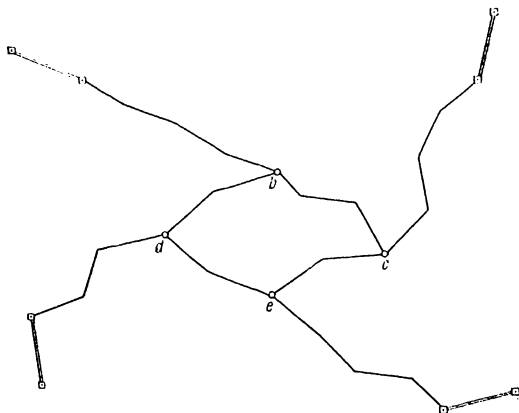
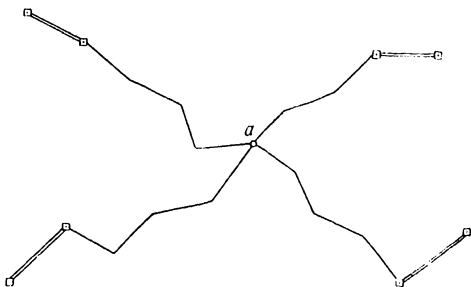


Рис. 96. Система теодолитных ходов с четырьмя узловыми точками

4. Система ходов, опирающихся на исходные данные с несколькими узловыми точками (b, c, d, e , рис. 96).

5. Свободная сеть теодолитных ходов (сеть без опоры на исходные данные) с двумя узловыми точками f и g (рис. 97).

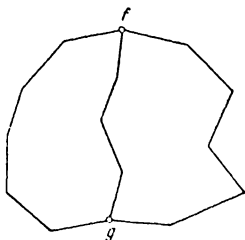


Рис. 97. Свободная сеть
литных ходов

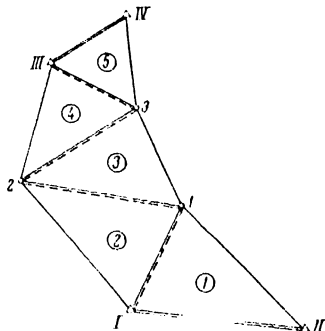


Рис. 98. Цепь треугольников

Аналитические сети обычно имеют вид цепей треугольников, построенных между двумя сторонами триангуляции или полигонометрии (рис. 98). Допускаются также свободные аналитические сети, опирающиеся на две базисные стороны, азимуты которых определены астрономическим методом (см. § 80 учебника) или при помощи гиротеодолита (см. § 75 учебника).

§ 40. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТЕЙ ПЛАНОВОГО СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

Сети планового съемочного обоснования должны удовлетворять двум основным условиям:

1) густота и расположение пунктов обоснования должны отвечать требованиям, вытекающим из них назначения; если эти пункты предназначаются служить основой для топографических съемок, то их густота зависит от метода съемки, ее масштаба и указывается в инструкции; если съемочное обоснование развивается для решения инженерно-геодезических задач, то расположение и густота пунктов подчиняются условиям наилучшего решения этих задач; некоторые случаи оптимального расположения сетей съемочного обоснования приведены в § 79 практикума;

2) точность определения положения пунктов съемочного обоснования (или каких-либо иных элементов его) должна соответствовать условиям, вытекающим из существа задачи, в связи с выполнением которой осуществляется развитие сети.

Принципы и методы расчета основываются на сведениях, изложенных в гл. IV и формулах § 34 учебника.

Обычно при этом возникает задача: какова должна быть максимальная протяженность теодолитного хода (или цепи треугольников), чтобы погрешность в положении пункта хода (цепи) в наиболее слабом месте не превышала заданной величины?

Если ход опирается на две исходные стороны, то с наибольшей погрешностью определяется пункт, расположенный в середине хода. Потребуем, чтобы абсолютная погрешность в положении этого пункта на плане не превышала точности графического построения, т. е. была не более 0,2 мм на плане в заданном масштабе. Так как после уравнивания хода эта погрешность уменьшится вдвое (см. формулу (V.23) в учебнике), то в данном ходе можно допустить невязку $f = 2 \cdot 0,2 \text{ мм} = 0,4 \text{ мм}$, что соответствует на местности

$$f = 0,4 \text{ мм } M, \quad (\text{VIII.1})$$

где M — знаменатель численного масштаба плана.

Из формулы (VIII.1) и формулы относительной невязки (см. § 83 учебника).

$$\frac{f}{P} = \frac{1}{N}$$

имеем

$$P = 4MN \cdot 10^{-4} \text{ м.} \quad (\text{VIII.2})$$

Формула (VIII.2) определяет максимальную длину хода, продолженного между исходными пунктами, для заданных масштаба плана и предельно допустимой относительной невязки $\frac{1}{N}$. Так, для плана масштаба $1 : 500$ и $\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$ по формуле (VIII.2) получим

$$P = 4 \cdot 500 \cdot 2000 \cdot 10^{-4} = 400 \text{ м.}$$

Для той же допустимой относительной невязки и масштаба $1 : 1000$ имеем

$$P = 4 \cdot 1000 \cdot 2000 \cdot 10^{-4} \text{ м} = 800 \text{ м.}$$

Приведенные соображения и расчет справедливы и для замкнутого полигона; исходный для вычисления пункт и дирекционный угол стороны можно рассматривать одновременно и примычными.

В принципе при построении съемочного обоснования методом триангуляции расчет может производиться аналогично. Отличие заключается в применении иных формул (см. формулу (V.38) и (V.39) учебника), в ином законе накопления погрешностей в ряде; погрешности триангуляционных сетей не всегда задаются в относительной мере.

Упомянутая формула учебника (V.38) имеет вид

$$m_L = m_Q = \frac{\mu d}{2\rho} \sqrt{\frac{(n-1)(2n-1)n}{9}} + 1 \quad (\text{VIII.3})$$

или упрощенно

$$m_L = m_Q = \frac{\mu L}{3\rho} \sqrt{2n}. \quad (\text{VIII.4})$$

Имея в виду, что согласно формуле (IV.45) учебника

$$m = \mu \sqrt{\frac{1}{P}},$$

можно написать

$$m_L = m_Q = \mu \sqrt{\frac{1}{P}}$$

и

$$\frac{1}{P} = \frac{d^2}{4\rho'^2} \left[\frac{(n-1)(2n-1)n}{9} + 1 \right],$$

где μ — погрешность единицы веса; $\rho' = 3438'$ Полное смещение m конечной точки будет

$$m = \sqrt{m_L^2 + m_Q^2} = m_L \sqrt{2}$$

и относительная погрешность $\frac{m}{L}$, где $L = \frac{n d}{2}$.

Для приближенных расчетов точности при построении съёмочного обоснования в виде цепей треугольников в табл. 51 на основании приведенных выше формул даны значения погрешностей в положении пунктов относительно начального пункта, зависимость числа треугольников n от начала цепи для длин сторон $d = 100, 50$ и 150 м. Как следует из формулы (VIII.4), относительная погрешность $\frac{m}{L}$ при одинаковом числе треугольников и разных средних длинах сторон будет одинаковой.

Т а б л и ц а 51

	$d = 100 \text{ м}$					$d = 50 \text{ м}$		$d = 150 \text{ м}$	
		$m_{L, Q}$	$m = m_{L, Q} \sqrt{2}$	L		$L, \text{ м}$	$m, \text{ м}$	$L, \text{ м}$	$m, \text{ м}$
4	457	0,023	0,033	200	6100	100	0,015	300	0,049
5	225	0,033	0,047	250	5300	120	0,024	375	0,071
6	125	0,045	0,063	300	4700	150	0,032	450	0,095
8	50	0,071	0,100	400	4000	200	0,050	600	0,150
10	25	0,100	0,142	500	3500	250	0,071	750	0,213
12	14	0,134	0,189	600	3200	300	0,095	900	0,284
15	7	0,189	0,268	750	2800	375	0,134	1125	0,402
20	3	0,295	0,418	1000	2400	500	0,209	1500	0,626

При погрешности исходной стороны 1 10 000 и исходного дирекционного угла менее $20''$ влияние указанных погрешностей на положение пунктов цепи будет практически пренебрегаемым, поэтому они и не учтены.

Если цепь треугольников имеет на обоих концах исходные стороны (базисы), то длину цепи приближенно можно рассматривать как сумму двух независимых половинных ее частей; тогда

$$= m_{\frac{L}{2}}^2 + m_{\frac{L}{2}}^2 = 2m_{\frac{L}{2}}^2$$

$$m_L = m_{\frac{L}{2}} \sqrt{2}.$$

Аналогичное рассуждение будет справедливо и для поперечной погрешности ряда.

Пример. Определить продольную, поперечную и относительную погрешности ряда, состоящего из 20 треугольников, имеющего на концах исходные стороны и дирекционные углы конечных сторон. Средняя длина стороны $d = 100$ м; средняя квадратическая погрешность измерения угла $\mu = 0,5'$

Решение. Для средней точки ряда, рассматривая ее определенную с одной стороны, т. е. полагая $n = 10$, из табл. 51 получаем

$$m_L = m_Q = \pm 0,10 \text{ м}; \quad m = \pm 0,14 \text{ м}.$$

Полная погрешность всего ряда ($n = 20$) с учетом исходных данных на его концах определится как $\pm 0,14 \sqrt{2} = \pm 0,20$ м, или $\frac{1}{5000}$, т. е. почти в два раза менее погрешности ряда той же протяженности, но с исходными данными на одном его конце ($\pm 0,42$ м и $\frac{1}{2400}$).

При развитии съёмочного обоснования методом триангуляции нередко возникает задача определения погрешности стороны a треугольника, отстоящего от исходной стороны b на n треугольников. Тогда согласно формуле (III.22) искомая погрешность выразится так:

$$m_{\text{иг } a} = \sqrt{m_{\text{иг } b}^2 + \frac{2}{3} m_{\beta}^2 \sum_1^n (\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2)},$$

где числовое выражение $(\delta_A^2 + \delta_A \delta_B + \delta_B^2)$ выбирается для каждого треугольника по аргументам — связующим углам A и B из табл. 12.

Если сторона a расположена в цепи, на концах которой имелись исходные стороны, то погрешность этой стороны после уравнивания можно рассматривать как погрешность среднего

весаго определения стороны с двух концов ряда, т. е. согласно формуле (IV.46) учебника

$$m_{lg a} = \frac{p_1 m_{lg a_1} + p_2 m_{lg a_2}}{p_1 + p_2}$$

$$m_{lg a} = \frac{m_{lg a_1} m_{lg a_2}}{\sqrt{m_{lg a_1}^2 + m_{lg a_2}^2}},$$

где $m_{lg a_1}$, $m_{lg a_2}$ — погрешности стороны, вычисленные независимо от обоих концов ряда.

От погрешности в логарифмических единицах легко перейти к относительной погрешности

$$\frac{m_a}{a} = \frac{m_{lg a}}{10^6 M},$$

где $m_{lg a}$ выражена в единицах 6-го знака логарифма; $M = 0,43429$ — модуль десятичных логарифмов.

В табл. 52 приведены некоторые данные о точности и густоте планового съемочного обоснования, регламентируемые инструкцией Госстроя СН—212—73.

Т а б л и ц а 52

	Масштабы съемок			
	500	1000	2000	5000
Геодезические ходы				
Допустимые максимальные длины ходов, км:				
на застроенных территориях	0,8	1,2	2	4
на незастроенных территориях	1,2	1,8	3	6
2. Допустимые относительные невязки	1 : 2000	1 : 2000	1 : 2000	1 : 2000
3. Допустимые абсолютные невязки, м:				
в ходах длиной до 250 м	—	—	0,25	0,25
в ходах длиной до 150 м	0,10	0,15	—	—
4. Допустимые угловые невязки	1' $\sqrt{n}$	1' $\sqrt{n}$	1' $\sqrt{n}$	1' $\sqrt{n}$
Микротриангуляция				
Допустимое максимальное число треугольников между базисами сети	10	15		20
2. Минимальные длины сторон треугольников, м	150	150	150	150
3. Минимальные углы в треугольниках	20°	20°	20°	20°
4. Допустимые угловые невязки	1,5'	1,5'	1,5'	1,5'

§ 50. УРАВНИВАНИЕ СИСТЕМЫ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ С ОДНОЙ УЗЛОВОЙ ТОЧКОЙ

На рис. 99 изображена система теодолитных ходов с одной узловой точкой, опирающихся на исходные данные — пункты геодезической сети высшего класса (II, IV, VI), для которых известны координаты и дирекционные углы направлений по сторонам II—I, IV—III и VI—V.

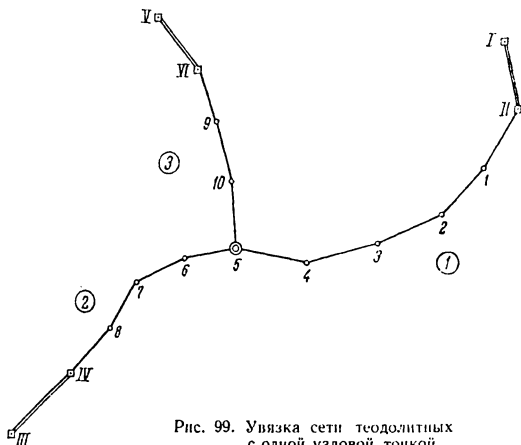


Рис. 99. Увязка сети теодолитных с одной узловой точкой

Для такой системы ходов общая схема и порядок уравнивания будут следующими.

1. Определение вероятнейшего значения дирекционного угла одной из сторон в узловой точке (см. рис. 99, сторона 4—5).
2. Вычисление и распределение угловой невязки в каждом ходе между исходным пунктом и узловой точкой.
3. Установление вероятнейшего значения координат узловой точки (в примере — точки 5), как среднего весового из определений их по отдельным ходам.
4. Уравнивание отдельных ходов между исходными пунктами и узловой точкой; окончательное вычисление координат точек всех ходов.

Для указанной в качестве примера на рис. 99 системы ходов вычисления выполняют в следующем порядке (табл. 53 и 54).

1. Вычисление по каждому ходу дирекционного угла линии 4—5 по формуле

$$\alpha_{4-5} = \alpha_{II} + 180^\circ n - \sum \beta_n, \quad (VII.5)$$

Таблица 53

№ вер- шин	Измеренные углы	Исправлен- ные углы	Дирекцион- ные углы	Длины линий, м	Приращения координат, м						Координаты, м			
					вычисленные		исправленные		Δx	Δy	Δx	Δy	10	11
					Δx	Δy	Δx	Δy						
Х о д 1														
I	-0,1'		164 25,0											
II	138 50,0	138 49,9	205 35,1	156,62	+1	-5	-141,25	-67,69	+5644,18	+4982,06				
3	169 31,5	169 31,3	216 03,8	198,16	+1	-6	-160,17	-116,71	+5502,93	+4914,37				
2	-0,2'	152 12,8	243 51,0	205,89	+2	-8	-90,72	-184,90	+5342,76	+4797,66				
3	173 18,5	173 18,4	250 32,6	164,25	+1	-5	-54,69	-154,92	+5252,04	+4612,76				
4	-0,1'	150 19,0	280 12,7	186,48	+1	-6	+33,07	-183,59	+5197,35	+4457,84				
5	150 20,0				+33,06	-183,53			+5230,42	+4274,25				

$$\begin{array}{r} -413,82 \\ -413,76 \end{array} \quad \begin{array}{r} -707,51 \\ -707,81 \end{array}$$

№ вершин	Измеренные углы	Исправленные углы	Дирекционные углы	Длины линий, м	Исправления координат, м						Координаты, м	
					вычисленные		исправленные					
					Δx	Δy	Δx	Δy	Δx	Δy	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		

Ход 2

III			45° 43,0'									
IV	-0,3' 181 18,5	181 18,2	44 24,8	184,16	+6 +131,55	+128,88	+4	+128,92	+131,61	+128,92	+4830,57	+3693,33
8	-0,4' 191 13,0	191 12,6	33 12,2	195,88	+6 +163,90	+107,26	+4	+107,30	+163,96	+107,30	+4962,18	+3822,25
7	-0,4' 144 15,0	144 14,6	68 57,6	201,92	+7 +72,48	+188,46	+5	+188,51	+72,55	+188,51	+5126,14	+3929,55
6	-0,3' 170 26,0	170 25,7	78 31,9	159,33	+5 +31,68	+156,15	+4	+156,19	+31,73	+156,19	+5198,69	+4118,06
5 4	-0,3' 158 19,5	158 19,2	100 12,7		+399,61	+580,75					+5230,42	+4274,25

$$\begin{aligned} \Sigma \beta_n & 845 \ 32,0 & 741,29 & (100^\circ 11,0') & +399,85 & +580,92 \\ \Sigma \beta_r & 845 \ 30,3 & & & f_1 = -0,24 \text{ м} & f_2 = -0,17 \text{ м} \\ f_B & = +1,7' & & & f = \sqrt{0,0865} = \pm 0,29 \text{ м} & \frac{f}{\rho} = \frac{1}{2600} \end{aligned}$$

Х о д 3

V	+0,5'	160° 22,2'						
V	159 14,0	181 07,7	202,12	-8 -202,08	+2 -1,96	-202,16	-1,94	+5749,12 +4338,91
9	+0,5'	178 24,5	149,24	-7 -149,07	+1 -7,06	-149,14	-7,05	+5546,96 +4336,97
20	+0,4'	164 18,2	176,35	-7 -167,33	+1 -55,68	-167,40	-55,67	+5397,82 +4329,92
6 4	+0,4'	278 11,0	100 12,7					+5230,42 +4274,25

$\Sigma \beta_n$ 780 0,7
 $\Sigma \beta_r$ 780 09,5
 $f_B = -1,8$

(100° 14,5') 527,71

$$\begin{aligned}
 \bar{f}_x &= \frac{-518,48}{-518,70} = -0,22 \text{ м} & \bar{f}_y &= \frac{-64,70}{-64,66} = -0,04 \text{ м} \\
 f &= \pm \sqrt{0,05} = \pm 0,22 \text{ м}; & \frac{f}{p} &= \frac{1}{2400}
 \end{aligned}$$

	Значения дирек- ционных α , углов			
1	280° 12,0'	5	4	48,0
2	280 11,0	5	4	44,0
3	280 14,5	4	5	72,5
α_{4-5}	280 12,7		13 [p]	164,5 [p α]

где α_n — дирекционный угол исходной (начальной) стороны;
 $\sum \beta_n$ — сумма правых по ходу измеренных углов; n — числ
 углов хода,

$$\alpha'_{1-5} = 164^\circ 25,0' + 180^\circ \cdot 5 - 784^\circ 13,0' = 280^\circ 12,0'$$

(величина этого дирекционного угла показана в скобках в графе 4).

2. Определение вероятнейшего значения дирекционного угла α_{4-5} как среднего весового из трех значений (см. учебник, формулу IV.46) по формуле

$$\alpha_{4-5} = \frac{p_1 \alpha_1 + p_2 \alpha_2 + p_3 \alpha_3}{p_1 + p_2 + p_3} = \frac{[p\alpha]}{[p]},$$

где p_1, p_2, p_3 — веса дирекционных углов, вычисленных по ка
 дому из ходов, определяемые из соотношений

$$p_1 = \frac{c}{n_1}; \quad p_2 = \frac{c}{n_2}; \quad p_3 = \frac{c}{n_3}.$$

Для удобства вычислений c принято равным 20; схема вычи-
 слений вероятнейшего значения α_{4-5} приведена в табл. 54.

3. Вычисление угловых невязок f_β по каждому из ходов [как
 разности между дирекционными углами, вычисленными по фор-
 мулам (VIII.5) и (VIII.6)] и определение их допустимости. На-
 пример, для хода 1 невязка будет равна (графа 4 табл. 53)

$$f_\beta = 280^\circ 12,7' - 280^\circ 12,0' = +0,7'$$

Полученная невязка f_β по ходу не превышает допустимой

$$\text{доп } f_\beta = \pm 1' \sqrt{n} = \pm 1' \sqrt{5} = \pm 2,2'$$

и ее распределяют поровну с обратным знаком между всеми углами
 хода (графа 2 табл. 53).

4. Вычисление дирекционных углов всех сторон ходов (графа 4)
 по исправленным углам (графа 3 табл. 53) и исходным дирекци-
 онным углам по формуле

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} + 180^\circ - \beta_{\text{испр.}}$$

5. Вычисление приращений координат по сторонам ходов по формулам

$$\Delta x = d \cos \alpha;$$

$$\Delta y = d \sin \alpha,$$

сумм $[\Delta x]$ и $[\Delta y]$ по каждому ходу (графы 6 и 7) и координат узловой точки 5 по формулам

$$\left. \begin{aligned} x &= x_{\text{исх}} + [\Delta x] \\ y &= y_{\text{исх}} + [\Delta y] \end{aligned} \right\} \quad (\text{VIII.7})$$

из ходов 1, 2, 3.

Например, по ходу 1 координаты точки 5 будут равны

$$x_1 = x_{11} + [\Delta x] = 5644,18 - 413,83 = 5230,36 \text{ м};$$

$$y_1 = y_{11} + [\Delta y] = 4982,06 - 707,51 = 4274,55 \text{ м}.$$

6. Вычисление вероятнейших значений абсциссы и ординаты узловой точки 5 по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3}{p_1 + p_2 + p_3} = \frac{[px]}{[p]} \\ y_0 &= \frac{p_1 y_1 + p_2 y_2 + p_3 y_3}{p_1 + p_2 + p_3} = \frac{[py]}{[p]} \end{aligned} \right\}, \quad (\text{VIII.8})$$

где веса p_1, p_2, p_3 определяются из соотношений

$$p_1 = \frac{1}{L_1}; \quad p_2 = \frac{1}{L_2}; \quad p_3 = \frac{1}{L_3};$$

L_1, L_2, L_3 — длины ходов.

Вычисления x_0 и y_0 выполнены в табл. 55.

Т а б л и ц а 55

№ ходов	Координаты м		Длины ходов L_i , км	Вес $p_i = \frac{1}{L_i}$		$p_i y_i$
1	5230,36	4274,55	0,9	1,1	0,40	0,60
2	5230,18	4274,08	0,7	1,4	0,25	0,11
3	5230,64	4274,21	0,5	2,0	1,28	0,42
$x_0 = 5230,42$		$y_0 = 4274,25$		4,5	1,93	1,13
				$[p]$	$[px]$	$[py]$

7. Вычисление невязок в координатах по каждому ходу как разностей координат точки 5, определенных по формулам (VIII.7) и (VIII.8).

Например, невязки в ходе 1 будут равны

$$f_x = 5230,36 - 5230,42 = -0,06 \text{ м};$$

$$f_y = 4274,55 - 4274,25 = +0,30 \text{ м}.$$

Величины невязок вписывают в табл. 53 (графы 6 и 7).
Допустимость невязок f_x и f_y устанавливается из условия

$$\frac{f}{L} \leq \frac{1}{2000},$$

где

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}.$$

8. Увязка приращений абсцисс и ординат по отдельным ходам (см. § 83 учебника): вычисленные невязки распределяются на приращения пропорционально длинам сторон (графы 8 и 9, табл. 53), после чего окончательно вычисляют координаты всех точек системы теодолитных ходов (графы 10 и 11).

Если система теодолитных ходов имеет две и более узловых точки, то общий порядок вычислений остается тот же; однако определение среднего всового значения дирекционных углов сторон и координат в узловой точке не может быть произведено сразу по формулам (VIII.6) и (VIII.8). В рассматриваемом случае для определения вероятнейших значений элементов узловых точек применяется способ последовательных приближений аналогично рассмотренному далее способу вычисления высот узловых точек. Способ описан в § 85 учебника, схема вычислений дана в табл. 59 практикума, в которой при увязке теодолитных ходов вместо измеренных превышений должны быть поставлены разности дирекционных углов и суммы приращений по двум осям координат.

§ 51 УПРОЩЕННОЕ УРАВНИВАНИЕ ЦЕПИ ТРЕУГОЛЬНИКОВ

На рис. 98 изображена цепь из пяти треугольников, опирающаяся на две стороны городской полигонометрии, координаты конечных точек которых заданы как исходные.

Указанные исходные данные приведены в табл. 56.

Таблица 56

№ пункт- тов	Дирекционн углы	На какой пункт	Длины линий, м	Координаты, м	
					y
I	97 19 12	IV	612,35	2482,46	4848,16
II	60 21 30			3364,61	4626,27
III					
IV			322,63		

Упрощенное уравнивание и окончательное определение координат вершин 1, 2 и 3 треугольников сети производится в следующем порядке (табл. 57).

№ треголь- ников	№ вер- шин	Измеренные углы	Поправка	Исправлен- ные углы	Синусы углов	Длины сторон, м	Поправка в длины сторон, м	Исправлен- ные стороны, м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	I	71 00 44	-30	71 00 14	0,94354	612,35		
	I	79 54 14	-30	79 53 44				
	II	39 06 31	-29	39 06 02	0,63006	408,44	+0,14	408,58
		$180 01 29$ $f_B = +1' 29''$						
3	2	40 38 21	+21	40 38 42	0,65137	408,44	+0,14	
	I	74 33 31	+21	74 33 52				
	I	64 47 06	+20	64 47 26	0,90476	567,33	+0,33	567,66
		$179 58 58$ $f_B = -1' 02''$						
4	3	81 27 41	+15	81 27 56	0,98893	567,33	+0,33	
	2	39 51 53	+15	39 52 08				
	I	58 39 41	+15	58 39 56	0,85415	490,01	+0,50	490,51
		$179 59 15$ $f_B = -45''$						
5	3	79 13 16	-10	79 13 06	0,98235	490,01	+0,50	
	III	58 39 51	-11	58 39 40				
	2	42 07 24	-11	42 07 14	0,67069	334,55	+0,61	335,16
		$180 00 31$ $f_B = +31''$						
5	VI	61 40 10	+24	61 40 34	0,88028	334,55	+0,61	335,16
	3	60 25 49	+29	60 26 12				
	III	57 52 51	+23	57 53 14	0,84700	321,90	+0,73	322,63
		$179 58 50$ $f_B = -1' 10''$						
						$\Sigma = -0,73 \text{ м}$ $[S] = 2122,23 \text{ м}$		

1. После выписки в графу 3 измеренных углов треугольников для каждого из них производится подсчет угловой невязки по формуле

$$I_{\beta} = \sum \beta - 180^{\circ},$$

установление ее допустимости согласно табл. 53 и распределение ее с обратным знаком поровну между углами треугольника (графа 5).

2. Вычисление по синусам исправленных углов и исходным сторонам длин сторон треугольников (графа 6), образующих ходовую линию (на рис. 98 обозначенную пунктиром).

Так, например, для первого треугольника (графа 7)

$$S_{1-11} = S_{1-11} \frac{\sin 11}{\sin 1} = 612,35 \text{ м} \frac{0,63069}{0,94554} = 408,44 \text{ м}.$$

3. Определение невязки w в длине конечной стороны треугольников по формуле

$$w = S_{\text{выч}} - S_{\text{и}}$$

и распределение ее по сторонам ходовой линии с обратным знаком прямо пропорционально удалению каждой стороны от начальной (I—II). Например, для стороны I—I поправка будет равна (графа 8)

$$\Delta S_1 = S_1 \frac{w}{|S|} = 408 \text{ м} \frac{0,73}{2122} = +0,14 \text{ м}.$$

Для стороны I—2 получим

$$\Delta S_2 = (S_1 + S_2) \frac{w}{|S|} = (408 \text{ м} + 567 \text{ м}) \frac{0,73}{2122} = +0,33 \text{ м},$$

для конечной стороны

$$\Delta S_3 = |S| \frac{w}{|S|} = 0,73 \text{ м}.$$

4. Определение угловой невязки по формуле

$$I_{\beta} = \sum \beta_n - 180^{\circ} n - (\alpha_{11-1} - \alpha_{111-1})$$

где $\sum \beta_n$ — сумма измеренных углов по ходовой линии дает значение I_{β} , равное $+50''$ (табл. 58, графа 2); распределение ее с обратным знаком поровну между углами и вычисление дирекционных углов сторон треугольников по ходовой линии. Допустимая невязка вычисляется по формуле $I_{\text{доп}} = 1' \sqrt{n}$, т. е. в данном случае она равна $2,2'$

5. По полученным дирекционным углам и исправленным длинам линий вычисляются приращения координат, их суммы (графы

Таблица 58

№ вершин	Измеренные углы	Исправлен- ные углы	Дирекцион- ные углы	Длины линий	Приращения координат, м		Координаты, м	
					Δx	Δy	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-10" 69 53 44	69 53 34	277 19 12	408,58	+15 +302,65	-12 +188,20	+2482,46	+4848,16
1	-10" 285 26 08	285 25 58	27 25 38	567,66	+20 +117,97	-17 -555,27	+2845,26	+5036,24
2	-10" 39 52 08	39 51 58	281 59 40	490,51	+18 +229,31	-13 +433,61	+2903,43	+4480,80
3	-10" 301 20 20	301 20 10	62 07 42	335,16	+11 +171,58	-10 -287,91	+3192,92	+4914,28
III IV	-10" 60 26 12	60 26 02	300 47 32 60 21 30		+881,51 +882,15	-221,37 -221,89	+3364,61	+4626,27

$$\sum \beta_n \quad 756^\circ 58' 32''$$

$$\sum \beta_r \quad 756 \quad 57 \quad 42$$

$$f_\beta = +50''$$

$$1801,91 \text{ м } f_x = -0,64 \text{ м } f_y = +0,52 \text{ м}$$

$$f = \pm 0,82 \text{ м}$$

$$\frac{f}{[S]} = \frac{1}{2200}$$

6 и 7) и невязки в приращениях по каждой из осей, которые в рассматриваемом примере равны

$$f_x = [\Delta x] - (x_{III} - x_I) = -0,64 \text{ м};$$

$$f_y = [\Delta y] - (y_{III} - y_I) = +0,52 \text{ м};$$

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \pm 0,82 \text{ м};$$

$$\frac{f}{[S]} = \frac{0,82}{1802} = \frac{1}{2200}.$$

Невязка допустима, если

$$\frac{f}{[S]} \leq \frac{1}{2000}.$$

6. Распределение невязок в приращениях координат и окончательное вычисление координат вершин треугольников по ходовой линии по способу, описанному выше.

Если съемочное обоснование, построенное методом триангуляции, образует систему цепей с одной или несколькими узловыми пунктами (треугольниками), то используется в принципе тот же порядок уравнительных вычислений, который заключается в выполнении следующих этапов вычислений.

1. Выбор «узловых фигур», состоящих из возможно меньшего числа треугольников, но таким образом, чтобы ряды между исходными и узловыми фигурами не имели общих треугольников. Узловые фигуры уравниваются обычно, т. е. их невязки распределяются с обратным знаком поровну на каждый угол треугольника. В дальнейшем углы узловых фигур считаются исходными.

2. «Установление» узловых фигур по масштабу, ориентировке и положению, т. е. определение по отдельности вероятнейших значений длин и дирекционных углов сторон и координат пунктов узловых фигур. Если в системе рядов имеется одна узловая фигура, то указанные ее элементы вычисляются как средние весовые — аналогично порядку, описанному для системы теодолитных ходов с одной узловой точкой. Для случая двух и более узловых фигур применяется метод последовательных приближений, описанный в § 53 для уравнивания высотных сетей (вместо превышений в данном случае будут участвовать разности длин сторон, разности дирекционных углов, разности абсцисс и ординат).

3. После установления узловых фигур уравнивание отдельных цепочек производится в порядке, изложенном выше.

ВЫСОТНОЕ СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

§ 52. ВИДЫ ВЫСОТНОГО СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ И РАСЧЕТЫ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕГО ПУНКТОВ

Высотное съемочное обоснование создается путем проложения ходов технического и геодезического нивелирования и в установленных случаях — мензульных ходов.

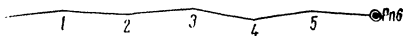


Рис. 100. Одиночный нивелирный ход

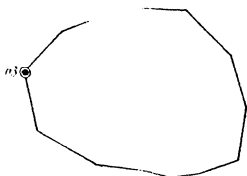


Рис. 101. Замкнутый нивелирный ход

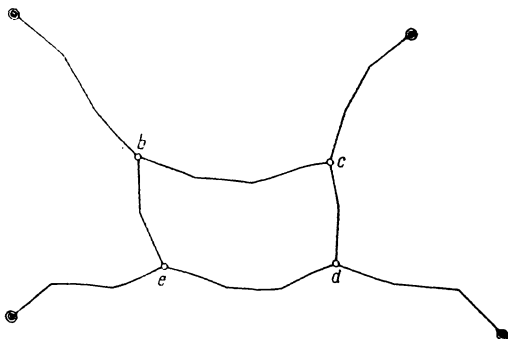


Рис. 102. Сеть нивелирных ходов с четырьмя узловыми точками

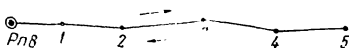


Рис. 103. Висячий нивелирный ход

Ходы технического и геодезического нивелирования обычно прокладываются по пунктам планового съемочного обоснования. По аналогии со схемами, изображенными на рис. 100—103, различают:

1) одиночный нивелирный ход, проложенный между двумя исходными точками с известными отметками (рис. 100);

2. замкнутый нивелирный ход, опирающийся на одну исходную точку (рис. 101);

3) сеть нивелирных ходов, опирающихся на исходные точки и образующих несколько узловых точек (*b, c, d, e*, рис. 102) и т. д.

В исключительных случаях допускаются «висячие» ходы, т. е. одиночные ходы, опирающиеся на одну исходную точку (рис. 103); в этом случае превышения определяются в прямом и обратном направлениях.

Согласно инструкции СН—212—73 при съемке местности с крутизной скатов до 2° погрешности высот точек, определенных по горизонтальям, не должны превышать $1/4$ принятой высоты сечения рельефа h , а при углах наклона от 2 до 6° для планов в масштабах $1 : 5000$ и $1 : 2000$ и до 10° для планов масштабов $1 : 1000$ и $1 : 500$ — $1/3 h$ (см. учебник § 87).

Невязки в ходах технического нивелирования допускаются в пределах $\pm 50 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — длина хода в километрах.

Для съемок с высотой сечения рельефа более 1 м отметки точек съемочного обоснования могут определяться геодезическим нивелированием; при этом длины отдельных ходов не должны превышать 2 км , а невязка хода — величины $\pm 200 \text{ мм} \sqrt{L}$.

§ 53. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНОЙ СЕТИ ПО СПОСОБУ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ ПРИБЛИЖЕНИЙ

На рис. 104 представлена схема нивелирных ходов с тремя узловыми точками 1, 2 и 3. Исходными пунктами являются реперы нивелирования старшего класса 20 (I), 48 (II), 104 (III)

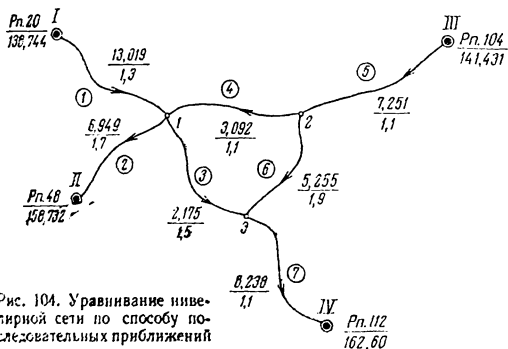


Рис. 104. Уравнивание нивелирной сети по способу последовательных приближений

и 112 (IV). Ходы пронумерованы последовательно вокруг каждой узловой точки; направления, в которых возрастают превышения, показаны на схеме стрелками. Рядом с каждым ходом выписана величина превышения и под ней — длина L в километрах.

Таблица 59

№ узловых точек	№ ход	№ исходных реперов и узлов	Отметки реперов и узловых точек, м	Измеренные превышения	Длина L, км	Весы				Примеч.				Поправки	РД*	Оценка точности
						7	8	9	10	11	12	13	14			
	1	20	138,744	+13,019	1,3	0,77	0,26	151,763	151,763	151,763	151,763	-5	19			
	2	48	158,732	-6,949	1,7	0,59	0,21	83	83	83	83	+15	132			
	3	3	153,922	-2,175	1,5	0,67	0,23	47	55	56	56	-12	96			
	4	2	148,682	+3,092	1,1	0,91	0,30	74	68	70	70	+2	4			
	5	104	141,431	+7,251	1,1	2,94	1,00	151,767	151,767	151,768	151,768	+4	14			
	4	1	151,767	-3,092	1,1	0,91	0,39	75	75	76	76	-2	2			
	6	3	153,922	-5,255	1,9	0,53	0,22	67	75	76	76	-2				
						2,35	1,00	148,676	148,678	148,678	148,678					
	7	112	162,160	-8,238	1,1	0,91	0,44	153,922	153,922	153,922	153,922	-9	74			
	6	2	148,676	+5,255	1,9	0,53	0,25	31	33	33	33	+2	1			
	3	1	151,767	+2,175	1,5	0,67	0,31	42	42	43	43	+12	1			
						2,11	1,00	153,930	153,931	153,931	153,931					

[РД*] = 341

$$m = \frac{\eta - v}{[v^2 d]} = \frac{4 - 1}{[9^2 d]} = \frac{3}{81d} = \frac{1}{27d}$$

Уравнительные вычисления производятся в следующем порядке (табл. 59).

1. Записывают в графы 1—3, 5, 6, таблицы взятые со схемы (см. рис. 104) номера узловых точек и ходов, превышения и длины ходов.

2. Выписывают в графу 4 отметки исходных реперов и предварительные отметки узловых точек, вычисленных от ближайших реперов. Например, для узловой точки 3 предварительная отметка H'_3 вычислена от репера 112

$$H'_3 = 162,160 \text{ м} - 8,238 \text{ м} = 153,922 \text{ м}.$$

Аналогично определяют предварительные отметки H'_1 и H'_2 .

3. Вычисляют веса p_i отметок узловых точек по отдельным ходам (графа 7)

$$p_i = \frac{1}{L_i},$$

а также приведенные веса p'_i (графа 8) по формуле

$$i = \frac{p_i}{[p]}.$$

Контролем правильности вычислений приведенных весов служит равенство

$$[p'_i] = 1,00.$$

4. Вычисляют отметку узловой точки 1 в первом приближении, для чего к отметкам исходных реперов и узловых точек прибавляют соответствующие превышения; результаты записывают в графу 9 и вычисляют среднее весовое из полученных значений отметок узловой точки 1, пользуясь формулой (см. § 85 учебника)

$$H'_1 = p'_1 H_{1,1} + p'_2 H_{11,1} + p'_3 H_{2,1} + p'_4 H_{2,1},$$

где $H_{1,1}$, $H_{11,1}$, $H_{2,1}$, $H_{2,1}$ — отметки узловой точки 1, полученные соответственно от реперов 20 (I) и 48 (II) и узловых точек 3 и 2. Поскольку отметки узловой точки 1 расходятся только в миллиметрах (графа 9), получают

$$H'_1 = 151,7 \text{ м} + (0,26 \cdot 63 \text{ мм} + 0,21 \cdot 83 \text{ мм} + 0,23 \cdot 47 \text{ мм} + 0,30 \cdot 74 \text{ мм}) = 151,767 \text{ м}.$$

5. Вычисляют отметки узловых точек 2 и 3 в первом приближении аналогично; при этом для получения отметки точки 2 превышение по ходу 4 прибавляют к отметке узловой точки 1, полученной из первого приближения (151,767), а при вычислении отметки узловой точки 3 пользуются полученными в первом приближении отметками узловых точек 1 и 2 (151,767 и 148,676).

6. Вычисляют аналогично отметки узловых точек в последующих приближениях (графы 10, 11, 12) до совпадения отметок точек в двух смежных приближениях.

Оценка точности определения отметок узловых точек дана в графе 15.

Раздел 4

ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ

Глава X

ТЕОДОЛИТНАЯ СЪЕМКА

§ 54. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПРИ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКЕ

Состав полевых работ при теодолитной съемке следующий:

- 1) рекогносцировка местности и закрепление пунктов;
- 2) измерение углов и линий при создании планового обоснования съемки;
- 3) съемка контуров местности;
- 4) привязка пунктов съемочного обоснования к пунктам государственной или местной сети.

Рекогносцировка местности

Во время рекогносцировки устанавливается наиболее целесообразное расположение теодолитных ходов, обеспечивающее удобство съемки контуров и предметов местности.

Пункты съемочного обоснования закрепляются барочными (коваными) гвоздями, костылями, металлическими трубами, деревянными кольями и столбами.

Если теодолитные ходы являются самостоятельной опорой для производства съемки, то пятая часть пунктов их закрепляется железобетонными монолитами в виде усеченных четырехугольных пирамид. Каждый такой знак должен быть «привязан» промерами не менее чем к трем твердым пунктам местности и сдан на хранение.

Максимальная длина теодолитных ходов между пунктами государственной сети или между узловыми точками (см. гл. VIII) теодолитных ходов не должна превышать размеров, указанных в табл. 60.

Располагая теодолитные ходы на участке, надо учитывать допустимые расстояния от вершин и сторон хода до снимаемых контуров (см. табл. 62).

Т а б л и ц а 60

	На застроенной территории, км	На незастроенной территории, км
1 : 500	0,8	1,2
1 : 1000	1,2	1,8
1 : 2000	2,0	3,0

Измерение углов и сторон теодолитных ходов

Измерение сторон теодолитных ходов выполняется при помощи стальной ленты и стальной рулетки, но может производиться и при помощи дальномеров, позволяющих получить результат с точностью не менее $\frac{1}{1500} - \frac{1}{2000}$.

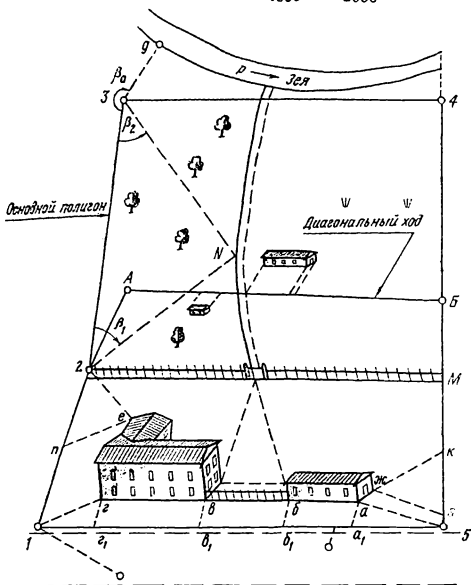


Рис. 105. Общий вид участка

Порядок измерения линий лентами, рулетками и дальномерами изложен в гл. V.

Измерение углов между сторонами теодолитных ходов обычно производится способом приемов (см гл. IV), при этом могут измеряться как правые, так и левые по ходу движения углы.

Данные измерения углов и линий заносят в специальные полевые журналы.

Для участка местности, изображенного на рис. 105, значения правых по ходу движения углов и линий основного полигона и диагонального хода приведены в журнале измерения горизонтальных углов (табл. 61), а также на схеме ходов планового съемочного обоснования (рис. 106).

Журнал измерения горизонтальных углов
между сторонами съемочного обоснования
15 июля 1977 г. Наблюдал инж. Говоров Н. П.
Вычислял техн. Зуев А. А.

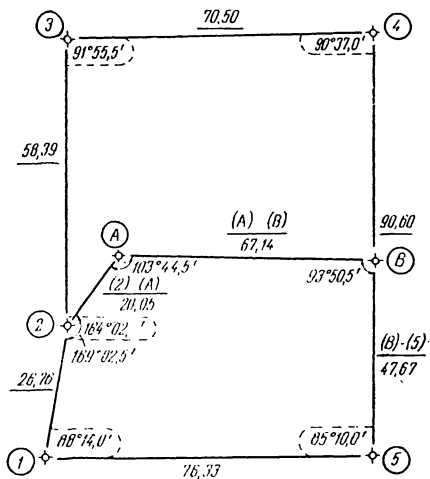
стан- ция	набл. точек	Отсчеты по гори- зонт. кругу	Угол из полупри- емов	Среднее из углов	Маг- нит- ный ази- мут, румб	Мера линий	Угол накло- на	Приме- чания
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	5	КП 190 20	Основной полигон					
	2	102 07	88 13					
	5	КЛ 10 20		88 14,0		1—2 26,76 26,75		Теодо- лит Т-30 Лента
	2	282 05	88 15			26,76	+0 26	ЛЗ-20
2	3	КП 312 30	184 02					
		128 28		184 02,0		2—3 58,39		
	1	КЛ 132 29	184 02			58,39		
	3	308 27				58,39	—1 57	
3	2	КП 181 02	91 55					
	4	89 07		91 55,5		3—4 70,49		
	2	КЛ 1 02	91 56			70,52		
	4	269 06				70,50	—0 25	
4	3	КП 12 27	90 38					
	5	281 49		90 37,0		4—5 90,59		
	3	КЛ 192 26	90 36			90,61		
	5	101 50				90,60	+1 14	

Номера		Отсчеты по горизонт. кругу	Угол из полуприемов	Среднее из углов	Магнитный азимут, румб	Меридиан		Примечания
стан-ция	набл. точек							
1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	4	КП 97 18	85 10	85 10,0		5—1 76,33		
		12 08						
	4	КЛ 277 17	85 10					
		192 07				76,33		
						76,33	+0 23	

Диагональный ход с точки 2 на точку 5 основного полигона

2	A	КР 182 23	169 02	169 02,5		2—A, 20,06	—1 59		
		13 21 КЛ 2 23							169 03
	A	193 20	20,06						
A	2	КП 358 45	103 44	103 44,5		A—B 67,13	—0 32		
	B	255 01 КЛ							103 45
	2	178 45	67,14						
	B	75 00							
Б	A	КП 280 02	93 50	93 50,5		Б—5 47,68 47,66	+1 07		
	5	186 12							93 51
	A	100 03							
	Б	6 12							

Измерение углов наклона сторон теодолитных ходов выполнено при помощи вертикального круга теодолита (см. гл. IV). Углы наклона более 2° могут быть измерены при помощи эклиметра (см. рис. 109).



В основном ходу ис:

$$\Sigma \beta_n = 579^\circ 50,5'$$

$$\Sigma \beta_m = 540^\circ 00,0'$$

$$f_\beta = -0^\circ 01,5'$$

$$\text{доп } f_\beta = \pm 0^\circ 02,2$$

В дополнительном ходе:

$$\Sigma \beta_n = 366^\circ 37,5'$$

$$\Sigma \beta_m = 366^\circ 35,4'$$

$$f_\beta = +0^\circ 02,1'$$

$$\text{доп } f_\beta = \pm 0^\circ 02,6'$$

Рис. 106. Схем

съёмочного обоснования

§ 55. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Гониометр (рис. 107) служит для измерения и построения горизонтальных углов с погрешностью $5-7'$, а также для определения магнитных азимутов. Гониометр состоит из двух цилиндров. На верхнем скошенном крае 7 нижнего цилиндра 5, являющегося лимбом, нанесены градусные деления. Этот цилиндр скреплен со втулкой 6, которая надевается на цапфу легкого штатива.

На нижнем крае верхнего цилиндра 2, являющегося алидадой, имеются два верньера 4 пятиминутной точности. В нижнем и верхнем цилиндрах имеются диоптры 3 (глазные — узкие и предметные с натянутой нитью), служащие для визирования на точки местности.

Плоскость диоптров лимба расположена по его диаметру $0-180^\circ$, а плоскость диоптров алидады проходит через нулевые индексы верньеров. В верхнем цилиндре имеются две пары диоптров, соответствующие плоскости которых взаимно перпендикулярны, что дает возможность строить на местности прямые углы.

В верхней части алидадного цилиндра имеется буссоль 1.

Основная поверка гониометра следующая:

при совпадении нулевых штрихов верньеров с отсчетами $0-180^\circ$ на лимбе соответствующие пары диоптров верхней и нижней частей гониометра должны лежать в одной отвесной плоскости.

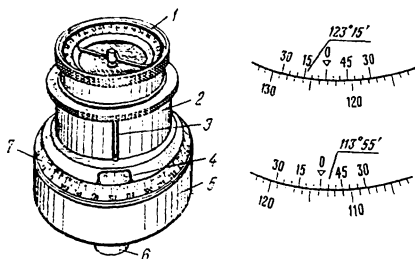


Рис. 107. Гониометр

Для проверки этого условия гониометр устанавливают отвесно и на расстоянии 80—100 м от него ставят вежу. Наводят на нее вначале диоптры нижней, а затем верхней части. Нулевые индексы верньеров в этом случае должны установиться на отсчеты $0-180^\circ$. В противном случае отсчет по первому верньеру укажет на величину коллимационной ошибки, которую при необходимости надо учитывать во время работы.

Измерения угла гониометром выполняются в следующем порядке. Гониометр устанавливают в вершине угла. Последовательно наводят диоптры верхнего цилиндра на вежи, обозначающие стороны измеряемого угла. После каждого наведения производят отсчеты. Разность отсчетов дает значение угла.

Эккер служит для построения на местности прямых углов. Из различных конструкций эккеров наибольшее применение находит двухзеркальный эккер (рис. 108, а). Чтобы при помощи двухзеркального эккера восстановить перпендикуляр, надо чтобы угол между зеркалами был равен 45° (см. § 89 учебника).

Для построения прямого угла (перпендикуляра) в точке С линии АВ (рис. 108, б) нужно, чтобы в зеркале аb была видна вежа, установленная в точке А. Одновременно в окошке над зеркалом аb должна быть видна вежа, которую держит рабочий. Последнюю

перемещают до тех пор, пока изображение вехи в точке A не совпадет с вехой D (которую держит рабочий), видимой в окошке.

При опускании перпендикуляров надо установить веху в точке, из которой он должен быть опущен. Наблюдатель с эккером пере-

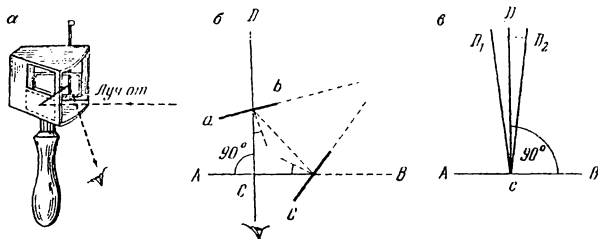


Рис. 108. a — двузеркальный эккер; b — построение прямого угла при помощи двузеркального эккера; c — поверка эккера

мещается по линии AB до тех пор, пока изображение вехи в точке A , видимое в зеркале ab , не совпадет с вехой D , видимой в окошке.

Для проверки двузеркального эккера в створе линии AB из точки C дважды восставляют перпендикуляр: по вехам A и B (рис. 108, c). Если угол между зеркалами равен 45° , то оба

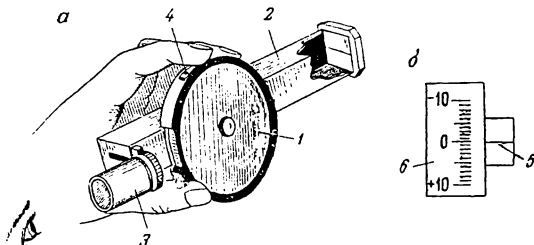


Рис. 109.

линии зрения лупы при горизонтальном положении оси трубки

перпендикуляра должны совпасть. В противном случае производят юстировку исправительными винтами, имеющимися при одном из зеркал.

Эклиметр круговой (рис. 109, a) служит для измерения углов наклона линий к горизонту с точностью до $0,5^\circ$. Основной частью эклиметра является круглый металлический диск (заклученный в кожухе 1), по ободку которого нанесены

градусные деления в обе стороны от нуля — со знаком плюс и со знаком минус. Диск в нижней части снабжен балластом. К кожуху 1 прикреплена трубка 2 с глазным 5 и предметным диоптрами.

Если ось трубки горизонтальна (рис. 109, б), то против глазного диоптра через лупу 3 виден нулевой индекс ободка 6. При отклонении оси трубки от горизонта против глазного диоптра отсчитывают значение угла наклона линии.

Для измерения угла наклона эклиметром надо стать с ним на одном конце линии и визируванием через диоптры навести трубку на веку, установленную на другом конце линии. Высота эклиметра над точкой линии должна быть равна высоте вехи. Перед наведением диоптров на веку надо нажать стопорную кнопку 4 (см. рис. 109, а), связанную с тормозным устройством, и подождать пока диск под действием балласта уравнивается, после чего взять отсчет.

§ 56. СЪЕМКА КОНТУРОВ МЕСТНОСТИ

В зависимости от характера местности и расположения контуров относительно опорных сторон теодолитных ходов используют следующие способы съемки, применение которых покажем на примере (см. рис. 105).

Способ прямоугольных координат (способ перпендикулов). Способом прямоугольных координат произведена съемка вершин одно- и двухэтажного здания, расположенных против стороны 5—1 основного полигона. Эта сторона принята за ось абсцисс, а точка 5 — за начало координат. Из точек *a*, *b*, *в*, *г* на линию 5—1 опускают перпендикуляры. Измеряемые лентой отрезки $5a_1$, $5b_1$, $5в_1$ и $5г_1$ являются абсциссами, а перпендикуляры aa_1 , bb_1 , $вв_1$ и $гг_1$ — ординатами точек *a*, *b*, *в* и *г*, полностью определяющими положение каждой точки.

Абсциссы считают от начала каждой последующей линии.

Способ полярных координат. Этим способом, например, произведена съемка точки *г* правого берега реки Зеи. Опорная линия 2—3 принята за полярную ось, а вершина 3 — за полюс. Для определения планового положения точки *г* измерен полярный угол β_0 и радиус-вектор 3*г*.

Способ угловых засечек (способ биполярных координат). Пусть требуется определить плановое положение точки *N*, лежащей на тропинке, идущей от ворот застроенного участка к реке Зее. За базис съемки принята сторона 2—3 основного полигона. В точках 2 и 3 измеряют соответственно углы β_1 и β_2 . Точка *N* будет являться вершиной треугольника, построенного по стороне 2—3 и углам β_1 и β_2 .

Способ линейных засечек применен при съемке точек *e*, *ж* (углов зданий). Для получения планового положения этих точек на местности измерены три стороны треугольников *эжк* и *п2е*.

Для построения точек $1, 2, 3, 4, 5$ на плане надо построить треугольники $эжк$ и $пзе$ по трем сторонам.

Способ створов применяется при съемке точек, расположенных в створе опорных линий либо створов линий, опирающихся на стороны теодолитных ходов. Способ предполагает наличие видимости между крайними точками отрезков линий. Этим способом определено, например, плановое положение точки $М$ на линии 4—5, для чего измерено расстояние от точки 4 до точки $М$.

Результаты съемки контуров местности заносят в журнал измерения длин отрезков линий — абрис. Абрис является схематическим чертежом, но составляется четко и аккуратно с неуклонным соблюдением порядка и взаимного расположения контуров местности между собой и относительно опорных линий. Записи в абрисе ведут простым карандашом. Прямые участки контуров проводят при помощи линейки.

При составлении абриса выбирают такой масштаб, который обеспечивает четкое и удобное расположение на нем всех построений и записей.

Применительно к участку местности, изображенному на рис. 105, абрисы приведены на рис. 110—112.

При съемке контуров застроенных территорий по сторонам опорных ходов через определенные расстояния

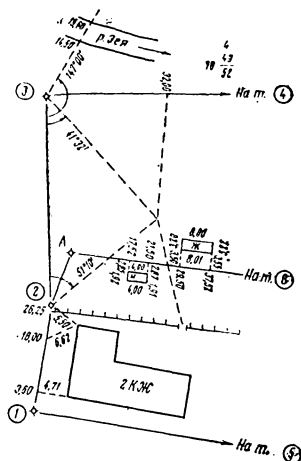


Рис. 110. Абрис по сторонам 1—2 и 2—3 полигона

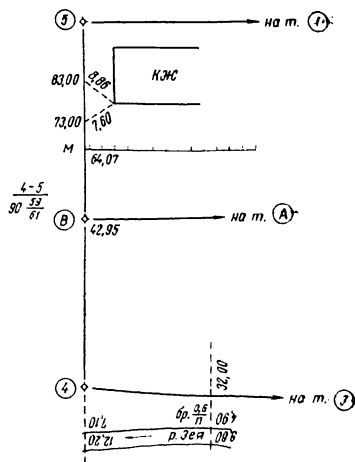


Рис. 111. Абрис по сторонам 3—4 и 4—5 полигона

[illegible]

Расстояния от опорных линий до снимаемых точек контуров в зависимости от масштаба съемки не должны превышать указанных в табл. 62.

Масштаб съ	Способ съемки контуров	Расстояние до контуров, м	
		твердых	нетвердых
1 : 500	Перпендикуляров	4 *	
1 : 1000	»	6	
1 : 2000	»	8	
1 : 500, 1 : 1000, 1 : 2000 1 : 500	Линейных засечек	10 **	
	Полярных координат		
	а) измерение лентой	120	150
1000	»	180	200
2000	»	250	300
1 : 500	б) измерение нитяным дальномером	40	50
1000	То же	70	90
1 : 2000	»	100	120

• При съемке в масштабе 1 : 800 засечки длиной более 10 м измеряются лентой или стальной рулеткой.

Вычисление координат вершин основного полигона

Исходными данными для вычислений являются горизонтальные углы в вершинах основного полигона и горизонтальные проложения длин его сторон, дирекционный угол стороны 1—2 и координаты первой вершины полигона.

Вычисления производятся в специальной ведомости (табл. 63) в следующем порядке.

1. Выписывают из журнала измерения углов (см. табл. 61) в графу 2 ведомости (см. табл. 63) средние значения горизонтальных углов.

2. Заносят в графу 4 ведомости значение дирекционного угла стороны 1—2 и в графу 6 — горизонтальные проложения сторон основного полигона.

Горизонтальные проложения вычисляют для тех сторон полигона, углы наклона которых больше $1,5^\circ$

Горизонтальные проложения вычисляют по формуле

$$d = D - \Delta D, \quad (X.1)$$

где d — горизонтальное проложение длины стороны; D — измеренная длина стороны; ΔD — поправка в измеренную длину за наклон к горизонту.

Поправку ΔD находят из таблиц (приложение 2). Ниже приведен пример пользования таблицей при вычислении горизонтального проложения стороны 2—3 полигона, угол наклона которой равен $\nu = 1^\circ 57'$ (см. табл. 61).

$\nu = 1^\circ 57'$	$l_{1-2} = 58,39$ м
50,00 м	30,00 мм
8,00 м	4,90 мм
0,30 м	0,18 мм
0,09 м	0,06 мм
Для 58,39 м	35,14 $\approx$ 0,04 м

$$d = D - \Delta D = 58,39 - 0,04 = 58,35 \text{ м.}$$

3. Определяют невязку f_β в углах полигона из выражения

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{пр}} - \sum \beta_{\text{теор}}, \quad (X.2)$$

где $\sum \beta_{\text{пр}}$ — сумма практически измеренных углов; $\sum \beta_{\text{теор}}$ — теоретическая сумма внутренних углов полигона, определяемая из выражения

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 180^\circ (n - 2), \quad (X.3)$$

где n — число углов полигона.

Таблица 60

Результаты вычисления координат вершин основного полигона

№ вершины	Углы		Длина первого угла	Путь		Поправка на замкнутость	Поправки координат						Координаты		Углы		
	начальное значение	исправленное значение		на зад. стор.	с		вычисленные		исправленные		11	12					
							7	8	9	10		11	12				
1	88	+0,3 14,0 88	14,3	43	10,0	43	10	26,76	+	+1 19,51	+	18,31	+	18,31	0,00	0,00	1
2	184	+0,3 02,0 184	02,3	39	07,7	39	08	58,35	+	+2 45,26	+	36,82	+	36,82	+19,52	+18,31	2
3	91	+0,3 55,5 91	55,8	127	11,9	52	48	70,50	-	+3 42,62	+	56,16	-	42,59	+64,80	+55,13	3
4	90	+0,3 37,0 90	37,3	216	34,6	36	35	90,60	-	+3 72,75	-	54,00	-	72,72	+22,21	+111,28	4
5	85	+0,3 10,0 85	10,3	311	24,3	48	36	76,33	+	+3 50,48	-	57,26	+	50,51	-50,51	+57,27	5
6															0,00	0,00	6

$$P = 322,54 + 115,25 + 111,29 + 115,31 + 111,28 - 115,37 - 111,26 - 115,31 - 111,28$$

$$f = - 0,12 + 0,03 = 0,00$$

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 2d(n-2) \quad \Delta P = \sqrt{f^2 + f_0^2} = \sqrt{0,12^2 + 0,03^2} = 0,12 \text{ м}$$

$$\sum \beta_{\text{теор}} = 540 \text{ } 00,0 \text{ } 540 \text{ } 00,0$$

$$f_{\beta} = -0,5 \quad 0 \text{ } 00,0$$

$$\text{доп } f_{\beta} = \pm 1' \sqrt{n}$$

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{0,12}{322,54} \approx \frac{1}{2700} < \frac{1}{2000}$$

4. Сравнивают полученную величину f_{β} с допустимой доп. f_{β} угловой невязкой, вычисляемой по формуле

$$\text{доп } f_{\beta} = 1' \sqrt{n}. \quad (\text{X.4})$$

Результаты вычислений, указанные в пунктах 3 и 4, приведены под итоговой чертой граф 2 и 3 ведомости координат (см. табл. 63).

5. Если $f_{\beta} \leq \text{доп. } f_{\beta}$, то ее распределяют поровну на все углы с обратным знаком, т. е. вводят поправки v_i во все измеренные углы со знаком, обратным знаку невязки

$$v_i = \frac{-f_{\beta}}{n}. \quad (\text{X.5})$$

Поправки вводят с округлением до десятых долей минут.

Не всегда после округления до 0,1' поправки могут быть введены в измеренные углы поровну. В этом случае большую поправку вводят в углы, составленные более короткими сторонами *

Если невязка значительно меньше допустимой, то ее распределяют только на углы с короткими сторонами.

Для малых полигонов и коротких ходов для сокращения вычислений возможно введение поправок с разными знаками с целью округления углов до целых минут.

6. Контролируют правильность увязки углов, для чего подсчитывают сумму $\sum_1^n \beta_{\text{испр}}$ исправленных (увязанных) углов и убеждаются в соблюдении условия

$$\sum_1^n \beta_{\text{испр}} = \sum_1^n \beta_{\text{теор.}}. \quad (\text{X.6})$$

7. По исходному дирекционному углу и увязанным углам вычисляют дирекционные углы всех остальных углов по формуле

$$\alpha_n = \alpha_{n-1} \pm 180^\circ - \beta_{n-1}^{**}, \quad (\text{X.7})$$

где α_n — дирекционный угол последующей стороны; α_{n-1} — дирекционный угол предыдущей стороны; β_{n-1}^{**} — увязанный, вправо по ходу лежащий угол (заключенный между предыдущей и последующей сторонами полигона).

Вычисление дирекционных углов удобно производить на конторских счетах. При небольшом объеме работ вычисления можно

* Могут быть случаи, когда удобнее ввести меньшую поправку в углы, составленные более длинными сторонами.

** Вычитают 180° из дирекционного угла $(n-1)$ -ой стороны в случае, когда полученная разность будет больше β_{n-1} . Если сумма α_{n-1} и 180° окажется меньше величины β_{n-1} , то к ней прибавляют 180° .

произвести на бумаге, располагая их в следующем порядке (вычисления приведены применительно к графе 4 табл. 63):

$$\begin{array}{rcl}
 (1) - (2) & \begin{array}{r} 43^{\circ} 10,0' \\ +180 \\ \hline 223 \quad 10,0 \\ -184,02,3 \\ \hline 39 \quad 07,7 \\ +180 \\ \hline 219 \quad 07,7 \\ -91 \quad 55,8 \\ \hline 127 \quad 11,9 \\ +180 \\ \hline 307 \quad 11,9 \\ -90 \quad 37,3 \\ \hline 216 \quad 34,6 \\ +180 \\ \hline 396 \quad 34,6 \\ -85 \quad 10,3 \\ \hline 311 \quad 24,3 \end{array} & \begin{array}{l} r_{1-2} = СВ \quad 43^{\circ} 10,0' \\ \\ r_{2-3} = СВ : 39^{\circ} 07,7' \\ \\ r_{3-4} = ЮВ \quad 52^{\circ} 48,1' \\ \\ r_{4-5} = ЮЗ : 36^{\circ} 34,6' \\ \\ r_{5-1} = СЗ \quad 48^{\circ} 35,7' \end{array}
 \end{array}$$

8. Производят контроль вычисления дирекционных углов. В замкнутом ходе контролем вычислений является получение дирекционного угла исходной стороны:

$$\begin{array}{rcl}
 (5) - (1) \dots & \begin{array}{r} 311^{\circ} 24,3' \\ -180 \\ \hline 131 \quad 24,3 \\ -88 \quad 14,3 \\ \hline 43 \quad 10,0 \end{array} & \\
 (1) - (2) & &
 \end{array}$$

9. В ряде случаев полученные дирекционные углы целесообразно перевести в румбы. Зависимость между дирекционными углами и румбами приведена в табл. 64.

Значения вычисленных румбов записаны против соответствующих полученных дирекционных углов, а также в графе 5 табл. 63, где они округлены до целых минут.

10. Записывают в графах 7 и 8 табл. 63 приращения координат Δx , Δy , вычисленные по значениям углов α или румбов r и горизонтальным проложениям d сторон полигона согласно формулам

$$\left. \begin{array}{l} \Delta x = d \cos \alpha = \pm d \cos r \\ \Delta y = d \sin \alpha = \pm d \sin r \end{array} \right\}. \quad (X.8)$$

Знаки приращений координат определяют в зависимости от знаков $\sin \alpha$ и $\cos \alpha$ или от названий румбов (табл. 65).

Вычисление приращений координат можно производить на ЭКВМ (см. § 60), арифмометре с помощью таблиц натуральных значений тригонометрических функций либо на конторских счетах с помощью таблиц приращений координат, правила пользования которыми указаны в предисловии к ним.

Таблица 64

Пределы значений дирекционных углов	Название румбов	Зависимость между дирекционными углами и румбами
0—90°	СВ	$r = \alpha$
90—180°	ЮВ	$r = 180^\circ - \alpha$
180—270°	ЮЗ	$r = \alpha - 180^\circ$
270—360°	СЗ	$r = 360^\circ - \alpha$

Таблица 65

Пределы значений дирекционных углов	Название румбов	Знаки приращений координат	
		Δx	Δy
0—90°	СВ	+	+
90—180°	ЮВ	—	+
180—270°	ЮЗ	—	—
270—360°	СЗ	+	—

Таблицы приращений координат дают произведения синуса и косинуса углов от 0 до 90° через 1' на горизонтальные расстояния, кратные 10, 20, ..., 90 м.

Выбор приращений координат производят, сохраняя третий знак после запятой. Результат округляют до сотых долей метра.

Вычисление значений приращений координат Δx и Δy для стороны (1)—(2) основного полигона (см. табл. 63) показано в табл. 66.

Таблица 66

(1) — (2)
 $d = 26,76$ м; $r = \text{СВ } 43^\circ 10,0'$

20	14,587	13,682
6	4,376	4,105
0,76	0,55	0,52
26,76	19,513	18,307
Округленные значения	+19,51	+18,31

При применении арифмометра числовые значения синуса и косинуса угла можно получить по таблицам приращений координат, пользуясь графой подписанной 10; выбранные значения уменьшают в 10 раз.

Полученные таким образом натуральные значения синуса и косинуса угла умножают на горизонтальное проложение линии.

11. Находят невязки f_x и f_y в приращениях координат соответственно по осям x и y , пользуясь формулами

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \Delta x &= \pm f_x \\ \sum_{i=1}^n \Delta y &= \pm f_y \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

Для этой цели отдельно по графам 7 и 8 табл. 63 складывают положительные, затем отрицательные приращения, вычисляют алгебраическую сумму и результаты записывают под итоговой чертой.

12. Определяют абсолютную невязку ΔP в периметре из выражения

$$\Delta P = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}. \quad (X.10)$$

13. Вычисляют относительную невязку в периметре как частное от деления абсолютной невязки ΔP на периметр P полигона. Относительная невязка не должна превышать $\frac{1}{2000}$ доли периметра. Невязку получают в виде аликвотной дроби (дроби, в числителе которой единица). Так, например, для рассматриваемого примера относительная невязка будет

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{0,12}{322,54} \approx \frac{1}{2700} < \frac{1}{2000}.$$

14. Если относительная невязка допустима, то в приращения координат вводят поправки по формулам

$$\left. \begin{aligned} (\Delta x)_i &= \frac{-f_x}{P} d_i \\ (\Delta y)_i &= \frac{-f_y}{P} d_i \end{aligned} \right\}, \quad (X.11)$$

где $(\Delta x)_i$, $(\Delta y)_i$ — поправки в приращения координат соответственно по оси x и y .

Так, например, поправки в приращения координат стороны (1)—(2) основного полигона будут

$$(\Delta x)_{1-2} = \frac{+12 \text{ см}}{322,54 \text{ м}} \cdot 26,76 \text{ м} = +1,0 \text{ см} \approx +1 \text{ см};$$

$$(\Delta y)_{1-2} = \frac{-3 \text{ см}}{322,54 \text{ м}} \cdot 26,76 \text{ м} = -0,2 \text{ см} \approx 0 \text{ см}.$$

Полученные поправки округляют до сотых долей метра и записывают в ведомости в графах 7 и 8 над соответствующими значениями приращений. В графы 9 и 10 записывают вычисленные приращения с учетом поправок.

Алгебраическая сумма исправленных (увязанных) приращений координат по каждой оси должна быть равна нулю

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i=1}^n \Delta x_{\text{испр}} &= 0 \\ \sum_{i=1}^n \Delta y_{\text{испр}} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (X.12)$$

15. По исправленным приращениям вычисляют координаты вершин основного полигона по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_{k+1} &= x_k + \Delta x_{\text{испр}} \\ y_{k+1} &= y_k + \Delta y_{\text{испр}} \end{aligned} \right\}, \quad (\text{X.13})$$

где x_{k+1} , y_{k+1} — координаты последующей точки соответственно по осям x и y ; x_k , y_k — координаты предыдущей точки соответственно по осям x и y ; $\Delta x_{\text{испр}}$, $\Delta y_{\text{испр}}$ — исправленные приращения координат, взятые со своими знаками.

Вычисленные координаты записывают в графах 11 и 12 табл. 63.

Контролем правильности вычисления координат является получение координат исходной точки *

Все вычисления располагают в ведомости координат согласно образцу, приведенному в табл. 63.

Вычисление координат вершин диагонального хода

Применительно к рассматриваемому примеру исходными данными для вычисления координат являются горизонтальные углы, вправо по ходу лежащие (один при точке A и два примычных при точках 2 и B , см. рис. 106), горизонтальные проложения сторон диагонального хода, дирекционные углы сторон (1)—(2) и (4)—(5) и координаты точек 2, 5 основного полигона, к которым примыкает диагональный ход.

Значения углов и горизонтальных проложений берут из журнала измерения горизонтальных углов (см. табл. 61); дирекционные углы линий (1)—(2) и (4)—(5) основного полигона выписывают из ведомости (см. табл. 63).

Вычисления ведут в том же порядке, что и при обработке ведомости координат основного полигона. Отличие состоит в порядке получения угловой и линейной невязок. Поэтому ниже поясняется только увязка углов и приращений координат диагонального хода (табл. 67).

Увязка углов диагонального хода

а. Получают угловую невязку по формуле (X.4), причем теоретическую сумму углов $\sum \beta_{\text{теор}}$ определяют из выражения

$$\sum \beta_{\text{теор}} = \alpha_0 - \alpha_n + 180^\circ n, \quad (\text{X.14})$$

где α_0 — начальный дирекционный угол (в нашем примере — линии 1—2); α_n — конечный дирекционный угол (линии 4—5, так как точка B лежит в ее створе); n — число измеренных углов диагонального хода (включая примычные)**.

* В рассмотренном примере принята условная система координат.

** Если $\alpha_0 < \alpha_n$, то получается искомая величина $\sum \beta_{\text{теор}}$; если $\alpha_0 \geq \alpha_n$, то из полученного результата надо вычесть 360° .

Таблица 67
Ведомость вычисления координат вершин диагонального хода с точки 2 на точку 5

№ вершины	Углы		Дирекционные углы	Горизонтальные проекции		Приращения						№ вершины		
	измеренные	исправленные		по эллипсису	по полигону	Δx	Δy	Δx	Δy					
										7	8		9	10
1	—	—	43	10,0	—	—	—	—	—	—	—	—	1	
2	169	-0,7 02,5	169	01,8	—	—	—	—	—	—	—	—	2	
A	103	-0,7 44,5	103	43,8	54	08 *	54	08,2	CB	20,05	16,25	11,75	16,25	A
B	93	-0,7 50,5	93	49,8	130	24,4	IOB	49	36	67,14	51,13	43,51	51,12	B
5	—	—	216	34,6	IC3	36	35	47,67	38,28	—	28,41	38,27	28,41	5
$\sum \beta_{\text{вир}} = 366 \ 37,5'$														
$\sum \beta_{\text{теор}} = \alpha_0 - \alpha_n + n180^\circ = 43^\circ 10,0' - 216^\circ 34,6' + 3 \cdot 180^\circ = 366^\circ 35,4'$														
$f_\beta = +0^\circ 02,1'$														
$\text{доп } f_\beta = 1,5' / n = 1,5' / 3 = \pm 0^\circ 02,6'$														

* С целью облегчения дальнейших вычислений значения румбс округлены до целых минут

б. Определяют допустимую угловую невязку доп. f_{β} по формуле

$$\text{доп } f_{\beta} = 1,5' \sqrt{n}, \quad (\text{X.15})$$

где n — число измеренных углов (включая примычные).

После введения поправок в углы вычисляют по формуле (X.7) дирекционные углы. Контролем правильности вычислений является получение дирекционного угла конечной стороны (стороны 4—5 основного полигона).

Увязка приращений координат сторон диагонального хода

а. Невязки в приращениях координат получают по формулам

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum_1^n \Delta x_{\text{пр}} - \sum_1^n \Delta x_{\text{теор}} \\ f_y &= \sum_1^n \Delta y_{\text{пр}} - \sum_1^n \Delta y_{\text{теор}} \end{aligned} \right\}, \quad (\text{X.16})$$

где $\sum_1^n \Delta x_{\text{пр}}$ — практическая сумма приращений координат по оси x ; $\sum_1^n \Delta y_{\text{пр}}$ — то же, по оси y ; $\sum_1^n \Delta x_{\text{теор}}$ — теоретическая сумма приращений координат по оси x ; $\sum_1^n \Delta y_{\text{теор}}$ — то же, по оси y .

Теоретические суммы приращений координат получают из выражений

$$\left. \begin{aligned} \sum_1^n \Delta x_{\text{теор}} &= x_n - x_0 \\ \sum_1^n \Delta y_{\text{теор}} &= y_n - y_0 \end{aligned} \right\}, \quad (\text{X.17})$$

где x_n, y_n — координаты конечной точки диагонального хода; x_0, y_0 — координаты начальной точки диагонального хода.

Так, для нашего случая невязки в приращениях координат будут

$$f_x = \sum_1^n \Delta x_{\text{пр}} - (x_n - x_0) = -70,05 - (-50,51 - 19,52) = -0,02 \text{ м},$$

$$f_y = \sum_1^n \Delta y_{\text{пр}} - (y_n - y_0) = +38,97 - (+57,27 - 18,31) = +0,01 \text{ м}.$$

б. Допустимая относительная невязка диагонального хода не должна превышать

$$\frac{\Delta P}{P} \leq \frac{1}{1000}. \quad (\text{X.18})$$

В случае получения допустимой относительной невязки увязка приращений координат производится по тому же принципу, что и в основном полигоне, после чего вычисляют координаты вершин диагонального хода. Контролем правильности вычислений является получение значений координат точки полигона, к которой примыкает диагональный ход.

Порядок обработки и записи данных в ведомости координат диагонального хода показан в табл. 67.

§ 58. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ НА ЭЛЕКТРОННЫХ КЛАВИШНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ (ЭКВМ)

Для обработки результатов полевых измерений в настоящее время находят применение электронные счетные машины беспрограммного управления: «Искра», «Электроника», «Орбита» и др.

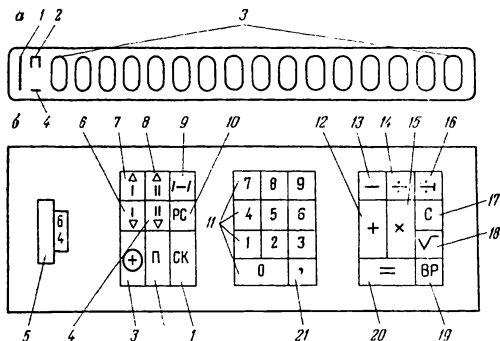


Рис. 113. ЭКВМ «Искра-12М»

а — цифровой индикатор: 1 — номер регистра, 2 — знак переполнения, 3 — десятичные разряды, 4 — знак числа; б — клавиатура: 1 — клавиша сброса регистра клавиатуры, 2 — клавиша умножения на постоянную, 3 — клавиша накопления результатов, 4 — клавиша вызова числа из регистра «2», 5 — переключатель установки запятой, 6 — клавиша вызова числа из регистра «1», 7 — клавиша засылки числа в регистр «1», 8 — клавиша засылки числа в регистр «2», 9 — клавиша перемены знака числа в регистре клавиатуры, 10 — клавиша разрядного сброса, 11 — десятичная клавиатура, 12 — клавиша сложения, 13 — клавиша вычитания, 14 — клавиша деления, 15 — клавиша умножения, 16 — клавиша обратного деления, 17 — клавиша общего сброса, 18 — клавиша извлечения квадратного корня, 19 — клавиша вызова содержимого регистра, 20 — клавиша вызова результата на индикатор, 21 — клавиша установки запятой

Ниже рассмотрена ЭКВМ «Искра-12М», являющаяся одной из модификаций машин типа «Искра». Клавиатура и цифровой индикатор этой машины показаны на рис. 113.

Перед началом работы на машине надо убедиться в том, что предохранитель сети установлен на требуемое напряжение. После включения шнура машины в сеть надо тумблер включения поставить в положение «Вкл» и спустя три минуты нажать на клавишу «С» (клавиша 17, рис. 113, б). Если во всех разрядах индикатора (рис. 113, а) загорятся нули, то машина готова к работе.

«Искра-12М» имеет 4 оперативных регистра и 2 регистра памяти. На цифровом индикаторе высвечиваются числа до 16 разрядов, знак числа, номер регистра, а также знак переполнения регистра.

Если на индикаторе появится знак переполнения 2 (см. рис. 113, а), то машину надо привести в рабочее состояние нажатием клавиши «СК» сброса регистра (клавиша 1, см. рис. 113, б).

При вводе в машину чисел нажимают соответствующие клавиши цифровой клавиатуры 11 и клавишу запятой 21. Число каждый раз высвечивается на индикаторе.

Для установления необходимого количества десятичных знаков в числе служит вращающийся диск 5 с индексами 0, 2, 4, 6, 8, 10, с помощью которого переключается положение запятой.

Примеры вычислений на ЭКВМ «Искра-12М»

1. *Сложение и вычитание.* Пусть требуется произвести действия: $235,36 + 17,154 - 105,25$. Для этого действуют так:

1) переключатель 5 установки запятой фиксируют на цифре 3, так как результат надо получить с тремя знаками после запятой;

2) на цифровой клавиатуре 11 устанавливают слагаемое 235,36, при этом клавишу запятой 21 нажимают после набора цифры 5 и нажимают клавишу сложения 12. В правых окнах цифрового индикатора появится число 235,36;

3) набирают второе слагаемое 17,154 и также нажимают клавишу 12 сложения. В правых окнах цифрового индикатора появится набранное число 17,154;

4) набирают на цифровой клавиатуре вычитаемое 105,25; оно высветится на цифровом индикаторе;

5) последовательно нажимают клавишу вычитания 13 и клавишу результата 20 и получают в правых окнах цифрового индикатора результат: 147,264.

II. *Умножение и деление.* Пусть требуется вычислить выражение $\frac{12,64 \times 3,57}{2,43}$ с точностью до 0,01. Для этого:

1) переключатель 5 установки запятой фиксируют на цифре 2;

2) на цифровой клавиатуре набирают первый сомножитель 12,64;

К работе на ЭКВМ допускаются исполнители, прошедшие инструктаж по технике безопасности при работе с электронной аппаратурой.

3) нажимают клавишу умножения 15 , при этом в крайних правых окнах цифрового индикатора должно появиться число $12,64$;

4) набирают второй сомножитель $3,57$ и нажимают клавишу результата 20 ;

5) нажимают клавишу деления 14 , набирают делитель $2,43$ и проверяют его в окнах цифрового индикатора;

6) нажимают клавишу результата 20 .

Машина производит деление автоматически и в правых окнах цифрового индикатора появится результат: $18,57$

§ 59. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЭЛЕКТРОННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИНАХ (ЭВМ)

В геодезическом производстве при обработке результатов измерений широко применяются ЭВМ. Эти машины имеют программное управление и их выгодно применять при большом объеме вычислений.

Имея в виду, что студенты первого года обучения 1-го семестра, как правило, еще не знакомы с программированием на ЭВМ, ниже приведен только общий ход решения задачи.

Подготовка задачи для решения ее на ЭВМ состоит из следующих этапов:

а) математическое описание поставленной задачи, составление алгоритма ее решения;

б) составление программы и ее отладка;

в) ввод в машину исходной информации;

г) решение задачи и вывод результатов.

Современные ЭВМ имеют математическое обеспечение, т.е. оснащены комплектом программ для решения типовых задач.

Программы составляют на специальном «машинном» языке, например языках АЛГОЛ, ФОРТРАН и др., с учетом конкретной модели ЭВМ.

Ниже приведены алгоритм обработки ведомости координат вершин замкнутого полигона и программа решения задачи на ЭВМ БЭСМ-4, составленная на языке АЛГОЛ.

Алгоритм вычисления координат вершин теодолитного хода

Исходные данные

$$x_1; y_1; \alpha; \beta_i, (i = 1, 2, \dots, n); d_i (i = 1, \dots, n)$$

Порядок решения задачи

$$B_n = \sum_1^n \beta_i;$$

$$2. B_T = \pi (n - 2);$$

$$3. f_\beta = B_n - B_T;$$

$$4. f_{\beta_n} = 1,5 \cdot \sqrt{n};$$

5. Если $f_\beta > f_{\beta_{дон}}$, то вывод (1111);

6.

$$\beta_{yn} = \beta_l + c_l;$$

$$8. \alpha_l = (\alpha_{l-1} + 180^\circ - \beta_{yn}) \frac{\pi}{180};$$

$$9. \Delta x_l = d_l \cos \alpha_l; \quad \Delta y_l = d_l \sin \alpha_l;$$

$$\sum_1^n \Delta x = f_x; \quad \sum_1^n \Delta y = f_y;$$

$$\Delta P = \sqrt{f_x^2 + f_y^2};$$

$$12. P = \sum_1^n d_l;$$

$$13. F = \frac{\Delta P}{P};$$

Если $F > \frac{1}{2000}$, то вывод (7777);

$$15. \delta x_l = (\Delta x)_l = \frac{-f_x}{P} d_l;$$

$$\delta y_l = (\Delta y)_l = \frac{-f_y}{P} d_l;$$

$$16. x_l = x_{l-1} + \Delta x_l + \delta x_l;$$

$$y_l = y_{l-1} + \Delta y_l + \delta y_l;$$

Вывод

$x_1, x_2, \dots, x_n,$

$y_1, y_2, \dots, y_n.$

Программа вычисления координат вершин теодолитного хода на ЭВМ БЭСМ-4

001. BEGIN;

002. PEAL B, ,BT, ,FD, ,C, ,PI, ,FX, FY, ,DP, ,P, ,F-, ,F;

003. INTEGER I, ,N;

004. READ (N); PRINT (N);

005. PI: = 3.14159;

006. BEGIN;

007. REAL ARRAY U, U, W, ,D, ,D-X, ,D-Y, ,DX, ,DY, ,X, ,Y [1:N];

010. READ (D, ,X[1], Y[1], ,W[1], ,U);

011. PRINT(D, ,X[1], ,Y[1], ,W[1], ,U)

012. B: = 0.0;

013. FOR I: = 1 STEP 1 UNTIL N DO BEGIN;

014. U[1]: = 0[1]/60/180×PI;

015. B: = B + U[1]; END;

016. BT: = (N - 2)×PI;

017. PRINT(U);

```

020. PRINT(B, ,BT);
021. F: = B - BT;
022. FD: = 1.5×SQRT(N);
023. IF F > FD THEN BEGIN PRINT(111); GO TO L END;
024. C: = -F/N;
025. PRINT (C);
026. FX: = FY: = 0.0;
027. W[1]: = W[1]/180/60×PI;
030. PRINT (W);
031. FOR I: = 1 STEP 1 UNTIL N DO BEGIN;
032. U[I]: = U[I] + C;
033. IF I > 1 THEN;
034. W[I]: = (W[I - 1] + PI - U[I]);
035. PRINT (W);
036. DX[I]: = D[I]×COS(W[I]);
037. DY[I]: = D[I]×SIN(W[I]);
040. FX: = FX + DX[I];
041. FY: = FY + DY[I];
042. END;
043. DP: = SQRT (FX ↑ 2 + FY ↑ 2);
044. PRINT (W, ,U, ,DX, ,DY, ,FX, ,FY, ,DP);
045. P1 = 0.0;
046. FOR I: = 1 STEP 1 UNTIL N DO;
047. P1 = P + D[I];
050. -F-: = DP/P;
051. IF F > 1/2000 THEN BEGIN PRINT(333); GO TO L END;
052. FOR I: = 1 STEP 1 UNTIL N DO BEGIN;
053. -D-X[I]: = -FX×D[I]/P;
054. -D-Y[I]: = -FY×D[I]/P; END;
055. PRINT (-D-X, , -D-Y);
056. FOR I: = 2 STEP 1 UNTIL N DO BEGIN;
057. X[I]: = X[I - 1] + DX[I - 1] + -D-X[I - 1];
060. Y[I]: = Y[I - 1] + DY[I - 1] + -D-Y[I - 1]; END;
061. PRINT (X, ,Y);
062. L:
063. END;
064. END-KU-

```

Обозначения					
БЭСМ-4	Алгоритм	БЭСМ-4	Алгоритм	БЭСМ-4	Алгоритм
U [I]	β_i	W [J]	α_i	P	P
B	B_n	DX [J]	Δx	F	F
BT	B_T	DY [J]	Δy	-D-X [J]	δx_i
F	f_β	FX	f_x	-D-Y [J]	δy_i
FD	$f_{\beta_{доп}}$	FY	f_y	X [J]	x_i
C	c_i	DP	ΔP	Y [J]	y_i

Эта программа наносится на перфоленту и после подачи соответствующих команд вводится в ЭВМ. Далее в ЭВМ вводят исходные данные. В нашем случае этими данными будут значения измеренных углов теодолитного хода, горизонтальные расстояния между вершинами углов хода, исходный дирекционный угол стороны 1—2 и координаты x и y первой вершины.

Машина автоматически решает задачу по заданной программе и в печатном виде выдает значения x и y всех вершин полигона.

Время, затрачиваемое для решения задачи, зависит от объема перерабатываемой информации. Так, для решения рассмотренной задачи определения координат вершин замкнутого теодолитного хода (5 вершин) на машине БЭСМ-4 потребовалось около 15 с.

Для решения задач с небольшим объемом информации широко используются ЭВМ типа «Наири».

Особенностью машин «Наири» является то, что работа на них может выполняться специалистами, не имеющими подготовки по программированию. Это объясняется применением упрощенного алгоритмического языка — автокода, символы которого совпадают с общепринятыми в математике и, кроме того, возможностью использования стандартных программ для решения типовых задач.

Примечание: Последовательная проработка всех вопросов данной задачи на настольных вычислительных машинах позволит понять ее геометрический смысл. После уяснения студентами смысла решаемой задачи следует продемонстрировать ее решение на ЭВМ.

Поскольку программа решения задачи составляется применительно к конкретной модели ЭВМ, кафедре следует составить эту программу для ЭВМ, имеющейся в данном вузе.

§ 60. ГРАФИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ТЕОДОЛИТНОЙ СЪЕМКИ

Целью графической обработки материалов теодолитной съемки является получение контурного плана местности. Графическая обработка материалов включает построение координатной сетки на ее основе — опорных теодолитных ходов по координатам

их вершин, построение контуров местности по данным абриса съемки и оформление плана.

Все построение производят на листе чертежной бумаги, размер которой легко определить по значениям координат вершин опорных ходов и заданному масштабу плана.

Построение координатной сетки

При помощи линейки Ф. В. Дробышева

Одной из разновидностей этой линейки является линейка ЛД-1 (рис. 114, а). Она имеет шесть окошек. Середина прямого скошенного края в первом окошке означает начало счета — 0. Скошенные

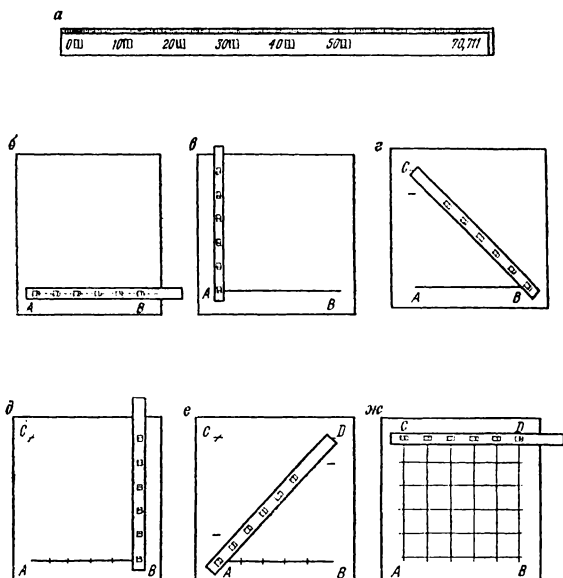


Рис. 114. Построение координатной сетки при помощи линейки ЛД-1

края остальных окошек являются дугами окружностей с размерами радиусов 10, 20, 30, 40 и 50 см, считая от нуля первого окошка. Скошенный край конца линейки является дугой окружности радиуса 70,711 см.

При помощи такой линейки можно стронть сетку из двенадцати квадратов (3×4) и двадцати пяти (5×5).

Рассмотрим построение координатной сетки со стороны квадрата 10 см применительно к координатам вершин полигона, приведенным в табл. 63, и масштабу плана 1 : 500.

Вначале определяют число квадратов координатной сетки, для чего складывают наибольшие по абсолютной величине положительные и отрицательные абсциссы. Результат укажет на протяженность участка по оси x . Разделив его на длину стороны квадрата, выраженную в масштабе плана, получают число квадратов сетки по оси (остаток округляют до ближайшего большего целого значения).

Аналогичный расчет выполняют для определения числа квадратов по оси y .

Для нашего примера (см. табл. 63) протяженность участка по оси x равна $64,80 + 50,51 = 115,31$ м и по оси $y = 111,28$ м; сторона квадрата в масштабе плана равна 50 м. Число квадратов по оси x будет: $115,31 : 50 = 2,3 \approx 3$ и по оси y : $111,28 : 50 = 2,2 \approx 3$ квадрата. Число квадратов координатной сетки составит $3 \times 3 = 9$.

Для построения такой сетки с учетом полей для надписи и подписи размером 5 см потребуется лист чертежной бумаги размером 35×35 см.

Заметим, что при одних и тех же значениях углов и линий полигона число квадратов координатной сетки может быть различно в зависимости от ориентировки участка.

Порядок построения сетки 5×5 квадратов линейкой ЛД-1 следующий. Отступают от нижнего края листа бумаги на 5 см и проводят по скошенному краю линейки тонкую линию AB (рис. 114, б).

Накладывают на эту линию линейку так, чтобы нулевой штрих первого окошка совпал с линией, а в остальных была видна прочерченная линия, и проводят по скошенным краям шести окошек короткие черточки (получают 5 интервалов).

Прикладывают на глаз перпендикулярно линейку нулевым штрихом первого окошка к точке A линии AB и прочерчивают дуги по скошенным краям всех окошек (рис. 114, в).

Прикладывают нулевой штрих линейки к точке B линии AB и по концу линейки (рис. 114, г) находят пересечение с последней (шестой) черточкой, сделанной при положении линейки 114, в. В пересечении получают точку C . Аналогично производят построение прямоугольного треугольника с другой стороны линии AB и получают точку D (рис. 114, д, е).

Прикладывают линейку к линии CD и прочерчивают короткие штрихи по скошенным краям окошек.

Соединив точки $A, C; C, D; D, B$, а также одноименные точки, расположенные на противоположных сторонах прямоугольника $ACDB$, получают сетку квадратов (рис. 114, ж).

Для контроля построенной сетки прикладывают скошенный край линейки к соответственным вершинам квадратов. Все вершины должны лежать на прямой линии. Сетку можно также проверить, сравнивая стороны или диагонали квадратов. Допустимая погрешность построения $\pm 0,2$ мм.

Для получения при помощи линейки ЛД-1 сетки из 12 квадратов (3×4) надо построить два прямоугольных треугольника с катетами 40×30 см и гипотенузой 50 см. Порядок построения тот же, что и при построении сетки 5×5 квадратов.

При помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки

Этим способом можно воспользоваться при построении небольшого числа квадратов сетки.

На листе бумаги, размер которого рассчитан согласно координатам вершин полигона, с помощью выверенной линейки проводят диагонали. От точки пересечения диагоналей по всем четырем направлениям откладывают равные отрезки (рис. 115). Концы отрезков соединяют прямыми линиями и получают прямоугольник, являющийся базой для построения сетки. На сторонах прямоугольника откладывают при помощи циркуля-измерителя (или штангенциркуля) отрезки по 10 см. Соединив соответствующие точки противоположных сторон прямоугольника, получают сетку квадратов.

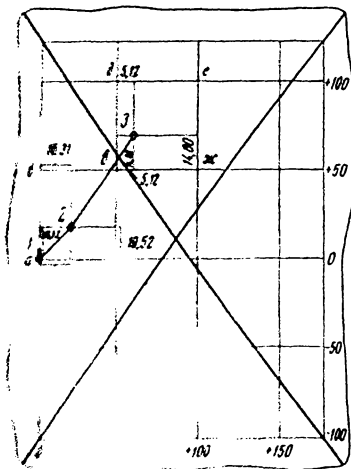


Рис. 115. Построение сетки квадратов при помощи линейки и циркуля-измерителя

Правильность построения сетки контролируют путем сравнения длин сторон или диагоналей квадратов. Погрешность построения не должна превышать $\pm 0,2$ мм.

Построенную одним из описанных способов сетку подписывают по осям x и y в соответствии с масштабом плана. Для этой цели выбирают начало координат так, чтобы участок местности, подлежащий построению, разместился посередине листа бумаги. От выбранных начальных осей подписывают координаты x и y каждой вершины квадратов.

Пример выбора начальных осей координат и подписи вершин квадратов сетки для масштаба 1 : 500 и значения координат вершин основного полигона (см. табл. 63) приведен на рис. 115.

Построение теодолитных ходов по координатам их вершин

Построение производят при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки.

Первая вершина основного полигона, как это следует из табл. 63, находится в начале координат. В этом месте иголкой циркуля-измерителя делают накол диаметром 0,1 мм, обводят его кружком диаметром 1,5 мм и подписывают номер вершины.

Для построения второй точки необходимо сначала, сообразуясь с ее координатами и координатами вершин сетки, найти квадрат, в котором она должна находиться. Для нашего примера это будет квадрат с вершинами a , b , v , z (см. рис. 115). Для построения точки 2 надо отложить значение x_2 от точек a и z по сторонам ab и zv , равное +19,52 м, и значение y_2 от точек a и b по сторонам az и bv , равное +18,31 м. В пересечении линий, соединяющих концы отложенных отрезков, получают плановое положение точки 2.

Для построения третьей вершины полигона в квадрате *вдвж* (см. рис. 115) на его сторонах откладывают разности координат точки 3 и соответствующих линий сетки

$$\Delta x = 64,80 - 50 = 14,80,$$

$$\Delta y = 55,12 - 50 = 5,12.$$

Аналогично производят построение всех других точек основного полигона и диагонального хода. Каждую точку накалывают и обводят кружком диаметром 1,5 мм.

Правильность построения точек контролируют, сравнивая расстояние между ними, определенные при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки в масштабе плана, с соответствующими горизонтальными проложениями, взятыми из графы 6 ведомости вычисления координат (см. табл. 63 и 67). Допустимое расхождение $\pm 0,2$ мм.

Для выявления грубых ошибок построения сторон теодолитных ходов целесообразно при помощи транспортира определить их румбы и сравнить полученные значения с имеющимися в графе 5 ведомости (см. табл. 63 и 67).

После построения вершин теодолитных ходов и контроля работы их последовательно соединяют тонкими линиями. Построенное таким образом плановое обоснование служит опорой для накладки контуров местности.

Построение контуров местности

Построение контуров местности на плане производится на основе абрисов (см. рис. 110—112). Способ построения контуров на плане соответствует способу съемки их на местности.

Для построения контуров пользуются транспортиром, циркулем-измерителем и масштабной линейкой.

При построении контуров способом перпендикуляров от начала опорной линии, построенной на бумаге, откладывают расстояния до оснований перпендикуляров, указанные в абрисе. В конце отложенных расстояний, пользуясь выверенным прямоугольным треугольником, строят перпендикуляры. На перпендикулярах откладывают их длину. Соединив концы перпендикуляров, получают изображения контура местности.

Для накладки точек, снятых полярным способом, центр транспортира совмещают с вершиной хода, принятой за полюс, а нуль транспортира совмещают с направлением на предыдущую вершину теодолитного хода. По дуге транспортира откладывают углы, измеренные теодолитом при визировании на точки местности.

Транспортир снимают и прочерчивают линии на построенные точки. На прочерченных направлениях откладывают расстояния, указанные в абрисе. Построенные таким образом точки соединяют и получают плановое положение контура.

Построение углов транспортиром производят с точностью $\frac{1}{4}$ его наименьшего деления — 7,5'.

Построение точек местности способом угловых засечек производят при помощи транспортира, для чего в вершинах опорных сторон откладывают углы, величина которых указана в абрисе. Пересечение сторон построенных углов дает положение искомой точки.

Построение точек линейной засечкой выполняется при помощи циркуля-измерителя. Решение задачи сводится к построению треугольника по трем сторонам, длины которых измерены на местности.

При построении контуров местности все вспомогательные построения выполняют тонкими линиями. Значения углов и расстояний, приведенные в абрисе, на план не наносят.

Оформление плана

Оформление плана производят после проверки правильности построения контуров местности.

На план наносят в карандаше условные знаки с соблюдением их размеров и начертания согласно действующим «Условным знакам для планов масштаба 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500».

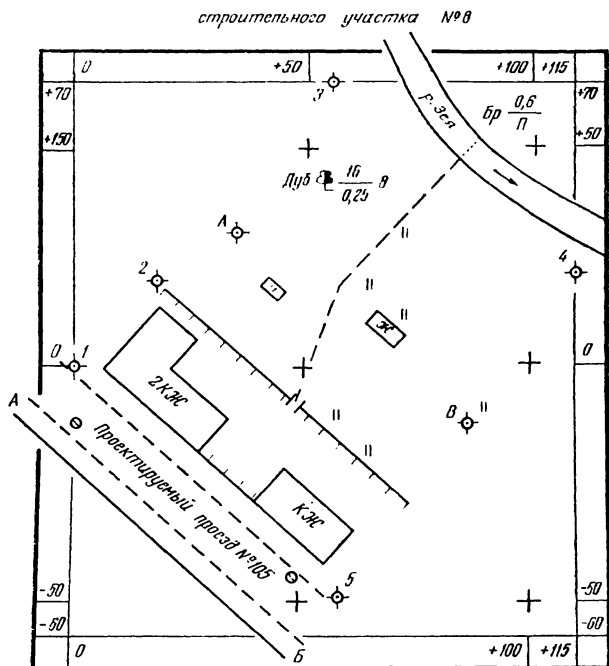
В ряде случаев используются рекомендации соответствующих ведомственных инструкций.

Все линии на плане вычерчивают толщиной 0,15 мм. Исключения составляют линии, толщина которых предусмотрена «Условными знаками».

Сетку квадратов полностью не вычерчивают: обозначают лишь крестиками 6 × 6 мм их вершины.

Полностью оформленный план в карандаше обводят тушью, соблюдая требования «Условных знаков».

Представление об оформлении плана теодолитной съемки дает рис. 116.



*Под литерой АБ
показана красная
линия застройки*

*Масштаб 1:500
в 1 сантиметре 5 м*

*План составлен
по данным теодо-
литной съемки
1977г*

техн. Иванов И.И.

Рис. 116. Оформление плана мест-ности

План ориентирован по дирекцион-ному направлению

Вопросы для самоконтроля

1. Какова цель теодолитной съемки?
2. Какая опора (съёмочное обоснование) создается для выполнения теодолитной съемки?

3. Каково назначение диагонального хода?
4. Какие измерения выполняют в поле при создании съемочного обоснования теодолитной съемки?
5. Перечислите основные способы съемки контуров местности.
6. Какие полевые документы (журналы) ведут при производстве теодолитной съемки?
7. Какие приборы (основные и вспомогательные) применяют при производстве теодолитной съемки?
8. Как определить угловую невязку и ее допустимую величину в полигоне и диагональном ходе?
9. Какой порядок увязки углов?
10. Какой порядок вычисления контроля дирекционных углов сторон теодолитного хода?
11. Какой порядок вычисления приращений координат и как определяют знаки приращений координат?
12. Как определяют невязку в приращениях координат и ее допустимую величину в полигоне и диагональном ходе и какое правило увязки приращений координат?
13. Как вычисляют координаты вершин теодолитного хода и как контролируют вычисления?
14. Какой порядок камеральных работ при построении плана теодолитной съемки?

Г л а в а X I

ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

§ 61. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ ПРИ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ

Состав полевых работ при тахеометрической съемке следующий:

- 1) рекогносцировка местности, закрепление пунктов;
- 2) создание плано-высотного обоснования;
- 3) съемка контуров и рельефа местности;
- 4) привязка съемочного обоснования к пунктам государственной или местной сети.

В процессе рекогносцировки осуществляется знакомство с местностью, закрепляются вершины ходов, а также уточняется их положение, предусмотренное проектом, составленным по карте.

Точки (станции) съемочного обоснования по своему положению должны обеспечить удобство съемки контуров и рельефа местности.

Съемочное обоснование для составления топографического плана масштаба 1 : 500 выполняется в виде теодолитно-нивелирных ходов.

Порядок полевых работ при построении теодолитных ходов изложен в § 54.

Геометрическое нивелирование вершин теодолитного хода

с целью определения их отметок производится в порядке, описанном в § 43.

Результаты нивелирования основного и диагонального теодолитных ходов (рис. 117) и их привязка к реперу государственной нивелирной сети приведены в табл. 68 и 69 (графы 1—5).

Съемочное обоснование для составления топографического плана в масштабах 1 1000—1 5000 выполняется в виде теодолитно-высотных или теодолитно-тахеометрических ходов.

Превышения между вершинами этих ходов определяют путем тригонометрического нивелирования по правилам, изложенным в § 44. Требования, предъявляемые к тахеометрическим ходам, характеризуются данными, приведенными в табл. 70.

Теодолитно-высотные и теодолитно-тахеометрические ходы могут быть продолжены одновременно со съемкой контуров и рельефа или до производства съемки.

При проложении теодолитно-тахеометрического хода работы на станции ведут в порядке, описанном в § 43, табл. 44 и 71.

Значения места нуля, углов наклона и дальномерных расстояний определяют для каждой стороны хода дважды: в прямом и обратном направлениях. Допустимое расхождение между прямым и обратным углами наклона равно двойной точности отсчетного приспособления, а между дальномерными расстояниями — 1 300.

В табл. 71 (графы 1—9) приведены результаты наблюдений на сторонах теодолитно-тахеометрического хода (рис. 118), проложенного между линиями № 15—№ 17 и № 21—№ 24 полигонометрии. Съемка контуров и рельефа местности производится после того, как выполнены все работы на станции, относящиеся к проложению хода.

Перед началом съемки ориентируют лимб теодолита. Для этой цели совмещают нуль алидады с нулем лимба и закрепляют

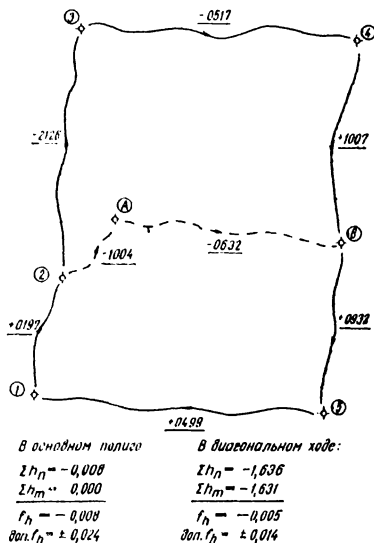


Рис. 117. Схема ходов высотного обоснования

Журнал геометрического нивелирования основного полигона

Месяц июль, 17 числа, 1977 г.

Наблюдатель: инж. Румянцев Б. П.

Вычислял: техн. Волова О. К.

№ стан- ций	№ ниве- лируемых точек	Отсчеты по рейке			Превышения		Средние превы- шения		Горизонт инстру- мента, м	Отметка.	
		задний	передний	про- межу- точ- ный							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	6 246					(11)			152,553 (12)	Нивелир НВ-1 № 1581, увеличение трубы $v =$ $= 31 \cdot$ цена деления уровня $\tau = 20''$, рейка двусторонняя, трихро- мные складные
	Репер № 62	1 560			5914		+1			152,885	
	2	4 686 (1)	6 050 1 362 4 688 (2)		1228 4686	0196 (3) 0198 (4)	0197 (5)		154,113	152,751 (13)	
2	2	5 111						+1		152,751	
	3	0 424 4 687	7 235 2 551 4 684			2124 2127		2126		150,626	
3	3	6 687						+2		150,626	
	4	2 001 4 686	7 204 2 518 4 686			0517 0517		0517		150,111	
4	4	6 887					+2			150,111	
	B	2 203 4 684	5 882 1 194 4 688		1005 1009		1007			151,120	

		31 119	33 996	2408	5285	1204	2643	—1433
		—2 877		—2877		—1439		
		—1 438		—1438				
5	B	6 336		0931		+1		151,120
	5	1 650	5 405	0933		0932		152,053
		4 686	0 717					
			4 688					
6	5	7 123					154,488	152,053
		2 435						
		4 688						
			2096			+1		152,392
			1989	0499		0499		152,499
			1877					152,611
		6 624						152,553 (14)
		1 936						
		4 688						
		17 544	14 682	+2862		+1431		1431
		+2 862		+1431				
		+1 431						
		48 663	48 678	5270	5285	2635	2643	
		—0 015		—0015				
		—0 008 (6)		—0008 (7)		—0008 (8)		

$$f_h = \sum h_{cp} = -8 \text{ мм (9)}$$

$$\text{Доп } f_h = \pm 10 \text{ мм } \sqrt{n} = 10 \sqrt{6} \approx \pm 24 \text{ мм (10)}$$

$$n = 6$$

Журнал геометрического нивелирования диагонального хода
с точки 2 в точку В

Месяц июль,

исло, 1977 г.

Вычислял

Волова О. К.

Наблюдал: инж. Румянцев Б. П.

№ станции	№ нивелируемых точек	Отсчеты по рейке			Превышения		Средние превышения		Горизонт инструмента, м	Отметка, м	Примечания
		в	передний	промежуточный	+	-	+	-			
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	5 887 1 300				1005		+2 1004		152,751	Нивелир НВ-1 № 1581, увеличение трубы $\nu = 31^\circ$, цена деления уровня $\tau = 20''$, рейки двусторонние, трехметровые складные
	A	4 687				1003				151,749	
			6 992 2 303								
			4 689								
2	A	5 188 0 498				0630		+3 0632		151,749	
	B	4 690				0634				151,120	
			5 818 1 132								
			4 686								
		12 973 -3272 -1636	16 245		0 -3272 -1636	3272 -3272 -1636	0 -1636	1636		-1,631	

$$f_h = \sum h_p - (H_k - H_0) = -1,636 - (151,120 - 152,751) = -0,005 \text{ м};$$

$$\text{доп } f_h = 10 \text{ мм } \sqrt{n} = 10\sqrt{2} \approx 0,014 \text{ м},$$

Т а б л и ц а 70

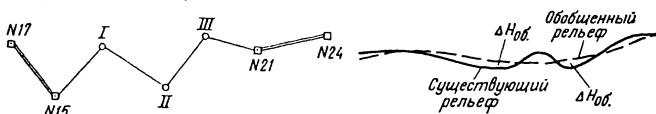
Масштаб съемки:	Максимальная длина ходов между опорными точками, м	Максимальная длина стороны хода, м	Максимальное число точек в ходе
1 : 5000	1000	250	4
1 : 2000	500	200	4
1 : 1000	200	100	2

алидаду. Вращением лимба наводят зрительную трубу на заднюю точку хода и закрепляют лимб. Наведение трубы на реечные * точки производят вращением алидады. По окончании съемки на станции проверяют ориентировку лимба.

Если съемка местности производится после проложения хода, то на каждой станции, кроме ориентирования лимба, определяют место нуля, а также измеряют высоту инструмента и отмечают ее на дальномерной рейке.

При съемке рельефа и контуров следует соблюдать требования, приведенные в табл. 72.

Съемке подлежат все контуры местности, выражающиеся в масштабе плана.



118. Схем долотно-тахеометрического хода

Рис. 119. Обобщение рельефа местности

Съемка архитектурных выступов и уступов зданий и сооружений выполняется в случае, если величина их более 0,5 мм на плане соответствующего масштаба. Съемке подлежат отдельно стоящие деревья. В масштабах 1 500—1 200 снимаются все мачты и столбы электролиний и линий связи. Съемка рек, ручьев, канав при ширине их более 3 мм на плане ведется по двум сторонам, а при ширине от 1 до 3 мм — на одной стороне. Съемке не подлежат временные сооружения. Кроме основного, полярного способа съемки контуров, могут быть использованы способы, описанные в § 56.

При съемке рельефа местности реечные точки берут на всех его характерных точках и линиях, вершинах и подошвах холмов, дне и бровках котловин и оврагов, перегибах скатов, водораздельных линиях и тальвегах (водосливных линиях). Число реечных точек должно быть строго необходимым и достаточным для изображения рельефа с заданной точностью. Правильное решение этого вопроса во многом зависит от опыта производителя работ.

Из табл. 72 следует, что число реечных точек зависит от масштаба плана и высоты сечения рельефа. Чем крупнее масштаб и меньше высота сечения рельефа, тем большее число реечных точек требуется. Однако при съемке в любом масштабе требуется обобщение рельефа. Последнее вызывает ошибки его изображения.

Известно, что предельная погрешность $\Delta H_{об}$ обобщения рельефа (рис. 119) местности с углами наклона 6° и высотой сечения h рельефа 0,5—1,0 м может быть порядка $\frac{1}{3} h$.

* Реечными называются точки, в которых при съемке контуров и рельефа устанавливается дальномерная рейка. Такие точки на местности не закрепляются,

Журнал теодолитно-тахе

№ стан- ция, высота прибора	№ наблю- дений точек	Отсчеты по даль- номеру, м $D =$ $= Cn + c$	Отсчеты по горизон- тальному кругу	Горизон- тальный угол	Среднее значение угла	Отсчеты по верти- кальному кругу	Место нуля МО
1	2	3	4	5	6	7	8
№ 15, $t = 1,49$	№ 17 /	126,5	248 52 154 31	94 21	94 21	КП 1 11	0 01 0 01
	№ 7 /		330 28 246 07	94 21		359 05 КЛ 358 51 0 57	
I_1 $t = 1,50$	№ 15 //	126,3 196,0	311 26 97 42	213 14	213 44	КП 1 25 0 50	0 01 0 01
	№ 15 //		230 40 16 56	213 44		КЛ 358 37 359 12	
II_1 $t = 1,48$		196,0 184,5	113 33 311 15	162 18	162 18	359 30 359 38	0 01 0 01
			196 18 34 00	162 18		КЛ 0 32 0 24	
III_1 $t = 1,51$	II № 21	185,0 212,0	48 16 211 27	196 49	196 50	КП 0 25 0 55	0 01 0 01
	II № 21		340 11 143 21	196 50		КЛ 359 37 359 07	
№ 21, $t = 1,50$	III № 24	212,0	256 57 29 39			КП 359 06 2 11	0 02 0 01
	III № 24		341 34 114 15			КЛ 0 58 357 51	

ометрического хода

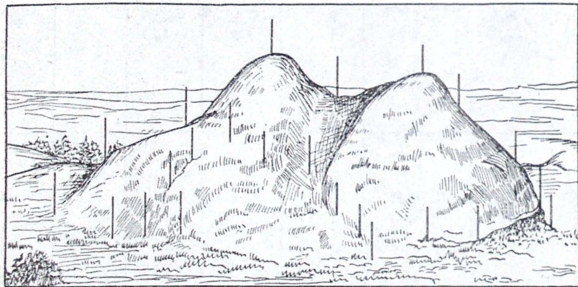
Угол наклона γ	Горизон- тальные проложе- ния, м $d =$ $D \cos^2 \gamma$	Превыше- ние, м $h' =$ $\frac{D}{2} \sin^2 2\gamma$	Высота визиро- вания l , м		Превыше- ние, м $h = h' +$ $+ l - l$	Отметки, м	
						станций	реечных точек
9	10	11	12	13	14	15	16
—0 56	126,5	—2,06	2,00	—0,51	—2,57	126,26	
+1 24 +0 49	125,9 195,9	+3,09 +2,80	2,00 2,00	—0,50 —0,50	+2,59 +2,30	123,70	
0 31 0 23	196,0 184,5	—1,77 —1,23	2,00 1,48	—0,52 0,00	—2,29 —1,23	126,03	
+0 24 +0 54	185,0 211,9	+1,29 +3,33	1,51 1,51	0,00 0,00	+1,29 +3,33	124,80	
—0 55	211,9	—3,39	1,50	0,00	—3,39	128,20	

Таблица 72

Масштаб съемки	Высота сечения рельефа, м	Виды съемок	Максимальные расстояния, м			
			между реечными точками	от прибора до рейки при съемке рельефа	от прибора до рейки	
					при съемке твердых контуров	при съемке нетвердых контуров
1 : 500	0,5	Мензульная тахсимерическая	20	100	60	80
			15	100	60	80
1 : 1000	0,5	То же	30	150	60	100
			20	150	60	100
1 : 2000	0,5		50	200	100	150
			40	200	100	150
	1,0	;	70	250	100	150
			60	250	100	150

Некоторое представление о выборе реечных точек при съемке рельефа дает рис. 120.

При съемке слабовыраженного рельефа местности возможно определение отметок точек с помощью горизонтального луча. Для этой цели против нуля верньера вертикального круга уста-



120. Выбор реечных точек при съемке рельефа:

навливают отсчет, равный месту нуля. Если зрительная труба снабжена уровнем, то после выполнения проверки параллельности визирной оси и оси цилиндрического уровня (см. § 41) теодолитом пользуются для нивелирования горизонтальным лучом. Кроме того, при слабовыраженном рельефе реечные точки располагаются на расстояниях не более 20 м при съемке в масштабе 1 : 500 и 30 м при съемке в масштабе 1 : 1000.

Во избежание пропуска в съемке местности, находящейся между станциями, необходимо предусмотреть перекрытие реечных точек, определяемых с этих станций.

Наблюдение реечных точек производят при одном положении вертикального круга (при котором лимб был ориентирован на данной станции), при этом производят отсчеты по дальномерной рейке, по горизонтальному и вертикальному кругам.

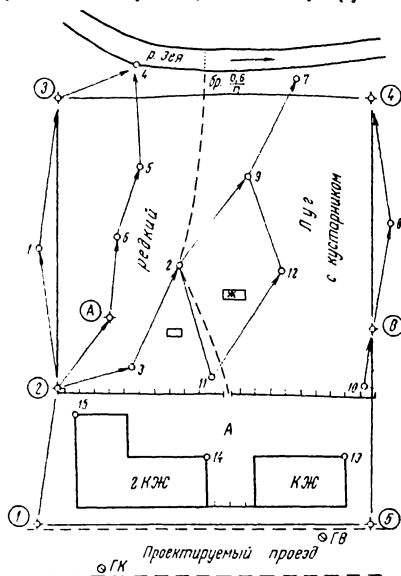


Рис. 121. Абрис тахеометрической съемки участка

Если реечная точка берется только для съемки контура, то отсчет по вертикальному кругу не производят. Порядок работы на станции при наборе реечных точек такой же, как и при наблюдении на станциях.

Все полученные отсчеты записывают в журнал тахеометрической съемки (графы 1—4 табл. 73), приведенный для случая съемки местности на основе теодолитно-нивелирного обоснования.

Попутно со съемкой местности составляют эскизный чертеж (абрис), на котором показывают рельеф и контуры (рис. 121). Такой эскизный чертеж облегчает построение плана в камеральных условиях. Скат рельефа на абрисе показывают стрелками.

Журнал тахеометрической съемки
Наблюдатель: инж. Румянцев Б. П.

Месяц июль, 19 числа, 1977 г.

Выписал: техн. Воложинина Р. М.

Наблюдаемые точки	Отсчеты				Место нуля	Угол	Горизонтальное расстояние $D \cos \alpha$	$h = \frac{D}{2}$	Высота i в метрах	Превышения $h = h' + i$	Отметки H в метрах	
	по нитяному дальномеру	по горизонтальному кругу	по вертикальному кругу	по вертикальному кругу							станции	редечных точек
1	?	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Станция № 2 $i = 1,37$												
Верх фаб. трубы	—	—	КЛ 355 21	+0 00	—	—	—	—	—	152,75	Теодолит Т-30 № 3512. Коэффициент дальномера $K = 100$, слоговое $c = 0,1$ м. Рейска пивелирная складная длиной 3 м Определение углов наклона на все редечные точки производилось при КП	
Верх фаб. трубы	—	—	КП 4 39	—	—	—	—	—	—	—		
1 г. х.	—	000	—	—	—	—	—	—	—	—		
1	28,4	168 20	357 41	0 00	—2 19	28,3	$i = i$	—1,15	—	—		
2	38,5	227 05	357 40	0 00	—2 20	38,4	$i = i$	—1,57	—	—		
3	17,2	247 30	357 30	0 00	—2 30	17,2	$i = i$	—0,75	—	—		
1 т. х.	—	0 01	—	—	—	—	—	—	—	—	151,60 151,18 152,00	
Станция № 3 $i = 1,41$												
2 т. х.	—	0 00	—	—	—	—	—	—	—	150,63	— 149,86 150,59 151,02	
4	20,5	252 00	2 18	0 00	+2 18	20,5	$i = i$	+0,82	—	—		
5	23,3	313 10	359 54	0 00	—0 06	23,3	$i = i$	—0,04	—	—		
6	31,4	341 35	0 42	0 00	+0 42	31,4	$i = i$	+0,39	—	—		
2 т. х.	—	0 01	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

3 т. х. 7 8 9 3 т. х.	Станция № 4				1,40	150,11	— —0,22 +0,47 +0,39 —	— 149,89 150,58 150,50 —
	—	0 00	—	—				
	24,8	7 15	—	24,8				
	23,5	264 55	0 00	23,5				
	32,8	333 00	0 00	32,8				
4 т. х. 10 11 12 13 4 т. х.	Станция №				1,37	151,12	— +0,47 +0,20 —0,12 +1,38 —	— 151,59 152,02 151,00 152,50 —
	—	0 00	—	—				
	19,0	182 10	0 00	19,0				
	37,4	249 00	0 00	37,4				
	21,5	298 10	0 00	21,5				
2 т. х. 14 15 2 т. х.	Станция № А				1,39	151,75	— +0,82 +0,94 —	— 152,57 152,69 —
	—	0 00	—	—				
	43,1	307 05	0 00	43,0				
	23,5	348 00	0 00	23,2				
	—	0 00	—	—				

а в. л. — точка тахеометрического хода.

§ 62. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Вычислительная обработка полевых данных, полученных при построении теодолитно-нивелирных ходов

В результате этой обработки получают координаты и отметки вершин теодолитных ходов.

Порядок работы при вычислении координат вершин основного и диагонального ходов описан в § 57.

Порядок работы при вычислении отметок вершин основного полигона (см. табл. 68) следующий.

а. Находят разности нулей (1), (2) между красными и черными сторонами задней и передней реек. Эти разности не должны различаться между собой более чем на ± 4 мм.

б. Вычисляют значения превышений (3), (4) по красным и черным сторонам реек по формуле

$$h = a - b, \quad (X1.1)$$

где a и b — соответственно задний и передний отсчеты. Расхождение между превышениями должно быть то же, что и между разностями нулей реек.

в. Вычисляют средние значения превышений (5).

г. Аналогично выполняют вычисления на всех других станциях, после чего производят контроль вычисления (6), (7), (8) превышений на каждой странице журнала (постраничный контроль) по формуле

$$\frac{\sum a - \sum b}{2} = \frac{\sum h}{2} = \sum h_{\text{ср}}, \quad (X1.2)$$

где $\sum a$ — сумма задних отсчетов; $\sum b$ — сумма передних отсчетов; $\sum h$ — алгебраическая сумма превышений и $\sum h_{\text{ср}}$ — алгебраическая сумма средних превышений.

д. Находят невязку (9) в превышениях, которая в замкнутом ходе определяется из выражения

$$\sum h_{\text{ср}} = \pm f_h. \quad (X1.3)$$

а. Полученная невязка f_h не должна превышать величины (10)

$$\text{доп } f_h = 10 \text{ мм } \sqrt{n}, \quad (X1.4)$$

где n — число станций в нивелирном ходе.

Если невязка допустима, то ее распределяют с обратным знаком поровну, долями не менее 1 мм, на все превышения. Если количество миллиметров в невязке меньше числа станций в ходе, то, при соблюдении этого условия некоторые превышения не получают поправок. Поправки со своими знаками записывают над превышениями (11).

ж. Вычисляют отметку (12) первой вершины основного полигона через горизонт инструмента

$$H_1 = H_{\text{реп}} + a - b, \quad (\text{X1.5})$$

где H_1 — искомая отметка; $H_{\text{реп}}$ — отметка репера; a — отсчет по рейке, установленной на репере, и b — отсчет по рейке, установленной на точке 1 основного полигона.

з. Вычисляют отметки (13) всех остальных точек по формуле

$$H_{k+1} = H_k + h_{\text{испр}}, \quad (\text{X1.6})$$

где H_{k+1} — отметка последующей вершины; H_k — отметка предыдущей вершины и $h_{\text{испр}}$ — увязанное превышение, взятое со своим знаком.

и. Производят постраничный контроль вычисления отметок по формуле

$$H_n - H_0 = \sum h_{\text{ср}} \pm \Delta f_h, \quad (\text{X1.7})$$

где H_n — отметка последней точки на данной странице; H_0 — отметка первой точки на данной странице; $\sum h_{\text{ср}}$ — сумма средних превышений на этой же странице; Δf_h — число единиц поправки, введенных в превышения на данной странице.

Контролем правильности вычисления отметок является также получение (14) = (12) вновь отметки исходной вершины (ход замкнутый).

к. Обработка журнала инвентирования пунктов диагонального хода (см. табл. 69) производится в описанном выше порядке; исключением является определение невязки хода. Ее находят из выражения

$$f_n = \sum h_{\text{ср}} - (H_n - H_0), \quad (\text{X1.8})$$

где H_n и H_0 — соответственно отметки конечной и начальной точек диагонального хода (в нашем примере отметки точек В и 2).

Вычислительная обработка полевых данных, полученных при проложении теодолитно-тахеометрического хода

Координаты вершин теодолитно-тахеометрического хода вычисляют по значениям средних углов хода (см. графу 6, табл. 71), горизонтальных проложений линий (графа 10) и дирекционных углов исходных сторон № 15—№ 17 и № 21—№ 24 полигонометрии. Правила и порядок вычислений аналогичны описанным в § 57

Вычисление отметок станций теодолитно-тахеометрического хода выполняется в ведомости (табл. 74) в такой последовательности.

а. В графу 1 записывают последовательно номера станций и пунктов полигонометрии, на которые опирается ход.

Ведомость вычисления отметок станций

№ станции	Горизонтальные проложения, м	Превышения, м			Поправка	Увязанные превышения, м	Отметка станций, м
		прямые	обратные	средние, $h_{ср}$			
1	2	3	4	5	6	7	8
№ 15							126,26
I	126,5	-2,57	+2,59	-2,58	+0,02	-2,56	123,70
II	196,0	+2,30	-2,29	+2,30	+0,03	+2,33	126,03
	184,8	-1,23	+1,29	-1,26	+0,03	-1,23	124,80
	211,9	+3,33	-3,39	+3,36	+0,04	+3,40	128,20
№ 21							
$\sum d = 719,2$		$\sum h_{ср} + 1,82$			+0,12	$\sum h'_{ср} = +1,94$	
$\sum d \simeq 7,2$ сотни		$\sum h_{ср} - (H_{№ 21} - H_{№ 15}) = +1,82 -$ $- (128,20 - 126,26) = -0,12$ м					
доп $f_h = \pm (4S_{100} \sqrt{n})$ см = $4 \cdot 1,8 \sqrt{4} = 14,4$ см							

б. В графы 2, 3 и 4 выписывают из журнала теодолитно-тахеометрического хода (см. табл. 71) соответственно средние горизонтальные проложения, прямые и обратные превышения между соседними станциями. Так, например, прямое превышение со станции № 15 на станцию I будет -2,57 м, а обратное, со станции I на станцию № 15, +2,59 м.

в. Если расхождения абсолютных величин прямого и обратного превышений составляют не более 4 см на 100 м расстояния, то в графу 5 записывают средние значения превышений со знаком прямого.

г. Находят невязку f_h в превышениях теодолитно-тахеометрического хода по формуле (XI.8).

Для нашего примера (см. табл. 74) невязка будет равна

$$f_h = \sum h_{ср} - (H_{№ 21} - H_{№ 15}) = +1,82 - (128,20 - 126,26) = -0,12 \text{ м} = -12 \text{ см}.$$

д. Определяют допустимую невязку доп. f_h в превышениях по формуле

$$\text{доп } f_h = \pm (4S_{100} \sqrt{n}), \quad (\text{XI.9})$$

где n — число станций хода и $S_{100} = \frac{\sum d_{100}}{n}$ — средняя длина линии, выраженная в сотнях метров. В нашем примере

$$\text{доп } f_h = \pm (4S_{100} \sqrt{n}) = 4 \cdot 1,8 \sqrt{4} \approx 14,4 \text{ см}. \quad (\text{XI.10})$$

е. Если невязка оказалась допустимой, то вычисляют поправки в средние превышения пропорционально длинам сторон хода и записывают в графу 6 со знаком, обратным знаку невязки. В графу 7 записывают увязанные превышения (с учетом поправок). ж. Вычисляют отметки станций по формуле

$$H_{k+1} = H_k + h_{\text{ср.испр}}, \quad (XI.11)$$

где H_{k+1} — отметка последующей станции; H_k — отметка предыдущей станции; $h_{\text{ср.испр}}$ — увязанное среднее превышение.

Вычисленные отметки записывают в графу 8 ведомости. Контролем правильности вычисления превышений является получение заданной высотной отметки конечной точки хода (пункта полигонометрии № 21).

Полученные отметки точек I—III теодолитно-тахеометрического хода записывают в графу 16 табл. 71 против соответствующих станций.

Вычислительная обработка журнала тахеометрической съемки

Целью обработки журнала является получение отметок реечных точек (см. табл. 73). Предварительно вычисляют превышения реечных точек над соответствующими станциями. Порядок вычислений описан в § 44.

Далее в графу 11 табл. 73 выписывают отметки станций. В рассматриваемом примере в графу 11 выписаны из табл. 68 и 69 отметки, полученные при геометрическом нивелировании точек съемочного обоснования.

Отметки реечных точек $H_{p.т}$ вычисляют из выражения

$$H_{p.т} = H_{ст} + h_{p.т}, \quad (XI.12)$$

где $H_{ст}$ — отметка станции и $h_{p.т}$ — превышение реечной точки над станцией.

Так, например,

$$\begin{aligned} H_1 &= H_{N_2} + h_1 = 152,75 - 1,15 = 151,60 \text{ м}, \\ H_2 &= H_{N_2} + h_2 = 152,75 - 1,57 = 151,18 \text{ м и т. д.} \end{aligned}$$

§ 63. ГРАФИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Целью графической обработки материалов тахеометрической съемки является построение топографического плана местности по результатам выполненных измерений и вычислений.

Графическая обработка материалов включает:

- а) построение координатной сетки;
- б) построение опорных теодолитно-нивелирных или теодолитно-тахеометрических ходов по координатам их вершин;

в) нанесение речных точек с целью построения контуров и рельефа местности по данным тахеометрического журнала и абриса;

г) оформление плана.

Построение координатной сетки, опорных ходов и контуров местности выполняется в соответствии с правилами, изложенными в § 60.

Построение речных точек, производимое, как правило, полярным способом, облегчается при использовании круглого транспортира (рис. 122) или тахеографа (рис. 123).

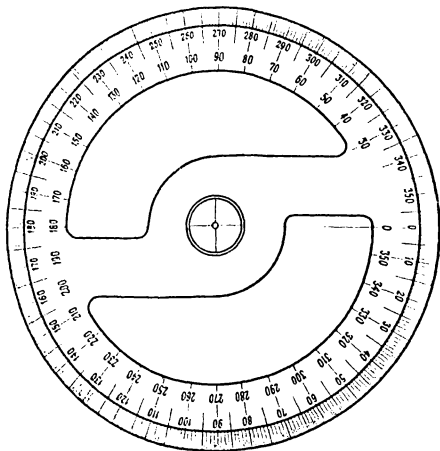


Рис. 122. Круговой транспортир

Окружность тахеографа разделена на 360° , причем подписи делений выполнены против хода часовой стрелки; цена деления тахеографа — $30'$. Центр окружности является также началом счета миллиметровых делений его линейки.

Для установки тахеографа над станцией в центре его имеется малое отверстие, в которое вставляется игла. Чтобы нанести речную точку на план, надо вращать тахеограф вокруг иглы до тех пор, пока линия, соединяющая две соседние станции (например, № 2—№ 1, см. табл. 73), не установится против отсчета $168^\circ 20'$, соответствующего направлению на первую речную точку. По линейке откладывают в масштабе плана расстояние 28,3 м и накалывают точку.

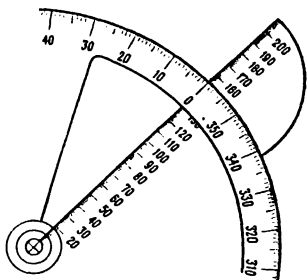
Около нанесенных тем или иным способом точек подписывают их номер и отметку.

По нанесенным на план речным точкам в соответствии с абрисом теодолитной съемки (см. рис. 110—112) и абрисом тахеометрической съемки (см. рис. 121) наносят контуры угодий и предметы местности.

Рельеф местности изображают при помощи горизонталей. Горизонтали проводят способом графического интерполирования. Последнее выполняют только по направлениям, отмеченным в абрисе стрелками.

Один из способов графической интерполяции (с помощью восковки) состоит в следующем.

На листе прозрачной бумаги (восковки) проводят параллельные линии, отстоящие одна от другой на произвольных, но равных расстояниях. Подписывают эти линии отметками, кратными высоте сечения рельефа, от самой малой до самой большой. Пусть самая малая отметка 149,5 м, самая большая 153,0 м и высота



123. Тахеограф

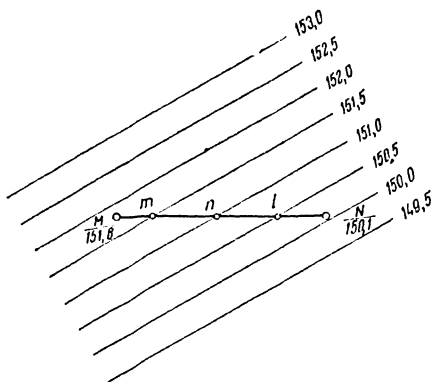


Рис. 124. Графическая интерполяция при помощи восковки

сечения рельефа равна 0,5 м. Для интерполяции по линии MN (рис. 124) изготовленную таким образом палетку накладывают на план так, чтобы одна из точек, например M, заняла положение между параллельными линиями восковки соответственно своей отметке 151,8. Проколов осторожно восковку в намеченной точке

и удерживая острие иглы измерителя в ней, поворачивают восковку вокруг иглы так, чтобы точка N , видимая через кальку, расположилась между линиями 150,0 и 150,5 восковки и заняла положение, соответствующее ее отметке 150,1. Закрепив в этом положении палетку, перекалывают иглой измерителя на план точки m , n , l пересечения линий восковки с линией MN плана и подписывают их отметки (равные отметкам соответствующих параллельных линий). Аналогично производится интерполяция по всем остальным направлениям, указанным в абрисе*. Точки с одинаковыми отметками соединяют плавными линиями и таким образом получают горизонтали.

Оформление плана

Оформление плана начинают с вычерчивания рамки. Фрагмент рамки показан на рис. 125. Рамку строят с таким расчетом, чтобы план участка разместился примерно посередине ее. В случае

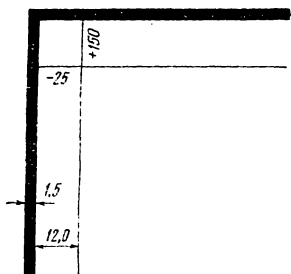


Рис. 125. Фрагмент оформления рамки плана (размеры указаны в миллиметрах)

необходимости, например при пересечении контура участка с рамкой, последнюю можно разорвать. Внутренняя граница рамки может совпадать со сторонами сетки квадратов либо быть смещенной относительно их на целое число сантиметров. Координаты четырех вершин внутренней границы рамки подписывают в зависимости от координат вершин сетки квадратов.

Все контуры и рельеф, изображенные на плане, вычерчивают тушью в соответствии с «Условными знаками для топографических планов масшта-

бов 1 5000, 1 2000, 1 1000 и 1 500». При этом необходимо тщательно выдерживать очертания и размеры, а также порядок размещения значков, приведенные в Условных знаках.

При вычерчивании элементов рельефа горизонтали проводят коричневой тушью (жженой сеной), толщина горизонталей 0,1 мм. Отметки горизонталей, кратные четырем сечениям рельефа (2 м), подписываются в разрывах горизонталей; при этом верх цифры должен быть обращен в сторону повышения ската местности. Отметки горизонталей также показываются жженой сеной (в от-

* Может оказаться, что при данном расстоянии между параллельными линиями уложить на плане восковку соответственно отметкам двух данных точек плана не удастся. На этот случай целесообразно иметь несколько восковок с разными расстояниями между параллельными линиями.

§ 64. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТАХЕОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Автоматизация тахеометрической съемки достигается применением комбинированных топографо-геодезических приборов, к числу которых относятся тахеометры-автоматы. Эти приборы сочетают в себе угломерные устройства для измерения горизонтальных и вертикальных углов, а также устройства, позволяющие определять расстояния и превышения по рейке, а иногда и без рейки.

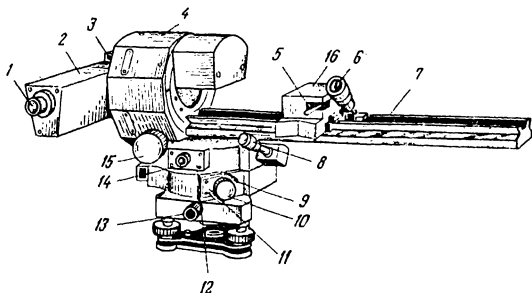


Рис. 127. Тахеометр внутрибазный (ТВ)

1 — диоптрийное кольцо окуляра зрительной трубы; 2 — зрительная труба; 3 — оптический визир; 4 — колонка; 5 — рукоятка; 6 — линза; 7 — базовая шина; 8 — диоптрийное кольцо микроскопа; 9 — закрепительный винт; 10 — наводящий винт; 11 — крышка, прикрывающий горизонтальный круг; 12 — микроскоп оптического центра; 13 — наводящий винт; 14 — подвижная каретка

Устройство для определения расстояния и превышения может быть реализовано в виде номограммы, наблюдаемой в поле зрения трубы тахеометра, или в виде оптического компенсатора в системе с двойным изображением.

Таким образом, тахеометры-автоматы представляют собою комбинацию основных узлов теодолитов и дальномеров, описание которых приведено соответственно в гл. IV и V.

Ниже рассмотрены основные типы тахеометров-автоматов.

Тахеометр внутрибазный (ТВ) (рис. 127) выпускается отечественными заводами в соответствии с ГОСТ 10812—74. Прибором можно определять расстояния, редуцированные на горизонтальную плоскость, и превышения по измеренным углам наклона и редуцированным расстояниям.

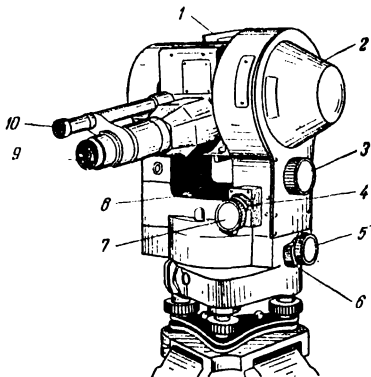
Угломерная часть прибора содержит ломаную зрительную трубу прямого изображения и отсчетные системы горизонтального и вертикального кругов. Осевая система кругов — неповторительная. Отсчет по лимбам производится при помощи штрихового микроскопа. Погрешность измерения горизонтального угла одним приемом составляет 30%.

Для измерения редуцированных на плоскость (горизонтальных) расстояний тахеометр снабжен дальномером двойного изображения с переменной базой внутри прибора. Изменение базы достигается перемещением подвижной каретки 16. Точность определения расстояний 1 : 1000.

Расстояния до 60 м могут быть измерены без рейки, по контуру местности, а от 60 до 180 — при помощи горизонтально расположенной специальной рейки. Измерение расстояний без рейки, по контуру, позволяет использовать прибор при тахеометрических

Рис. 128. Редуцирующий тахеометр ТД (ТП)

1 — оптический визир; 2 — место расположения дальномерно-высотного узла; 3 — рукоятка переключения режима работы дальномерно-высотного узла; 4 — закрепительный и 7 — наводящий винты трубы; 5 — наводящий и 6 — закрепительный винты алидады; 8 — цилиндрический уровень; 9 — окуляр трубы; 10 — окуляр микроскопа



съемках труднодоступных участков, в городах с интенсивным движением, а также на стройплощадках.

Тахеометр ТД (рис. 128) предусмотрен ГОСТ 10812—74, до 1975 г. выпускался под шифром ТП.

Тахеометр сконструирован на базе теодолита Т5К, а потому угломерная часть и технические характеристики отсчетных и осевых систем ТД и Т5К совпадают.

Прибор снабжен дальномерной системой, оптический компенсатор которой работает в режиме дальномера или высотомера. Из одного режима работы в другой он переводится рукояткой 3, на которой имеются обозначения *S* и *H*, соответствующие двум режимам работы дальномера-высотомера. Последний имеет базу, расположенную у визирной цели. Этой базой является двухметровая горизонтально устанавливаемая на штативе рейка. Отсчет по рейке производится с помощью нониуса и отсчетного микроскопа, что увеличивает точность работы дальномера-высотомера.

Дальномер-высотомер дает возможность измерять редуцированные (приведенные к горизонтальной плоскости) расстояния,

а также автоматически определять превышения по одной и той же горизонтально расположенной базе.

Точность определения горизонтальных расстояний составляет 2—3 см на 100 м, превышений 3—4 см на 100 м и углов 5—6', определенных из одного приема.

Тахеометр ТД предназначен для производства тахеометрических съемок повышенной точности и проложения полигонометрических ходов 2 разряда.

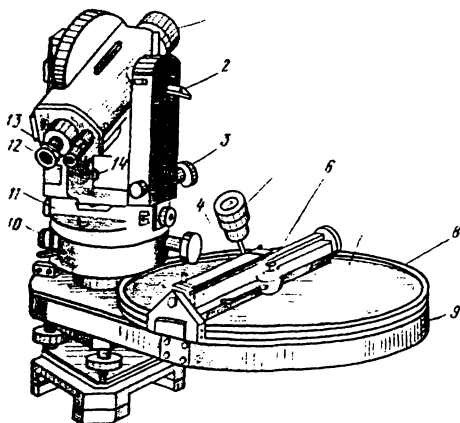


Рис. 129. Редуцированный тахеометр Дальта-020

1 — объектив; 2 — рычаг закрепления трубы; 3 — наводящий винт трубы; 4 — масштабная линейка; 5 — лупа для рассматривания делений линейки; 6 — приспособление для увеличения точности; 7 — алидада; 8 — вращающаяся деталь столика; 9 — столик; 10 — горизонтальный винт алидады; 11 — цилиндрический уровень; 12 — окуляр зрительной трубы; 13 — окуляр отсчетного микроскопа; 14 — наводящий винт для приведения пузырька уровня вертикального круга в нуль-пункт

Тахеометр Дальта-020 (рис. 129, ГДР) предназначен для определения расстояний, редуцированных на горизонтальную плоскость, и превышений при помощи номограмм, видимых в поле зрения трубы, и вертикально расположенной у цели рейки.

Прибор является оптическим теодолитом с повторительной системой осей и имеет трубу прямого изображения.

Тахеометр имеет два вертикальных круга. Один круг градуирован и вращается вместе с трубой, другой с номограммами firmly неподвижно прикреплен к подставке трубы. Изображения горизонтального и вертикального градуированных кругов при

помощи оптической системы переданы в поле зрения отсчетного штрихового микроскопа, а изображения номограмм при круге лево — в поле зрения трубы (рис. 130).

Диаграмма содержит основную кривую 1, кривые превышений 2 и кривую горизонтальных проложений 3. Всего имеется три пары кривых превышений с коэффициентами ± 10 , ± 20 и ± 100 .

Дополнительным приспособлением к тахеометру Дальта-020 является съемочный столик Karti 9 (см. рис. 129), позволяющий

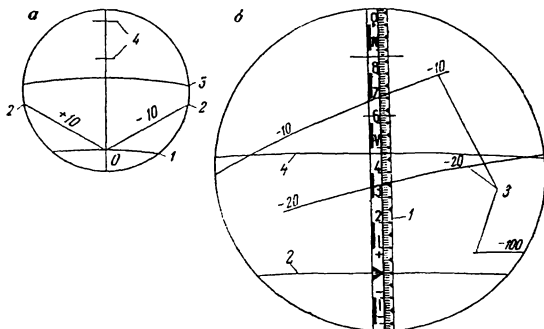


Рис. 130. Поле зрения трубы тахеометра Дальта-020

а — и горизонтальной визуре: 1 — основная кривая, 2 — кривые превышений, 3 — кривая горизонтальных проложений, 4 — дальномерные нити; б — при наклонной визуре

снимаемые полярным способом точки наносить на чертежную основу непосредственно в поле, на станции. Нанесение производится на тонких листах астралона, кальки или другого прозрачного материала при помощи приспособления для накалывания б и масштабной линейки 4.

Полученные на каждой станции полевые оригиналы (основы) затем в камеральных условиях объединяют в сводный план (составительский оригинал).

Такой метод получения топографических планов называется полуавтоматическим картированием; он находит широкое применение в практике.

Из изложенного следует, что применение тахеометров-автоматов позволяет непосредственно по рейкам отсчитывать горизонтальные расстояния и превышения, что сокращает объем вычислений.

Так, например, чтобы получить расстояние и превышение тахеометром Дальта-020, надо привести прибор в рабочее положение, навести основную кривую 2 на нуль рейки 1, находящийся

выше ее пятки на 1,40 м (рис. 131), вертикальную нить — на середину рейки и произвести отсчеты по кривым превышений 3 (см. рис. 130):

$$0,702 \cdot (-10) = -7,02 \text{ м};$$

$$0,350 \cdot (-20) = -7,00 \text{ м}.$$

Горизонтальное расстояние, прочитанное по кривой 4, будет $0,476 \cdot 100 = 47,60 \text{ м}$.

Проверки тахеометров-автоматов такие же, как и у оптических повторительных теодолитов с односторонней системой отсчитывания.

Кроме того, выполняются специальные исследования, в результате которых определяются величины коэффициентов кривых диаграмм. Эти исследования желательно выполнить в оптико-механической мастерской.

Вопросы для самоконтроля

1. Какова цель тахеометрической съемки?
2. Какой состав полевых работ при тахеометрической съемке?
3. Какие виды съемочного обоснования создают для производства тахеометрической съемки?
4. Какие приборы применяют при тахеометрической съемке?
5. Какие полевые документы (журналы) ведут при тахеометрической съемке?
6. Что такое реечные точки; какой принцип выбора их при съемке контуров и рельефа местности?
7. Какие измерения надо произвести, чтобы получить плановое положение реечной точки, ее высоту?
8. Когда применяют основную и сокращенную формулы тригонометрического нивелирования?
9. В чем состоит различие между основной и преобразованной формулами тригонометрического нивелирования?
10. В чем состоит различие между абрисами теодолитной и тахеометрической съемок?
11. Какой порядок ориентирования лимба на станции?
12. Какой формулой пользуются для получения горизонтального проложения линии, измеренной дальномером?
13. Какой порядок обработки журнала тахеометрической съемки?



Рис. 131. Дальномерная рейка

14. Какой порядок и состав камеральных работ при построении топографического плана по результатам тахеометрической съемки?

15. В чем сущность полуват матической съемки?

Г л а в а XII

НИВЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ

§ 65. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И ПОРЯДОК РАБОТЫ

Нивелирование поверхности выполняется с целью получения топографического плана местности.

Различают способы нивелирования поверхности по параллельным линиям (по магистралям), полигонам и по квадратам (см. § 97 учебника).

Н и в е л и р о в а н и е п о в е р х н о с т и п о к в а д р а т а м находит широкое применение в строительстве. Основой для производства нивелирования является сеть квадратов, разбиваемая на местности. При нивелировании больших участков сторона квадратов может быть 100 или 200 м.

Построение сетки квадратов выполняют при помощи теодолита и ленты. Для этой цели по границе участка строят прямоугольник, на сторонах которого закрепляют вершины квадратов. Вершины квадратов внутри участка находят на пересечении створов, проходящих через соответствующие точки, закрепленные на противоположных сторонах внешнего прямоугольника.

Основные квадраты разбивают на заполняющие со сторонами 20—40 м в зависимости от рельефа участка. Вершины основных квадратов закрепляют бетонными или деревянными столбами, а заполняющих — кольями. Попутно с разбивкой сети квадратов ведут съемку контуров местности. Контуры местности привязывают к сторонам квадратов. Схему разбивки квадратов и данные съемки контуров вычерчивают на бумаге.

Квадраты со стороной 100—200 м нивелируют каждый в отдельности. Последовательность выполнения работы в этом случае изложена в § 97 учебника.

Порядок работ в заполняющих квадратах предусматривает нивелирование с одной станции вершин нескольких квадратов (рис. 132). При этом каждые две смежные станции должны иметь общие связующие точки. Например, для станций I и II этими точками будут $г_3$ и $д_3$.

В нашем примере отметки вершин внешнего квадрата были определены при нивелировании вершин основных фигур. На каждой из трех станций, показанных на рис. 132, определен горизонт инструмента. Так, на станции I горизонт инструмента H_i равен

$$H_i = 152,650 + 0,864 = 153,514 \text{ м.}$$

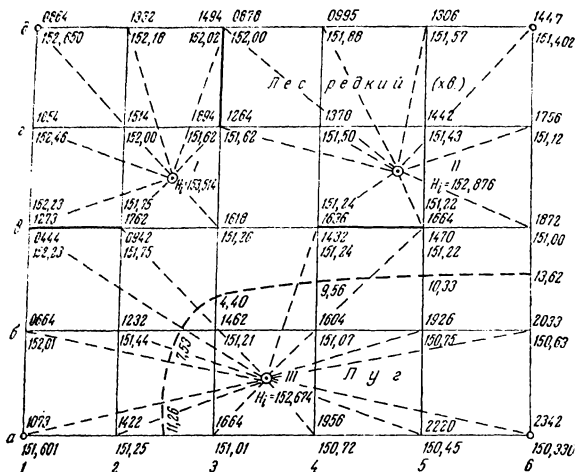


Рис. 132 Нивелирование поверхности по квадратам со стороной 20 м

План строительного участка №8

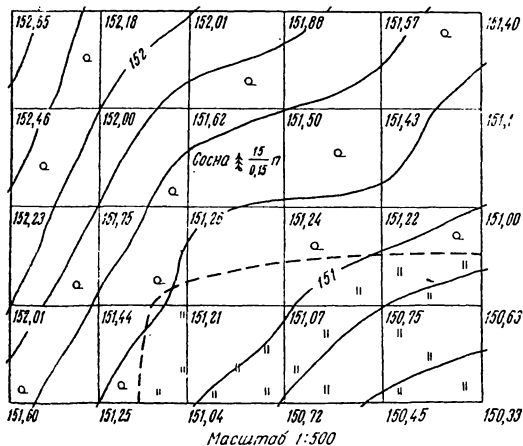


Рис. 133. План строительного участка

Отметки вершин, вычисляемые через горизонт инструмента, на станции I получаются равными

$$H_{22} = 153,514 - 1,332 = 152,182 \approx 152,18 \text{ м};$$

$$H_{21} = 153,514 - 1,054 = 152,460 \approx 152,46 \text{ м и т. д.}$$

Если на небольшом участке местности построена самостоятельная сеть квадратов со сторонами 20—40 м, то обработка результатов состоит в следующем.

На схеме (см. рис. 132) выделяют замкнутый опорный ход, составленный связующими точками, на которые отсчеты брались со смежных станций. Такими точками, например, могут являться точки $в2$, $з3$ и $в5$. Эти точки находятся в вершинах замкнутого хода, в данном случае треугольника, по сторонам которого вычисляют превышения. Превышения вычисляют по отсчетам, сделанным с одной и той же станции, увязывают (табл. 75) и вы-

Т а б л и ц а 75

Увязка превышений опорного хода

№ точек	Превышения, м		Отметки
	вычисленные	исправленные	
2			151,752
3	+1		
	-0,132		151,621
5	+2		
	-0,400	-0,398	151,223
2	+1		
	+0,528	+0,529	151,752
	+0,528	+0,529	
	-0,532	-0,529	
$f_h = -0,004$		0,000	
доп $f_h = \pm 5 \text{ мм } \sqrt{n}$, где n — число станций.			

числяют отметки точек опорного хода. На одну из точек опорного хода передают отметку с пунктов нивелирной сети.

Полученные отметки опорного хода используют для вычисления горизонта инструмента и в дальнейшем для вычисления отметок вершин квадратов по правилу, изложенному выше.

Построение топографического плана по результатам нивелирования поверхности по квадратам состоит в нанесении на бумагу в заданном масштабе сети квадратов. Около каждой вершины квадрата выписывают их отметки, округленные до сотых долей метра. Путем интерполирования рисуют горизонтали согласно правилам, описанным в § 63, и по данным абриса наносят контуры местности. Представление об оформлении плана дает рис. 133.

1. Какова цель нивелирования поверхности?
2. Перечислите способы нивелирования поверхности и области их применения.
3. Какой порядок полевых работ при нивелировании поверхности по квадратам при различной длине сторон квадратов?
4. Каковы способы контроля отсчетов по рейкам при нивелировании поверхности по квадратам?
5. Какой порядок камеральных работ при построении топографического плана по результатам нивелирования поверхности по квадратам?

Г л а в а XIII

МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА *

В состав полевых работ мензульной съемки входит построение съемочного обоснования и производство съемки. Камеральные работы включают подготовку планшета, проверку и обработку полевых журналов, вычисление отметок точек съемочного обоснования, составление калек высот и контуров и оформление плана местности.

§ 66. МЕНЗУЛЬНЫЙ КОМПЛЕКТ, ЕГО УСТРОЙСТВО И ПОВЕРКИ

В мензульный комплект входят: мензула, кипрегель, ориентир-буссоль, вилка для центрирования и полевой зонт.

Мензула (рис. 134) состоит из трех частей: *а* — штатива, *б* — подставки и *в* — мензульной доски (планшета). Подставки мензулы бывают металлические (см. рис. 134, б) и деревянные (рис. 135).

Главными частями кипрегеля КА-2 (см. рис. 134) являются: линейка 3 со скошенным краем для прочерчивания направлений на планшете, зрительная труба 7 и вертикальный круг 10. На лимбе вертикального круга, кроме градусных делений, нанесены номограммы кривых, видимых в поле зрения трубы (рис. 136) при положении КЛ. Изображения делений вертикального круга видны на горизонтальной части Г-образной посеребренной полоски, а номограммы кривых горизонтальных расстояний и превышений — на вертикальной.

Для определения превышений и редуцированных расстояний по номограммам кривых надо навести основную кривую *Н* на нуль рейки, установленный на высоте кипрегеля, привести пузырек

* См. главу XV учебника.

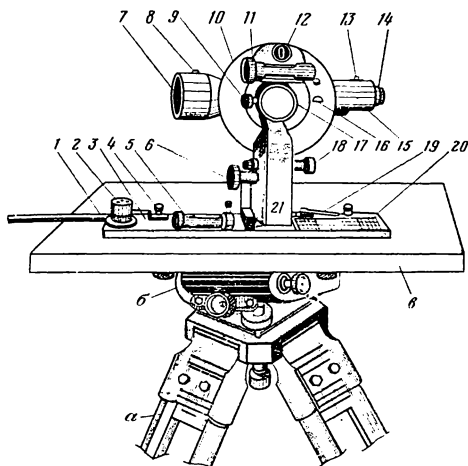


Рис. 134. 1 — мензула и кипрегель КА-2

Мензула: *а* — штатив, *б* — подставка, *в* — планшет. Кипрегель КА-2: 1 — узкая линейка; 2 — ролик для малых поворотов кипрегеля из планшета; 3 — широкая линейка; 4 — шарнир; 5 — цилиндрический уровень; 6 — наводящий винт лимба; 7 — объективная часть трубы; 8 — целик; 9 — закрепительный винт лимба; 10 — лимб; 11 — цилиндрический уровень; 12 — призма уровня; 13 — мушка; 14 — фокусирующее кольцо окуляра; 15 — коробка призмы; 16 — осветительное зеркало; 17 — ограничители вращения трубы; 18 — наводящий винт трубы; 19 — защелка узкой линейки; 20 — масштабная линейка; 21 — крошечный-ручка

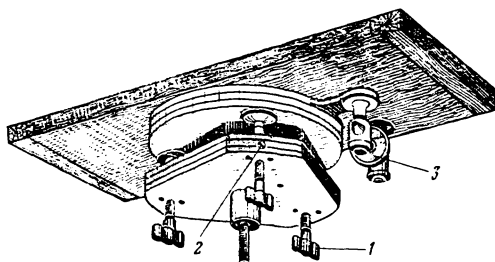
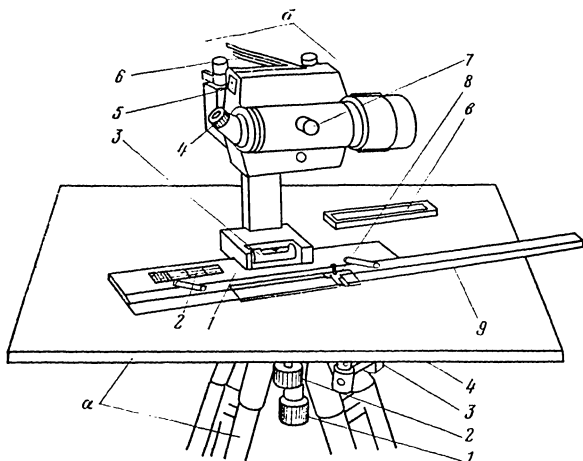


Рис. 135. Деревянная мензула

1 — подъемный винт; 2 — винт регулировки хода подъемного винта; 3 — наводящий винт

1 — изображение рейки; 2 — посеребренная пластинка; 3 — основная кривая; 4 — кривые превышений; 5 — кривая редуцированных расстояний; 6 — дальнометрические штрихи; 7 — деления вертикального круга

а — мензула; 1 — закрепительный (становой) винт; 2 — винт крепления подставки с планшетом; 3 — изводящий винт подставки; 4 — планшет; 6 — киригель; 1 — основная и 2 — масштабная линейки; 3 — уровень при линейке; 4 — ломаный окуляр; 5 — уровень при трубе; 6 — зеркало уровня; 7 — кремальера; 8 — штифт для наклона; 9 — дополнительная линейка; а — буссоль


$$h = 0,314 \cdot (+20) = +6,28 \text{ м};$$

$$h = 0,063 \cdot (+100) = +6,30 \text{ м.}$$

а горизонтальное расстояние, определенное по кривой 5, составит

$$d = 0,174 \cdot 100 = 17,4 \text{ м.}$$

Кипрегель номограммный (КН) (рис. 137, б).
Недостатком кипрегеля КА-2 является ограничение поля зрения

Рис. 138. Поле зрения трубы кипрегеля КН

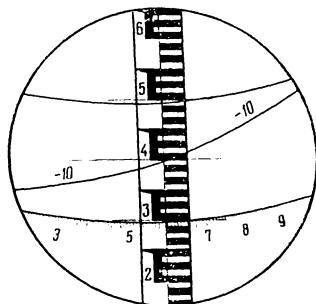
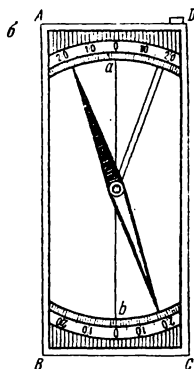
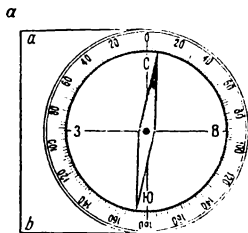


Рис. 139. Буссоли:

а — мензульная буссоль; б — ориентир-буссоль



трубы Г-образной пластиной, что существенно снижает эксплуатационные качества кипрегеля.

Кипрегель КН, у которого этот недостаток устранен, серийно выпускается отечественными заводами.

Труба кипрегеля имеет прямое изображение, ее поле зрения приведено на рис. 138.

Номограммы представлены тремя парами кривых превышений с коэффициентами ± 10 , ± 20 и ± 100 . Кривая редуцированных расстояний имеет коэффициент 100. Изображения диаграмм наблюдаются при КЛ.

После наведения основной кривой (расположенной в нижней части поля зрения трубы) на нуль рейки, установленный на вы-

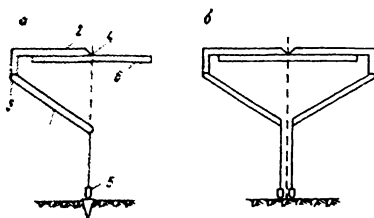


Рис. 140.

а — вилка для центрирования; 1 — нижняя планка, 2 — верхняя планка, 3 — шарнир, 4 — указатель, 5 — отвес, 6 — планшет; б — проверка вилки

соте прибора, отсчет по кривым превышений и расстояний производится так же, как у кипрегеля КА-2.

Мензула к кипрегелю КН изготовлена облегченного типа.

Буссоли, применяющиеся для ориентирования планшета, приведены на рис. 139, а и б.

Устройство вилки, служащей для центрирования точек планшета над соответствующими точками местности, и ее проверка ясны из рассмотрения рис. 140, а и б.

Проверки мензулы

1. Мензула должна быть устойчивой.

Для выполнения проверки прочно устанавливают штатив на земной поверхности, закрепляют становой винт, винты, которыми планшет крепится с подставкой, а также зажимают закрепительный винт подставки. Устанавливают кипрегель на планшет и наводят центр сетки на отдаленную точку местности. Глядя в трубу, нажимают слегка на планшет сверху и сбоку. Если после прекращения нажима центр сетки вновь установится на ту же точку, то условие выполнено.

Несоблюдение условия может явиться следствием плохого крепления планшета к подставке или подставки к штативу. Причиной тому может быть также качание подъемных винтов, накопчиков ножек штатива, головки штатива из-за слабо прикрученных винтов. Как правило, устранение перечисленных недостатков выполняется производителем работ. В противном случае исправление выполняется в геодезической мастерской.

2. Верхняя поверхность планшета должна быть плоскостью.

Для проверки условия прикладывают ребро выверенной линейки, например скошенный край линейки кипрегеля, к поверхности планшета по разным направлениям. Условие будет выпол-

нено, если между ребром линейки и поверхностью планшета просвет будет не более 0,5 мм. В противном случае исправление производится в столярной мастерской.

3. *Верхняя плоскость планшета должна быть перпендикулярна к оси его вращения.*

Проверка производится при помощи выверенного цилиндрического уровня, по которому плоскость планшета приводится в горизонтальное положение по тем же правилам, что и лимб у теодолита. Для проверки используют уровень при линейке кипрегеля. Открыв закрепительный винт подставки, вращают планшет. Если при этом пузырек уровня будет отклоняться от нуля-пункта не более чем на 2 деления, то условие выполнено. При больших отклонениях исправление производят в мастерской. Мензулой можно работать и в том случае, когда третье условие не выполнено; тогда после каждого поворота планшета его надо приводить в горизонтальное положение.

Проверки кипрегеля КА-2

1. *Скошенный край линейки кипрегеля должен быть прямой линией, а ее нижняя поверхность — плоскостью.*

Проверка скошенного края линейки производится так же, как проверка чертежной линейки. Чтобы поверить нижнюю плоскость линейки, надо установить кипрегель на планшет. Линейка должна плотно к нему прилегать.

2. *Ось уровня при линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки.*

Проверка выполняется аналогично проверке уровня при горизонтальном круге теодолита. Устанавливают на планшете кипрегель по направлению каких-либо двух подъемных винтов и по скошенному краю линейки проводят линию. Действуя этими винтами, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Переставляют кипрегель на 180° относительно прочерченной линии. Если пузырек остался в нуль-пункте, то условие выполнено. В противном случае, действуя исправительным винтом уровня, перемещают пузырек на половину дуги отклонения в сторону нуля-пункта.

3. *Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.*

Проверка производится аналогично соответствующей проверке теодолита. Наводят центр сетки на отдаленную точку местности при двух положениях вертикального круга. После каждого наведения вместо отсчетов по горизонтальному кругу прочерчивают вдоль скошенного края линейки кипрегеля тонкую линию. Если прочерченные линии совпадут, то коллимационная погрешность отсутствует. При наличии угла между линиями, равного двойной коллимационной погрешности прочерчивают его биссектрису, прикладывают к ней скошенный край линейки и, действуя исправительными винтами сетки, совмещают ее центр с изображением наблюдаемой точки.

4. *Ось вращения зрительной трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки.*

Проверка производится так же, как проверка перпендикулярности оси вращения трубы к оси теодолита (см. § 17). Условие гарантируется заводом-изготовителем.

5. *Коллимационная плоскость трубы должна проходить через скошенный край линейки или быть ему параллельной.*

Для проверки этого условия приводят планшет в горизонтальное положение, наводя центр сетки на отдаленную точку местности и по краям скошенной грани линейки устанавливают отвесно тонкие иголки. Если точка местности окажется в створе иголок, то условие выполнено. Колонки современных кипрегелей не имеют исправительных винтов. При несоблюдении условия следует работать при одном положении вертикального круга, тогда во все направления, построенные по скошенному краю линейки, будут входить одинаковые погрешности, а потому на величине угла они не скажутся. Величина погрешности должна быть учтена при ориентировании планшета по буссоли.

6. *Вертикальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.*

Проверка выполняется аналогично соответствующей проверке теодолита. Юстировка производится поворотом сетки нитей.

7. *Место нуля вертикального круга должно быть близким к нулю и постоянным* (у кипрегеля КА-2 место нуля должно быть близким к 90°).

Проверка этого условия выполняется принципиально так же, как у теодолитов (см. § 21).

Исправление места нуля у кипрегеля КА-2 производится юстировочными винтами уровня при вертикальном круге.

8. *Ось уровня при трубе кипрегеля и визирная ось должны быть параллельны.*

Проверка выполняется аналогично соответствующей проверке у теодолита ТН (см. § 41).

9. *Определение соответствия коэффициентов кривых номограмм их номинальному значению.*

Методика определения этих коэффициентов такая же, как при определении коэффициентов оптических дальномеров (см. § 26); она основана на сравнении измеренных значений со значениями, полученными из более точных определений, принимаемых за безошибочные. Определение и в случае необходимости юстировку коэффициентов рекомендуется выполнять в механической мастерской.

§ 67. ПОЛЕВЫЕ И КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПРИ МЕНЗУЛЬНОЙ СЪЕМКЕ

Подготовка планшета. Топографический план при мензульной съемке составляют на листах чертежной бумаги высокого качества. Бумагу наклеивают на авиационную фанеру или

листы алюминия. Чтобы последние не корбились, их оклеивают с обратной стороны плотной бумагой. Приготовленную таким образом жесткую основу прибивают к мензальной доске латунными или деревянными гвоздями. Вместо чертежной бумаги может быть использовано прозрачное органическое стекло (акрилат), обладающее хорошими чертежными качествами.

На планшете строят координатную сетку со стороны квадрата 10 см, наносят съемочную трапецию и пункты государственной опорной сети. Съемку в масштабе 1 : 2000 и крупнее производят в границах квадрата 50 × 50 см. Для предохранения план-

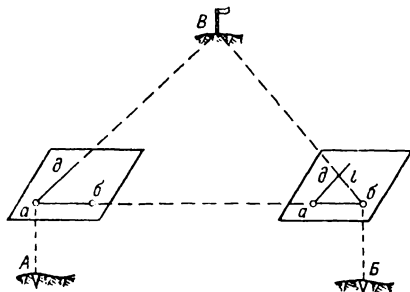


Рис. 141. Прямая засечка

шета от загрязнения на него сверху натягивают лист чертежной бумаги («рубашку»), концы которой прикрепляют к боковым граням планшета. По мере необходимости «рубашку» прорезают для работы на планшете.

Установка мензулы на станции. Установка мензулы на станции состоит из трех действий: центрирования, приведения планшета в горизонтальное положение и ориентирования.

Допустимая погрешность центрирования планшета не должна превышать половины точности масштаба. В силу этого центрирование планшета при съемке в масштабах 1 : 2000 и крупнее выполняется при помощи мензальной вилки, а при масштабах 1 : 5000 и мельче — на глаз.

Приведение планшета в горизонтальное положение выполняется с помощью уровня при линейке кипрегеля. Для этого устанавливают кипрегель по направлению двух подъемных винтов и, действуя ими, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Далее переставляют кипрегель по направлению третьего подъемного винта и, действуя им, приводят пузырек в нуль-пункт.

Ориентирование планшета производят по линии или по буссоли. Для ориентирования планшета по линии (рис. 141) устанавли-

вливают мензулу в точку A , центрируют над ней планшет и приводят его в горизонтальное положение. Прикладывают скошенный край линейки кипрегеля к линии на планшете и вращением его наводят центр сетки на точку B . В результате планшет будет ориентирован.

Для ориентирования планшета по буссоли последнюю прикладывают к восточной или западной рамкам трапеции и поворачивают планшет до тех пор, пока северный конец стрелки не установится против нуля шкалы буссоли. Чтобы ориентировать план-

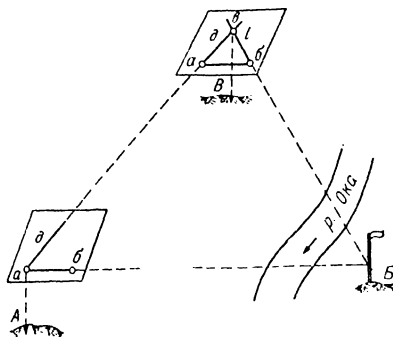


Рис. 142. Обратная засечка

шет по истинному меридиану, против северного конца стрелки должен быть установлен отсчет, равный склонению магнитной стрелки. Ориентирование планшета по линии точнее ориентирования по буссоли.

Плановое и высотное обоснование мензульной съемки. Съёмочное обоснование мензульной съемки может быть построено аналитически и графически.

При аналитическом способе на местности прокладывают, например, теодолитные ходы. Отметки вершин теодолитных ходов получают геометрическим нивелированием.

Графический способ создания съёмочного обоснования заключается в построении на планшете системы точек, расположенных в вершинах смежных треугольников. Плановое положение этих точек получают при помощи прямой или обратной засечки при наличии на планшете проекции двух точек местности.

Прямая засечка. Устанавливают мензулу в точке A (см. рис. 141), ориентируют по линии AB и через точку a планшета прочерчивают направление на точку B местности. Переходят с мензулой на точку B , ориентируют планшет по линии BA и через

точку *б* планшета проводят направление на точку *В*. В пересечении прочерченных направлений *ад* и *бл* получают плановое положение точки *В* местности.

Обратная засечка. Эта засечка применяется в случае, когда одна из исходных точек недоступна для установки мензулы.

Пусть мензула установлена в точке *А* (рис. 142) и планшет ориентирован по линии *АВ*. Через точку *а* планшета проводят направление *ад* на точку *В* местности. Переходят с мензулой на точку *В* и ориентируют планшет по линии *да*. Прикладывают скошенный край линейки кипрегеля к точке *б* так, чтобы центр сетки совпал с изображением точки *В* местности, и проводят направление *бл*. В пересечении направлений *ад* и *бл* получают точку *в*, которую центрируют над точкой *В* местности.

Система опорных точек, полученная при помощи прямой и обратной засечек, образует геометрическую сеть. Отметки вершин геометрической сети получают тригонометрическим нивелированием.

Построение геометрической сети может быть выполнено на основе пунктов триангуляции и полигонометрии (см. § 77 учебника). Геометрическую сеть для съемки небольших участков развивают на основе одного базиса. Работа выполняется следующим образом.

Базис, по возможности, выбирают в середине участка, измеряют его длину в прямом и обратном направлениях и в масштабе съемки наносят на предварительно ориентированный по буссоли планшет. Длина базиса зависит от масштаба съемки, но не должна быть менее 5—7 см на планшете. Вокруг базиса создают систему точек, удобных для съемки, забивают в них колья и устанавливают вехи. Выбранные точки должны образовывать сеть смежных треугольников со сторонами, примерно равными длине базиса. С концов базиса при помощи прямой и обратной засечек получают плановое положение закрепленных на местности точек (рис. 143).

Прочерченные направления на точки местности должны быть продолжены за рамки трапеции на несколько сантиметров. Продолженные направления подписывают номерами соответствующих точек и в дальнейшем используют для ориентирования планшета.

Одновременно с получением планового положения точек геометрической сети измеряют углы наклона ν в прямом и обратном направлениях. Расстояние d между точками определяют по плану в масштабе съемки.

Превышения определяют по формуле (см. § 70 учебника)

$$h = d \operatorname{tg} \nu + i - l + f. \quad (\text{XIII.1})$$

Данные наблюдений записывают в полевой журнал.

Обработка результатов наблюдений геометрической сети. Для обработки результатов наблюдений на пунктах геометрической сети составляют схему (рис. 144).

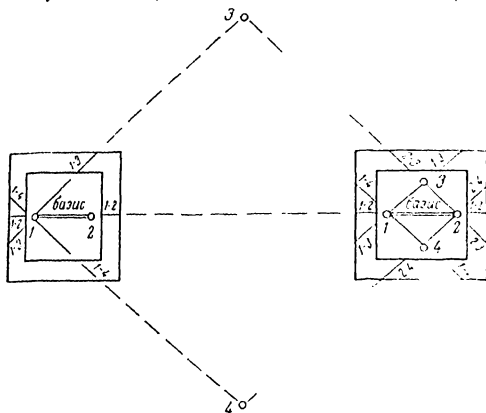


Рис. 143. Схема построения геометрической сети

На сторонах фигур выписывают средние превышения $h_{ср}$ из прямых и обратных наблюдений, если расхождение между ними не превышает 4 см на 100 м расстояния. Внутри фигур записывают невязки, значения которых вычисляют по ходу или против хода часовой стрелки по формуле

$$\sum_{i=1}^n h_{ср}.$$

Допустимая невязка в фигуре определяется по формуле

$$\text{доп } l_h = \pm \left(\frac{0,2S}{\sqrt{n}} \right),$$

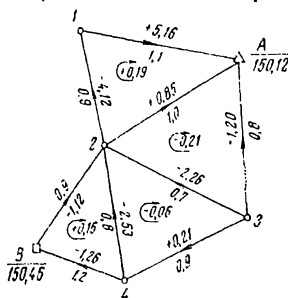


Рис. 144. Средние превышения сторон и невязки фигур геометрической сети

может выполняться различными способами. Предпочтительнее уравнивание высот производить способом приближений (см. § 85 учебника), которое выполняется следующим образом (табл. 76):

а) в графу 1 и 2 записывают номера точек (1) и их превышения (2); знаки превышений ставят с учетом направления вычислений, указанного на фигурах стрелками (см. рис. 144);

б) вычисляют предварительные высоты — предв. H (3) всех точек геометрической сети, для чего передают на них полученные средние превышения с опорных пунктов. В рассматриваемом примере предварительные высоты точек 1, 2, 3 переданы с опорного пункта А, а точки 4 — с опорного пункта В;

в) в графе 3 вычисляют отметки (4) точек 1, 2, 3 и 4 с учетом превышений графы 2 и находят среднее из них (5);

Т а б л и ц а 76

Ведомость уравнивания высот методом приближений

№ точек	Прев.	Приближения				Примечания
		I	II	III	IV	
1		3	4	5	6	7
предв. $H_1 = 144,96$ (3)						
A (1)	— 5,16 (2)	144,96 (4)	144,96 (6)	144,96 (9)	—	
2	— 4,12	145,15	145,05 (7)	145,06 (10)	—	
		145,06 (5)	145,00 (8)	145,01 (11)	—	
предв. $H_2 = 149,07$						
A	— 0,85	149,07	149,07	149,07	—	
B	— 1,12	149,34	149,34	149,34	—	
1	+ 4,12	149,18	149,18	149,13	—	
3	— 2,26	149,06	149,16	149,14	—	
4	— 2,53	149,19	149,15	149,15	—	
		149,17	149,18	149,17	—	
предв. $H_3 = 151,32$						
A	+ 1,20	151,32	151,32	151,32	—	
2	+ 2,26	151,43	151,42	151,43	—	
4	— 0,21	151,51	151,47	151,47	—	
		151,42	151,40	151,41	—	
предв. $H_4 = 151,72$						
B	+ 1,26	151,72	151,72	151,72	—	
2	+ 2,53	151,70	151,71	151,70	—	
3	+ 0,21	151,63	151,61	151,62	—	
		151,68	151,68	151,68	—	

г) последующие приближения находят в том же порядке (6) — (11). При этом за исходные отметки принимают средние значения отметок предыдущего приближения.

Вычисления заканчивают при условии, если расхождение в средних отметках точек двух последовательных приближений не превышает 2 см.

Съемка ситуации и рельефа. Съемка ситуации и рельефа с пунктов съемочного обоснования производится в том же порядке, что и при тахеометрической съемке (см. § 92 учебника). В отличие от тахеометрической съемки для получения планового положения точек дальномерные расстояния откладывают на планшете по скошенному краю линейки кипрегеля.

Съемка производится главным образом полярным способом. Высоты реечных точек находят тригонометрическим нивелированием. Горизонтالي рисуют по мере набора реечных точек, не снимая мензулу со станции.

Не вся местность может быть снята с пунктов геометрической сети. В этом случае сгущают съемочное обоснование при помощи дополнительных точек, называемых переходными. Одним из способов получения планового положения переходных точек является решение задачи Потенота при котором определяется положение четвертой (переходной) точки по трем данным.

Другой способ определения положения переходных точек — продолжение мензульных ходов (см. § 104 учебника).

При мензульной съемке наблюдаемые данные заносят в журнал примерно той же формы, что и при тахеометрической.

По окончании работ по съемке оригинал планшета вычерчивают тушью. Вместе с оригиналом планшета должны быть представлены следующие материалы: схема съемочного обоснования, мензульный журнал, журналы нивелирный и угловых измерений (при теодолитно-нивелирном обосновании), ведомость увязки высот точек высотного обоснования, кальки высот и контуров местности.

Вопросы для самоконтроля

1. В чем состоит цель мензульной съемки?
2. Какие виды съемочного обоснования могут быть созданы при мензульной съемке?
3. Какие приборы входят в состав мензульного комплекта?
4. Какой порядок производства поверок и юстировок мензулы и кипрегеля?
5. Какова идея мензульной съемки?
6. Изложите способы ориентирования мензулы на станции.
7. Для какого масштаба съемки можно центрировать мензулу на глаз?
8. Какой порядок работ при съемке контуров и рельефа местности?
9. Каковы преимущества и недостатки мензульной съемки?

§ 68. РЕШЕНИЕ ПРОСТЕЙШИХ ЗАДАЧ ПО АЭРОФОТОСНИМКУ

Одной из задач фотограмметрии является определение положения и размеров объектов местности по их изображениям по аэрофотоснимку. Решение этой задачи связано с различными измерениями по аэрофотоснимку. Для выполнения этих измерений надо знать элементы внутреннего и внешнего ориентирования, определяющие положение аэрофотоснимка в пространстве.

К элементам внутреннего ориентирования относятся фокусное расстояние f аэрофотоаппарата и координаты x_0 и y_0 главной точки

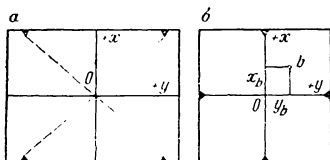
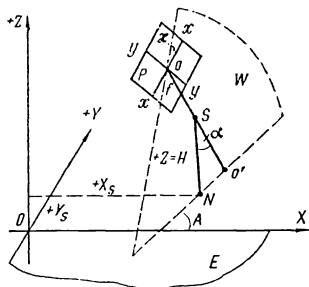


Рис. 145. Координатные метки и координатные оси аэрофотоснимка

Рис. 146.



аэрофотоснимка, определяемой в пересечении его координатных осей. Последние получают на основе координатных меток (рис. 145, а) отпечатывающихся на аэрофотоснимке в момент фотографирования. Пересечение линий, соединяющих диаметрально противоположные метки, дает начало координат аэрофотоснимка. Метки в фотоаппарате устанавливают так, чтобы начало координат и главная точка аэрофотоснимка совпадали.

Одной из систем элементов внешнего ориентирования являются (рис. 146): координаты X_S , Y_S и Z_S узловой точки S в выбранной на местности пространственной системе координат ($Z_S = H_S$ — средняя высота фотографирования); угол α наклона аэронегатива — угол между направлением главного луча SO и отвесной прямой; дирекционный угол A направления съемки — угол, составленный проекцией NO главной вертикальной плоскости (плоскости главного вертикала) с направлением оси абсцисс пространственной системы координат; угол κ поворота аэрофотоснимка вокруг точки O в своей плоскости — угол между линией uv главного вертикала и осью абсцисс аэрофотоснимка.

* См. главу XVI учебник

Элементы внутреннего ориентирования получают в лабораторных условиях путем непосредственных измерений; элементы внешнего ориентирования могут быть получены во время полета, но их определение связано с определенными трудностями. Для решения практических задач (например, устранения перспективных искажений аэрофотоснимка) определяют координаты нескольких опорных точек.

Ниже рассматриваются элементарные задачи лабораторного практикума, при этом предполагается, что съемка выполнена при отвесном положении оси аэрофотоаппарата, т. е. $\alpha = 0$, и что рельеф участка съемки равнинный.

1. Определение масштаба аэрофотоснимка

Масштаб аэрофотоснимка для случая, когда $\alpha = 0$ и рельеф участка местности равнинный, определяется из выражения

где f — фокусное расстояние аэрофотоаппарата H — средняя высота полета самолета.

а. Параметры f и H известны.

Пусть $f = 70$ мм и $H = 1200$ м, тогда

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H} = \frac{1}{\frac{H}{f}} = \frac{1}{\frac{1200\,000\text{ мм}}{70\text{ мм}}} = \frac{1}{17000},$$

б. Параметры f и H неизвестны.

В этом случае масштаб аэрофотоснимка может быть определен путем измерения расстояний между соответствующими точками аэрофотоснимка и местности.

Пусть расстояние между точками аэрофотоснимка $d = 35$ мм, а соответствующее ему расстояние на местности $D = 840$ м*, тогда

$$\frac{1}{m} = \frac{d}{D} = \frac{1}{\frac{D}{d}} = \frac{1}{\frac{840\,000\text{ мм}}{35\text{ мм}}} = \frac{1}{24000}.$$

2. Определение расстояния D между точками A и B местности по известному масштабу аэрофотоснимка.

Для решения задачи надо определить при помощи циркуля-измерителя и масштабной линейки расстояние d между соответствующими точками a и b на аэрофотоснимке и умножить его на знаменатель численного масштаба аэрофотоснимка.

* Здесь предполагается, что значение D заранее известно

Если измеренное по аэрофотоснимку расстояние $d = 46,2$ мм, а масштаб аэрофотоснимка равен $1 : 17\,000$, то

$$D = dm = 46,2 \cdot 17\,000 = 785 \text{ м.}$$

3. **Определение прямоугольных координат x и y точки b на снимке.**

Для решения задачи опускают перпендикуляры из точки b (см. рис. 145, б) на оси координат аэрофотоснимка. При помощи циркуля-измерителя и поперечного масштаба измеряют расстояния в масштабе аэрофотоснимка от точки O до основания перпендикуляров. Измеренные величины будут искомыми координатами.

§ 69. ДЕШИФРИРОВАНИЕ АЭРОФОТОСНИМКОВ

Дешифрирование — процесс опознавания объектов, границ контуров и других элементов местности, выявление их качественных и количественных характеристик по фотографическому изображению. Дешифрирование является важнейшей составной частью фотограмметрического процесса. Оно подразделяется на топографическое и специальное. Первое выполняется с целью составления топографических планов, второе — для геологических, сельскохозяйственных, военных, инженерных и других целей.

Дешифрирование выполняют как в полевых, так и в камеральных условиях. При этом используют как прямые, так и косвенные (см. § 112 учебника) дешифровочные признаки.

Ниже кратко рассматриваются дешифровочные признаки, понимание которых необходимо для выполнения лабораторной работы по рассматриваемой теме.

1. **Ф о р м а и з о б р а ж е н и я.** Изображение объектов на аэрофотоснимке при плановой съемке соответствует их виду сверху и, как правило, подобно им. По форме изображения распознается большинство объектов местности: лесные массивы, реки, дороги, постройки и др. Так, например, по характерной для них форме дешифрируются овраги 3, грунтовые дороги 5 (рис. 147), дома 1 (рис. 146) и т. д.

2. **Р а з м е р ф о т о и з о б р а ж е н и я.** Размер объекта определяется по его изображению и масштабу аэрофотоснимка. Так, по размеру изображения и форме можно отличить шоссейную дорогу 8 от грунтовой 5 (см. рис. 147).

3. **Т о н ф о т о и з о б р а ж е н и я.** Различные элементы местности имеют различную отражательную способность, а потому в зависимости от чувствительности фотопленки, типа светофильтра и других факторов изображения контуров имеют различную степень почернения. Так (см. рис. 147), реки, пруды 7, озера изображаются на аэрофотоснимках темными тонами, а сухие, укатанные дороги 9, 5 получают почти белесыми; редкая растительность имеет темно-серый тон, а густая — более темный 1.



Рис. 147. Аэрофотоснимок масштаба 1 : 10 000

1 — лес; 2 — поселок; 3 — овраги; 4 — пашня; 5 — грунтовая дорога; 6 — огороды;
7 — пруд; 8 — шоссейная дорога; 9 — профилированная проселочная дорога

Наибольший эффект при дешифрировании дает совместное использование нескольких признаков, например совместное использования формы и тона изображения. Так, извилистая линия может изображать на аэрофотоснимке и проселочную дорогу, и реку, однако, как отмечено выше, дорога изображается светлым тоном, а река — темным.

При дешифрировании крупномасштабных аэрофотоснимков с изображением контуров построек (см. рис. 148) надо учитывать возможность смещения фотопозображений крыш относительно цоколей зданий.



Рис. 148. Аэрофотоснимок масштаба 1 : 1500

дом; 2 — пристройка; 3 — мостик через кювет; 4 — огород;
5 — булыжное покрытие дороги; 7 — грунтовая дорога

Определение положения на аэрофотоснимке основания высоких сооружений может быть достигнуто при помощи теней, отбрасываемых объектом (см. рис. 148), либо при помощи теней и центральных

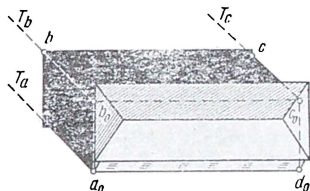
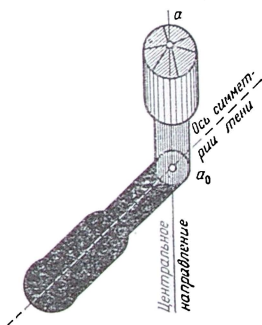


Рис. 149. Определение положения основания здания с помощью теней

Рис. 150. Определение положения оснований зданий и сооружений с помощью теней и центральных направлений



направлений, т. е. направлений, проведенных из центральной точки аэрофотоснимка (рис. 149 и 150 соответственно).

Сущность способов видна из рассмотрения приведенных рисунков.

При камеральном дешифрировании пользуются стереоскопической моделью местности (см. § 112 учебника). Последняя может быть получена при помощи линзово-зеркального стереоскопа, устройство которого приведено на рис. 151.

Для получения стереоскопической модели при помощи стереоскопа поступают следующим образом. Располагают левый (по ходу полета самолета) аэрофотоснимок под левой парой зеркал и пра-

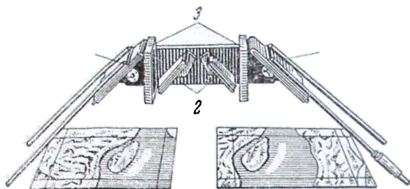


Рис. 151. Зеркальный стереоскоп

1 — большие и 2 — малые зеркала; 3 — линзы

вый — под правой. Далее для ускорения процесса получения стереозффекта рекомендуется положить указательные пальцы на выбранные идентичные точки аэрофотоснимков и, наблюдая в стереоскоп, добиться совмещения изображения пальцев (для этого следует перемещать один или сразу оба аэрофотоснимка). Затем, убрав пальцы, совмещают два изображения выбранного четкого контура на стереопаре. В результате возникает объемное изображение сфотографированной на аэрофотоснимках местности.

Заметим, что стереоскоп может быть использован для решения и других задач — рисовки рельефа, выбора трассы линейного сооружения и др.

§ 70. ПРОСТЕЙШИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ПО СТЕРЕОМОДЕЛИ

По стереомодели при помощи специальных стереофотограмметрических приборов можно выполнять измерения для решения многочисленных задач.

Ниже рассмотрена задача определения превышений по стереомодели на стереометре Ф. В. Дробышева, устройство которого приведено на рис. 152.

Для решения задачи воспользуемся формулой (см. § 114 учебника)

$$h = \frac{H \Delta p}{b}, \quad (\text{XIV.2})$$

где H — высота полета самолета; b — длина базиса фотографирования и $\Delta p = p_M - p_N$ — разность параллаксов точек M и N , между которыми определяется превышение.

Геометрический смысл решения задачи показан на рис. 153.

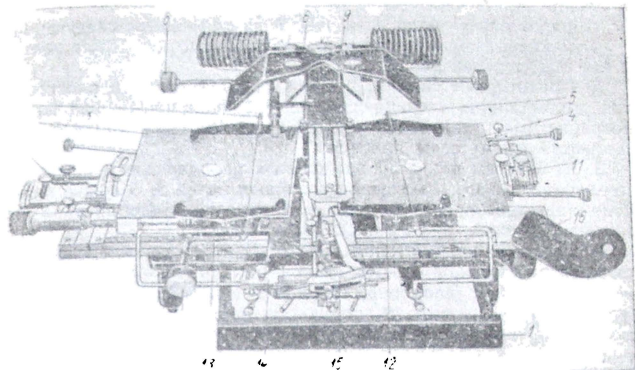


Рис. 152. Топографический стереометр

1 — станина; 2 — левая кассета; 3 — визирная нить; 4 — правая кассета; 5 — визирная нить; 6 — стереоскоп; 7 — кремальера для перемещения главной каретки; 8 — кремальера для перемещения стереоскопа; 9 — направляющая; 10 — винт продольных параллакс; 11 — устройство для поворота аэрофотоснимков в своей плоскости; 12 — главная каретка; 13 — параллактическая каретка; 14, 15 — корректирующие устройства; 16 — упор для руки

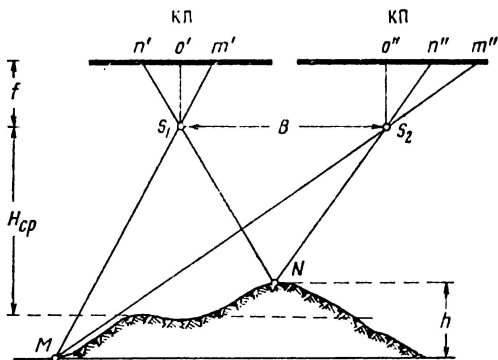


Рис. 153. Схема определения превышения по аэрофотоснимкам

Для нашей задачи длина базиса фотографирования $b = 60$ мм и высота полета самолета $H = 1700$ м.

Порядок определения превышений на стереометре следующий.

1. Закладывают стереопару в правую 4 (см. рис. 152) и левую 2 кассеты стереометра.

2. Ориентируют снимки, вращая винты 11 в своей плоскости так, чтобы линии, соединяющие изображения противоположных координатных меток обоих аэрофотоснимков, были параллельны соответствующим осям прибора.

3. Вращением винта 10 продольных параллаксов добиваются стереоскопического совмещения визирных нитей 3, 5 в одну нить. Если стереозффект получен, то вместо двух визирных нитей будет наблюдаться одна, как бы висящая в воздухе.

4. Наблюдая правый аэрофотоснимок одним глазом, вращением кремальеры 7 главной каретки подводят визирную нить на первую выбранную точку (например, точку M). Наблюдая затем обоими глазами и вращая винт 10 продольных параллаксов, добиваются положения, при котором визирная нить коснется поверхности земли в точке M , и производят отсчет по шкале винта параллаксов $p_{1(M)}$ (табл. 77).

Т а б л и ц а 77

Наименование точек	Отсчеты, мм			
	p_1	p_2	$p_{\cdot}$	$p_{\text{ср}}$
M	48,24	48,26	48,25	48,25
N	48,86	48,89	48,90	48,88

$$\Delta p = -0,63$$

Наведение выполняют не менее трех раз. Перед каждым последующим наведением с помощью винта 10 продольных параллаксов «приподнимают» нить над точкой, после чего вновь ее «опускают» до прикосновения с поверхностью земли в этой точке и производят отсчеты соответственно $p_{2(M)}$, $p_{3(M)}$.

5. Измеряют параллакс второй точки (точки N) в порядке, изложенном в пункте 4, и получают последовательно отсчеты $p_{1(N)}$, $p_{2(N)}$ и $p_{3(N)}$.

6. Вычисляют величину превышения h между точками M и N по формуле (XIV.2) по данным табл. 77 и значениям b и H :

$$h = \frac{170\,000 \text{ мм}}{60 \text{ мм}} (-0,63) = -14,8 \text{ м.}$$

Примерное содержание занятий по разделу топографических съемок*

1. Обработка журнала измерения углов теодолитного хода.
2. Обработка ведомости координат вершин теодолитного хода.
3. Построение координатной сетки.
4. Построение теодолитных ходов по координатам их вершин.
5. Построение контуров местности по данным абрисов.
6. Обработка полевых журналов и ведомостей высотного обоснования.
7. Обработка журнала тахеометрической съемки.
8. Построение контуров и рисовка рельефа на плане.
9. Оформление топографического плана.

Д о п о л н и т е л ь н ы е в о п р о с ы

1. Уравнивание сети ходов (теодолитных или нивелирных с одной узловой точкой).
2. Построение топографического плана по результатам нивелирования поверхности по квадратам.

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите элементы внутреннего и внешнего ориентирования аэрофотоснимков.
2. Как определить масштаб планового аэрофотоснимка?
3. Что такое дешифрирование аэрофотоснимков?
4. Приведите примеры прямых и косвенных дешифровочных признаков.
5. Что такое стереомодель местности и как ее получить?
6. Какие приборы используются для получения стереомодели местности?
7. Что такое линейный продольный параллакс?
8. Какой порядок определения превышения между точками аэрофотоснимка на стереометре?

* Могут быть различные варианты выполнения работы, например, раздельное составление планов теодолитной и тахеометрической съемок, либо составление топографического плана на теодолитно-нивелирном обосновании. В практике приведены оба варианта.

Раздел 5

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Глава XV

ЭЛЕМЕНТЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАЗБИВКИ СООРУЖЕНИЙ

§ 71. ВВОДНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Инженерно-геодезические работы являются составной частью технологического процесса строительства современных сооружений всех видов (промышленных, гидротехнических, гражданских и др.).

Строительство сооружений осуществляется постадийно; различают следующие стадии строительства: инженерно-технические изыскания, проектирование и собственно строительство. После возведения сооружения следует стадия его эксплуатации.

Применительно к этим четырем стадиям геодезические работы по своему назначению, задачам и содержанию подразделяются на: 1) инженерно-геодезические изыскания, 2) инженерно-геодезическое проектирование; 3) инженерно-геодезические работы при перенесении проекта сооружения в натуру (разбивке сооружения) и возведении сооружений и 4) геодезические работы при эксплуатации сооружений.

Основной задачей инженерно-геодезических изысканий является составление топографических планов и профилей. Топографические планы используются главным образом для нанесения на них контуров проектируемых сооружений. Полученный таким образом чертеж называется генеральным планом (генпланом) строительства.

Профили используются для нанесения на них трасс (осей) линейных сооружений.

При инженерно-геодезическом проектировании производятся расчеты, связанные с размещением сооружений в плане и по высоте. Такие расчеты приходится выполнять, например, при нанесении на профиль осей линейных сооружений (проектных линий), при составлении проекта вертикальной планировки и других работах.

В процессе проектирования составляют проект разбивочной геодезической основы, точность и положение пунктов которой могут обеспечить осуществление проекта в натуре.

Задачей инженерно-геодезических работ, выполняемых при разбивке и возведении сооружений, является обеспечение строительства сооружений в соответствии с их местоположением, формой и размерами, предусмотренными проектом.

В ходе строительства сооружений ведут последовательно исполнительные съемки после каждой выполненной операции. В результате составляют исполнительные чертежи, устанавливающие допущенные при строительстве отклонения от проекта.

Инженерно-геодезические работы, выполняемые при эксплуатации сооружений, решают задачи изучения деформаций и смещения сооружений и их оснований путем точных геодезических наблюдений, а также различные задачи, возникающие при ремонтно-восстановительных работах.

Ниже для цельности изложения освещаются геодезические работы, выполняемые на всех стадиях строительства, однако основное внимание уделено решению задач, являющихся предметом рассмотрения на лабораторных занятиях.

§ 72. ОПОРНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ И СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Виды опорных геодезических сетей для съемок территорий городского, поселкового и промышленного строительства определяются размерами этих территорий (табл. 78).

Краткая характеристика опорных геодезических сетей приведена в главе VII. Здесь отметим некоторые особенности построения сетей для целей строительства.

Геодезические опорные сети, предназначенные для съемки городских, поселковых и промышленных территорий, проекти-

Т а б л и ц а 78

Площадь съемки, га	Вид территории	Виды опорных геодезических сетей			Съемочное обоснование
		триангу- ляция, полиго- метрия, классы	полиго- метрия, триангу- ляция, разряды	нивелиро- вание, классы	
От 20 000 и выше	Застроенная	2, 3, 4	1,2	II, III, IV	—
От 5000 до 20 000	и незастроенная	3,4	1,2	II, III, IV	—
От 2500 до 5000	То же	4	1,2	III, IV	—
От 500 до 2500			1,2	IV	—
От 250 до 500			2	IV	
До 250		—	—	IV	Теодолитные ходы

руются с учетом возможности их сгущения для производства съемки в масштабе 1 : 500, а также работ, связанных с перенесением проектов застройки и планировки в натуру.

Построение опорных сетей осуществляется в зависимости от масштабов производимых съемок.

На застроенных территориях прокладывается преимущественно полигонометрия. Стороны опорных сетей, развиваемых для целей строительства, как правило, короче по сравнению с государственными сетями.

Знаки, закрепляющие пункты опорных сетей, имеют большое значение для выполнения всех геодезических работ при строительстве. Между тем вследствие реконструкции существующих сооружений и других причин нарушается неизбежность грунтовых знаков, а иногда они даже уничтожаются. Поэтому широкое применение находят стенные знаки, закладываемые в фундаментальные здания и сооружения. Такие знаки являются планово-высотными.

Съемочное обоснование территории строительства предназначено для сгущения пунктов опорной геодезической сети.

Плановое съемочное обоснование создается в большинстве случаев в виде теодолитных ходов. Высотное съемочное обоснование создается путем прокладки ходов геометрического или тригонометрического нивелирования.

Порядок построения и расчет точности планового и высотного съемочного обоснования аналогичен описанному в главах VIII и IX.

§ 73. ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ; ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ПРИ ИЗЫСКАНИИ ТРАСС ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Топографические съемки местности, вычисления и графическая обработка полевых данных выполняются по правилам, описанным в главе X.

Геодезические работы при съемке и нивелировке трасс линейных сооружений выполняются в следующем порядке.

1. Утвержденный вариант трассы выносится на местность и закрепляется на ней. Для этой цели по оси сооружения прокладывают теодолитный ход. Обработка результатов измерения углов и сторон теодолитного хода ведется в порядке, изложенном в § 57.

Углы поворота трассы закрепляют деревянными столбами и конечные точки хода привязывают к пунктам геодезического обоснования.

2. По сторонам теодолитного хода через каждые 100 м (на застроенной территории через 20 или 40 м) отмечают точки (пикеты), закрепляют их кольями и обозначают сторожками. На сторожках записывают номера пикетов.

Начало трассы обозначают пикетом нуль (ПК 0), последующие — ПК 1, ПК 2 и т. д.

При разбивке пикетов на наклонной местности вводят поправку за наклон. Эта поправка вводится со знаком «плюс».

В местах изгиба рельефа между пикетами берутся плюсовые точки. Они закрепляются колышками и обозначаются числом метров от заднего пикета, например *ПК 0 + 78*.

3. Для выявления рельефа, прилегающего к трассе, производят разбивку поперечных профилей. Поперечные профили разбивают, как правило, перпендикулярно к трассе. Расстояние между поперечными профилями и длина их диктуются характером рельефа.

4. Одновременно с разбивкой пикетажа производят съемку контуров местности, прилегающей к трассе. Данные съемки контуров заносят в пикетажный журнал (рис. 154). Последний изготавливают на миллиметровой бумаге.

Ось сооружения показывают в пикетажном журнале посередине страницы прямой линией. Углы поворота на оси показывают условно стрелками.

Контуры местности привязывают к трассе, как правило, способом прямоугольных координат. На рис. 154 показана развернутая страница пикетажного журнала *

5. На углах поворота трассы производят разбивку главных точек кривой: начала кривой (*НК*), конца кривой (*КК*) и середины кривой (*СК*). Для этой цели предварительно выполняют расчет их пикетажных обозначений.

Исходными для расчета являются: положение вершины угла поворота трассы, радиус закругления R и величина угла поворота α .

Согласно пикетажному журналу (см. рис. 154) для первой кривой этими величинами являются: угол поворота № 1 на *ПК 2 + 30,00*, $R = 100$ м и $\alpha = 38^\circ 34'$

По значениям R и α , пользуясь таблицами для разбивки кривых **, находят значение тангенса T , кривой K , биссектрисы B и домера D .

Ниже приведена выдержка из таких таблиц (табл. 79). Пользование ими не требует особых пояснений. Правильность вычислен-

* Пикетажный журнал и данные нивелирования трассы (табл. 80) заимствованы из книги проф. Б. А. Колосова «Расчетно-графические работы по геодезии». М. Высшая школа, 1964.

** См., например, таблицы для разбивки круговых и переходных кривых В. Н. Ганышина и Л. С. Хренова, Н.В. Федорова и других авторов.

Т а б л и ц а 79

$R = 1000$ м

Угол поворота, α		Кривая K	Домер D	Биссектриса B
$38^\circ 32'$	349,54	672,53	26,54	59,32
34	349,86	673,11	26,62	59,43
36	350,19	673,70	26,69	59,54



. 154. Пикетажный журнал

Отметки реперов, точек трассы и поперечных профилей

Реперы и точки	Отм.		Отметки,
Реп. № 1	102,300	ПК 7	99,833
ПК 0	101,850	ПК 8	99,326
+78	101,493	+48	97,934
ПК 1	101,022	+52	98,234
ПК 2	96,864	ПК 9	99,318
+81	95,448	ПК 10	100,419
ПК 3	93,866	Реп. № 2	100,921
+18	92,596		
+44	93,524	Поперечник № 1 на ПК 2	
ПК 4	93,282	ПК 2	96,864
ГВВ + 10,2	92,157	Влево +20	94,792
ГМВ + 22,3	90,586	Вправо +20	98,304
Дно реки +26,2	89,19		
Дно реки +40,0	88,77	Поперечник № 2 на ПК 8	
ГМВ + 46,3	90,588	ПК 8	99,326
+53,2	93,506	Влево +20	97,633
ПК 5	94,904	Вправо +12	97,279
+42	95,766	Вправо +20	98,953
ПК 6	96,691		

Примечание. ГВВ — горизонт высоких вод, ГМВ — горизонт меженных вод (наиболее низких). Отметки дна реки получены в результате промера глубин шестом с дециметровыми делениями.

ных по таблицам элементов контролируется по формуле $D = 2T - K$.

Переход к заданному радиусу осуществляется просто, так как все элементы кривой пропорциональны ему. Так, например, для перехода к радиусу, равному 100 м, надо выбранные из таблиц элементы уменьшить в десять раз.

По значениям T , K , D и B производят расчет пикетажных обозначений начала ($НК$) и конца ($КК$) кривой. Этот расчет приведен в пикетажном журнале (см. рис. 154).

Точки начала и конца кривой разбивают от ближайших пикетов. Так, для получения точки $НК$ надо от $ПК 1$ в сторону $ПК 2$ отложить отрезок 95,01 м. Далее от вершины угла по новому направлению откладывают величину домера $D = 2,66$ м. Пикетажное обозначение конца домера принимают равным пикетажному обозначению вершины угла ($ВУ$), т. е. $ПК 2 + 30,00$, и далее производят разбивку пикетов в обычном порядке.

Чтобы получить положение на трассе точки $КК$, надо от $ПК 2$ в сторону $ПК 3$ отложить 62,32 м.

Для получения точки $СК$ устанавливают в вершине угла теодолит и строят биссектрису угла $\beta = 180 - \alpha$. От вершины угла по направлению биссектрисы откладывают значение $B = 5,94$ м.

6. После разбивки пикетажа, поперечных профилей и кривых производят нивелирование по трассе: пикетов, плюсовых точек, главных точек кривой и точек поперечных профилей.

Порядок нивелирования по трассе и обработки журналов нивелирования аналогичен изложенному в § 43 и 61.

Отметки, полученные в результате нивелирования точек, лежащих по трассе Бетонный завод—Песчаный карьер и на поперечных профилях, приведены в табл. 80.

§ 74. ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ТРАССЫ ДОРОГИ И ПОПЕРЕЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Профиль трассы дороги строят на миллиметровой бумаге по отметкам точек, приведенным в табл. 80, и данным пикетажного журнала (см. рис. 154).

Масштабы построения профилей зависят от вида сооружения, характера рельефа местности и других условий. В рассматриваемом примере приняты следующие масштабы: горизонтальный 1 : 2000 и вертикальный 1 : 200. Для построения профиля трассы дороги и двух поперечников согласно табл. 80 необходимо иметь лист миллиметровой бумаги размером 90 × 45 см.

Порядок построения профиля следующий.

1. Производят разграфку профильной сетки согласно рис. 155. Здесь принята профильная сетка, предусмотренная для железных дорог, так как бетонный завод с песчаным карьером соединяет узкоколейная железнодорожная ветка.

2. В графе расстояний откладывают в масштабе 1 : 2000 пикеты и плюсовые точки. Если между пикетами нет плюсовых точек, то расстояние 100 м не пишут. При наличии плюсовых точек указывают расстояние от пикета до плюсовой точки либо между плюсовыми точками.

Например, между *ПК 0* и *ПК 1* находится плюсовая точка +78, это расстояние в масштабе 1 : 2000 откладывают от *ПК 0*, проводят ординату и записывают два расстояния: 78 и 22 м (расстояние до следующего пикета).

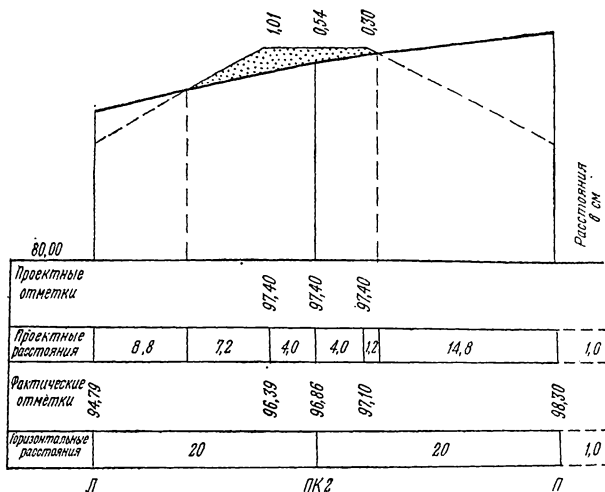
Если на данном пикете несколько плюсовых точек, например, между *ПК 3* и *ПК 4*, то расстояния, как это видно из рис. 155, записывают так, чтобы сумма их была равна 100 м. В нашем примере две плюсовые точки: +18 и +44 м, а записаны расстояния 18, 26 и 56 м, сумма которых равна 100 м.

3. Над пикетами и плюсовыми точками, в графе фактических отметок, выписывают из табл. 80 их отметки, предварительно округлив до сотых долей метра.

4. От верхней линии профильной сетки (линии условного горизонта) в масштабе 1 : 200 на перпендикулярах к ней откладывают фактические отметки всех пронивелированных точек.

Для того чтобы не откладывать на перпендикулярах большие расстояния, линии условного горизонта придают отметку с таким расчетом, чтобы точка профиля, имеющая наименьшую отметку, отстояла от этой линии на 6—8 см. На рис. 155 такой отметкой является величина, равная 80 м. В этом случае от линии условного

ПОПЕРЕЧНЫЙ ПРОФИЛЬ НА ПК 2



Масштабы $\left\{ \begin{array}{l} \text{горизонтальный} \quad 1:200 \\ \text{вертикальный} \quad 1:200 \end{array} \right.$

Рис. 156. Поперечный профиль

горизонта откладывают не всю величину отметок точек профиля, а соответствующие разности, например $101,85 - 80,00 = 21,85$; $101,49 - 80,00 = 21,49$ и т. д.

Точки, полученные в результате построения, соединяют между собой прямыми линиями и получают таким образом профиль местности. От точек профиля до линии условного горизонта проводят ординаты (см. рис. 155).

5. По данным пикетажного журнала заполняют графы «грунты» и «план трассы». Данные для заполнения графы «грунты» записаны в этом журнале слева от трассы. На указанных здесь пикетах,

в пределах графы «грунты» проводят ординаты и записывают соответствующие названия грунтов.

Для заполнения графы «план трассы» по середине ее проводят линию и, пользуясь пикетажным журналом, строят контуры местности. Вместо условных знаков здесь разрешается записывать название контуров.

6. Справа от продольного профиля трассы дороги строят один под другим поперечные профили. Горизонтальный и вертикальный масштаб поперечных профилей 1 : 200. Поперечные профили строят по тем же правилам, что и продольный профиль. Наименование граф, их размер и чередование приведены на рис. 156.

7. Пользуясь пикетажным обозначением начала и конца кривой, приведенным в пикетажном журнале, заполняют графу «прямые и кривые».

Начало и конец кривой отмечают перпендикулярами, проведенными от линии пикетов до линии развернутого плана трассы. Расстояние между этими линиями 1,5 см (см. рис. 155). На перпендикулярах записывают расстояния от начала и конца кривой до ближайших пикетов.

При правых углах поворота выпуклость кривой направляют вверх, при левых — вниз. Около кривых выписывают все шесть их элементов: R , α , T , K , D , B . На прямых участках трассы (прямых вставках) выписывают их длину и румб или дирекционный угол. По известному румбу первой прямой вставки находят румбы остальных прямых вставок в зависимости от величины и направления угла поворота трассы. Можно вычислять дирекционные углы прямых вставок, пользуясь правилом: дирекционный угол последующей прямой вставки равен дирекционному углу предыдущей прямой вставки плюс правый угол поворота или минус левый угол.

Расположение всех вычисленных данных в графе прямых и кривых показано на рис. 155.

§ 75. РАСЧЕТЫ, СВЯЗАННЫЕ С НАНЕСЕНИЕМ НА ПРОФИЛЬ ТРАССЫ ДОРОГИ ПРОЕКТНОЙ ЛИНИИ

Нанесение проектной линии выполняется в соответствии с техническими указаниями. Последними, например, обычно предусматривается: а) соблюдение баланса земляных работ (равенства объема насыпей объему выемки) при минимальном их объеме; б) соблюдение уклонов на отдельных участках проектной линии, не превышающих допустимых пределов; в) устройство мостового перехода через реку в виде горизонтальной площадки; при этом должны учитываться уровень высоких вод и длина площадок при подходе к отверстию моста.

Проектная линия состоит, как правило, из нескольких участков с различными уклонами. Начальной проектной отметкой могут являться: отметка точки примыкания трассы к существующим или

проектным сооружениям, например отметка проектируемого мостового перехода.

Принятые согласно техническим условиям уклоны должны быть выражены в целых тысячных долях (в промилях).

В рассмотренном ниже примере с учетом приведенных условий приняты следующие исходные данные для проектирования: горизонтальная площадка мостового перехода имеет протяженность 156 м (*ПК 3 + 44 — ПК 5*), уклон $i = 0$ и проектную отметку 94,81 м; уклон проектной линии на участке *ПК 3 + 44 — ПК 0* длиной 344 м равен +0,018 и на участке *ПК 5 — ПК 10* протяженностью 500 м равен +0,015 (см. рис. 155).

С учетом приведенных данных работа по нанесению проектной линии на профиль ведется в следующем порядке.

1. В графе «проектные уклоны», в местах изменения уклонов, проводят ординаты, разделяющие один участок проектной линии от другого на *ПК 0*, *ПК 3 + 44*, *ПК 5* и *ПК 10*. На каждом участке внутри графы чертой показывают условно знак уклона — горизонтальная черта означает нулевой уклон, а проведенные диагонали крайних участков идут вверх от горизонтально расположенного мостового перехода и означают положительные уклоны.

Над чертой, посередине, пишут величину уклона, а под ней — расстояние, на котором действует данный уклон.

Например, запись 344/18 показывает, что проектная линия идет снизу вверх от мостового перехода, ее уклон равен 0,018 и действует на расстоянии 344 м.

2. Записывают в графе «проектные отметки» над точками *ПК 3 + 44* и *ПК 5* заданную проектную отметку 94,81 м горизонтальной площадки.

Подсчитывают проектные отметки концов линии на *ПК 0* и *ПК 10* по формуле

$$H_n = H_{n-1} + id, \quad (\text{XV.1})$$

где H_n — отметка последующей точки; H_{n-1} — отметка предыдущей точки; i — проектный уклон и d — горизонтальное расстояние.

Так, проектные отметки на *ПК 0* и *ПК 10* будут соответственно равны

$$H_{\text{ПК}0} = H_{\text{ПК}3+44} + id = 94,81 + 0,018 \cdot 344 = 101,00 \text{ м};$$

$$H_{\text{ПК}10} = H_{\text{ПК}5} + id = 94,81 + 0,015 \cdot 500 = 102,31 \text{ м}.$$

3. По вычисленным отметкам концов проектных линий наносят их на профиль (см. рис. 155) и вычисляют по формуле (XI.1) проектные отметки на всех пикетах и плюсовых точках. Полученные значения округляют до сотых долей метра и записывают в графу «проектные отметки».

Контролем правильности вычислений является получение проектных отметок на *ПК 0* и *ПК 10*.

4. Вычисляют рабочие отметки (высоты насыпей или глубины выемок) на каждом пикете и плюсовой точке как разность между соответствующими проектными и фактическими отметками.

Рабочие отметки подписывают близ точек профиля местности справа от ординат, над проектной линией в случае насыпи и под проектной линией — в случае выемки (см. рис. 155). Рабочие отметки для выемок пишут иногда в разрыве ординат.

5. Проводят ординаты от точек пересечения проектной линии с линией профиля местности (от точек нулевых работ) до линии условного горизонта и вычисляют горизонтальные расстояния от этих точек до ближайшего пикета или плюсовой точки.

Вычисления ведут по формулам

$$\left. \begin{aligned} x &= \frac{ad}{a+b} \\ y &= \frac{bd}{a+b} \end{aligned} \right\} \quad (\text{XV.2})$$

и для контроля

$$d = x + y,$$

где x — расстояние от заднего пикета (или плюсовой точки) до точки нулевых работ; $y = d - x$ — расстояние от передней точки до точки нулевых работ; a и b — рабочие отметки соответственно на задней и передней точках профиля, между которыми находится точка нулевых работ.

Так, расстояния от точки нулевых работ до $ПК1$ и $ПК2$ будут

$$x = \frac{ad}{a+b} = \frac{1,82 \cdot 100}{1,82 + 0,54} = 77,12 \text{ м}$$

$$y = \frac{bd}{a+b} = \frac{0,54 \cdot 100}{1,82 + 0,54} = 22,88 \text{ м}$$

$$d = x + y = 77,12 + 22,88 = 100,00 \text{ м.}$$

Полученные значения x и y после округления до сотых долей метра выписывают над линией условного горизонта справа и слева от ординаты (см. рис. 155).

6. Наносят на поперечный профиль (см. рис. 156) проектируемые очертания земляного полотна. Для этой цели на ординате, проходящей через $ПК2$, откладывают проектную отметку, взятую с продольного профиля, 97,40. Через полученную точку проводят горизонтальную линию, на которой справа и слева от оси откладывают по половине ширины будущего полотна дороги. В нашем примере по обе стороны от оси дороги отложено по 4 м. От концов горизонтальной площадки проводят наклонные линии с учетом крутизны откосов проектируемого полотна дороги до пересечения с линией поверхности земли.

Представление о построении проектируемого контура полотна дороги дает рис. 156.

Следует заметить, что геодезические расчеты, связанные с нанесением на профиль трассы дороги (проектной линии), включают

все элементы проектирования: расчет уклонов, проектных и рабочих отметок, точек нулевых работ. Полученные при этом навыки дают возможность в случае необходимости производить геодезические расчеты при построении профилей другого назначения.

§ 76. ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЕЙ РЕКИ, ЖИВЫХ СЕЧЕНИЙ * И КАНАЛИЗАЦИОННОЙ ЛИНИИ

Для проектирования многих гидротехнических сооружений требуются сведения о режиме реки. Для исследования этого режима выполняются геодезические работы, объем, методика и точ-

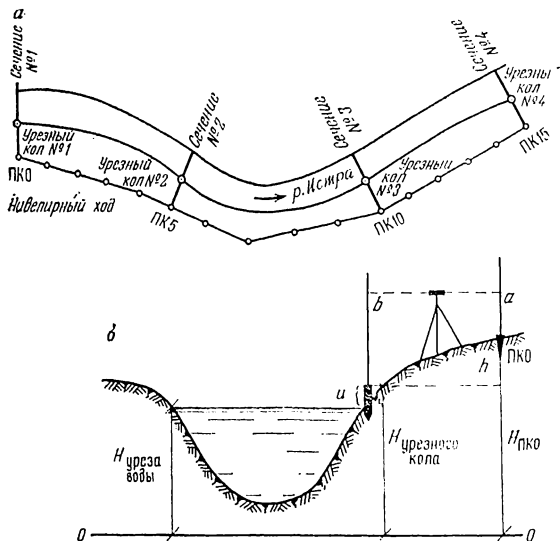


Рис. 157. Схема работ при нивелировании

а) расположение нивелирного хода и живых сечений; б) с. уреза воды

ность которых зависят от назначения сооружения, стадии проектирования и других факторов.

К числу основных задач, решаемых при исследовании режима рек, относится определение уклона поверхности водотока (например, по линии наибольших глубин) и изучение живого сечения реки.

Живым сечением называется поперечный профиль реки, ограниченный поверхностью воды от уреза до уреза и линией дна.

* См. § 150 учебника.

Под урезом воды понимают линию соприкосновения поверхности воды с берегом.

Построение профиля реки и живых сечений выполняется по данным нивелирования реки. Полученный графический и числовой материал позволяет определять расход воды в реке, решать задачи осушения или обводнения территории и др.

Схема работ при нивелировании участка реки Истры показана на рис. 157, а. Нивелирный ход проложен по ее правому берегу на расстоянии 1,5 км. В результате определены отметки правого и левого берегов реки, отметки урезных колеь № 1—№ 4 и вычислены отметки уреза воды у этих колеь, а также отметки дна реки в створах четырех живых сечений.

Полученные данные приведены в табл. 81.

Т а б л и ц а 81

Данные для построения продольного профиля реки
и профилей живых сечений

Номера		Отметки, м					Высота урезного кола над зеркалом, поды, м	Расстояние между урезными кольями, м
пикетов	урезных колеь	урезных колеь	правого берега	левого берега	уреза воды	дна реки		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
0		128,081	131,2	130,0	128,021	124,7	0,06	501,2* 505,7 503,5
5		127,854	129,7	130,6	127,854	125,0	0,000	
10		127,686	130,5	129,1	127,646	124,7	0,040	
15	IV	127,471	129,8	129,2	127,436	123,7	0,035	

Расстояния измерены по плану масштаба 1 :

Порядок выполнения задания следующий.

а. Построение продольного профиля реки

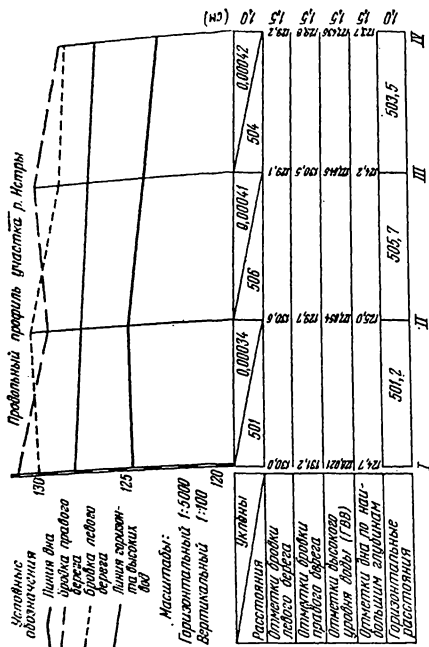
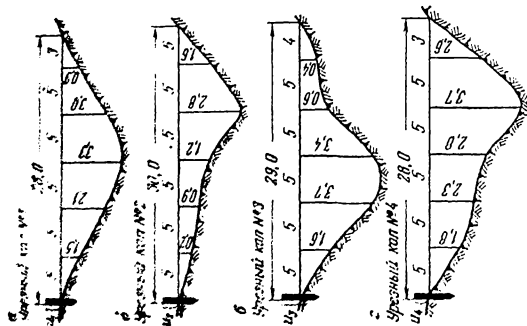
1. По отметкам урезных колеь $H_{у.к}$ и превышениям u их торцов над поверхностью воды вычисляют отметки урезов воды $H_{у.в}$ у каждого из колеь.

Так, значение отметки уреза воды у первого урезного кола будет (см. рис. 157, б и табл. 81):

$$H_{у.в}^I = H_{у.к}^I - u_I = 128,081 - 0,060 = 128,021 \text{ м.}$$

Аналогично вычисляют отметки урезов воды у других урезных колеь.

2. Вычисляют уклон водотока между каждой парой соседних урезных колеь.



Например, для участка реки между первым и вторым урезными кольями уклон водотока будет

$$i_{1-11} = \frac{h}{d} = \frac{H_{у.к.}^I - H_{у.к.}^{II}}{d_{1-11}} = \frac{128,021 - 127,854}{501,2} = 0,00034.$$

Значения d берут из графы 9 табл. 81.

3. Вычисляют отметки дна реки в наиболее глубоком месте, для чего из отметок урезов воды у соответствующих урезных колеи вычитают значения $a_{\max}$ наибольших глубин реки, полученные при промерах живых сечений (рис. 158, а, б, в, г).

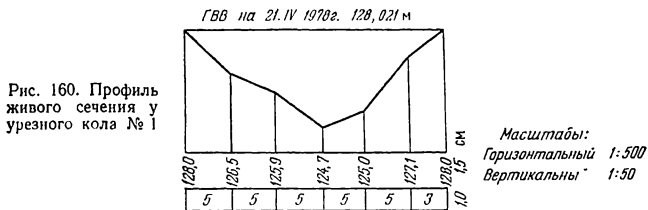


Рис. 160. Профиль живого сечения у урезного кола № 1

Так, отметка дна реки в наиболее глубоком месте у первого урезного кола будет

$$H_{\text{дна}} = H_{у.в.}^I - a_{\max} = 128,021 - 3,3 = 124,721 \approx 124,7 \text{ м.}$$

4. Построение продольного профиля реки выполняют на основе профильной сетки, наименование и размер граф которых по высоте показаны на рис. 159. Масштаб построения: для горизонтальных расстояний 1 : 5000 и для вертикальных 1 : 100.

Общий порядок построения профиля такой же, как при построении трассы дороги (см. § 74). Представление об оформлении профиля реки дает рис. 159:

б. Построение профиля живого сечения

1. Вычисляют отметки всех точек дна реки по данным промеров живых сечений (см. рис. 158, а, б, в, г).

Вычисления производят в том же порядке, как указано в пункте 3 настоящего параграфа. Из значения отметки уреза воды данного сечения вычитают последовательно величины всех глубин.

Например, порядок вычислений отметок точек дна у первого урезного кола будет следующий:

$$H_1 = H_{у.в.} - a_1 = 128,021 - 1,5 = 126,521 \approx 126,5 \text{ м;}$$

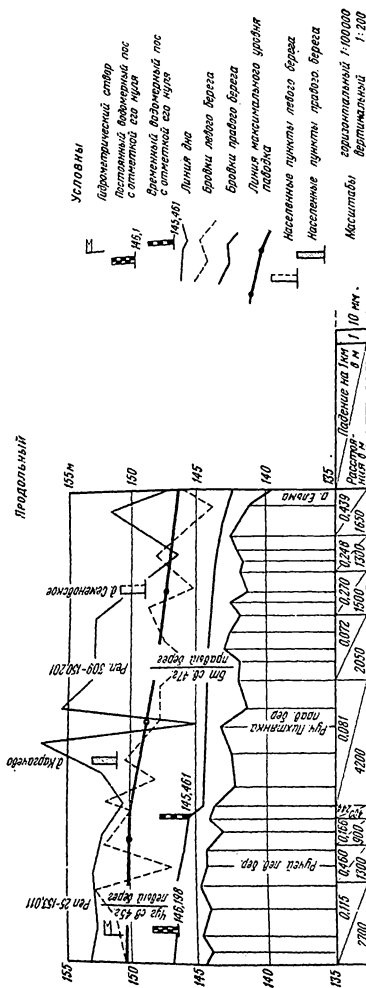
$$H_2 = H_{у.в.} - a_2 = 128,021 - 2,1 = 125,921 \approx 125,9 \text{ м,}$$

2. По значениям уреза воды и отметкам дна реки данного живого сечения строят их профили.

Масштабы построения: горизонтальный 1 : 500, вертикальный 1 : 50.

Размеры граф, их чередование, а также общее представление об оформлении профиля живого сечения дает рис. 160.

Продольный



ПРИМЕЧАНИЕ

Верхняя часть столбика соответствует наибольшей точке населенного пункта, называясь самой низкой. Днища ниже черты соответствует продолжению населенного пункта по фарватеру реки. Отметки бровок даны по границе 100-метровых полос от уреза.

Отметки абсолютные в балтийской системе.

Расстояние от створа, км	Падение на 1 км в м	1	10	км
155	0,115	155,0	150,8	150,8
150	0,115	152,8	152,8	152,8
145	0,115	150,0	150,0	150,0
140	0,115	147,2	147,2	147,2
135	0,115	144,4	144,4	144,4
130	0,115	141,6	141,6	141,6
125	0,115	138,8	138,8	138,8
120	0,115	136,0	136,0	136,0
115	0,115	133,2	133,2	133,2
110	0,115	130,4	130,4	130,4
105	0,115	127,6	127,6	127,6
100	0,115	124,8	124,8	124,8
95	0,115	122,0	122,0	122,0
90	0,115	119,2	119,2	119,2
85	0,115	116,4	116,4	116,4
80	0,115	113,6	113,6	113,6
75	0,115	110,8	110,8	110,8
70	0,115	108,0	108,0	108,0
65	0,115	105,2	105,2	105,2
60	0,115	102,4	102,4	102,4
55	0,115	99,6	99,6	99,6
50	0,115	96,8	96,8	96,8
45	0,115	94,0	94,0	94,0
40	0,115	91,2	91,2	91,2
35	0,115	88,4	88,4	88,4
30	0,115	85,6	85,6	85,6
25	0,115	82,8	82,8	82,8
20	0,115	80,0	80,0	80,0
15	0,115	77,2	77,2	77,2
10	0,115	74,4	74,4	74,4
5	0,115	71,6	71,6	71,6
0	0,115	68,8	68,8	68,8

Рис. 161. Профиль участка реки Северки

Заметим, что подробный (полный) профиль реки содержит больший объем информации, чем построенный в учебных целях профиль реки Истры (см. рис. 160), что видно из рассмотрения профиля участка реки Северки (рис. 161).

в. Построение продольного профиля канализации

Порядок построения продольного профиля канализации можно уяснить из рассмотрения рис. 162. Масштабы построения профиля приняты здесь 1 : 2000 для горизонтальных расстояний и 1 : 200 — для вертикальных.

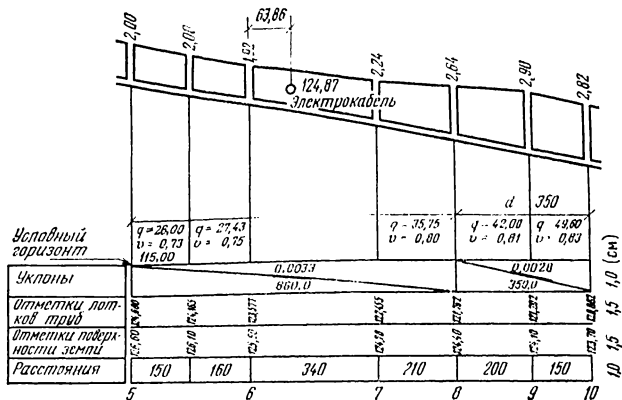


Рис. 162. Продольный профиль канализации

В профильной сетке показывают: номера точек, колодцев, расстояния между колодцами, отметки поверхности земли с точностью до 0,01 м, отметки лотков труб с точностью до 0,001 м.

Отметки лотков труб вычисляют по тем же правилам, что и проектные отметки при нанесении проектной линии на профиль трассы дороги (§ 75).

Отметка лотка трубы в первом колодце диктуется, например, отметкой точки примыкания трубопровода. Для выполнения лабораторного задания ее можно рассчитать, исходя из заглубления колодца № 1, равного 2,00 м.

На профиле должны быть показаны все конструктивные размеры: диаметры труб d , расход q , скорость течения v , расчетное заполнение труб $\frac{h}{d}$, данные планового и высотного положения всех пересекаемых инженерных сетей и устройств, грунты и др.

Для выполнения лабораторной работы могут быть использованы данные, приведенные в табл. 82.

В заключение приведен продольный профиль трассы водовода (рис. 163). Из рисунка видно, что профиль водопровода аналогичен профилю канализации (см. рис. 162) и дополнительных пояснений не требует.

Т а б л и ц а 82

Номера колодцев	Отметки поверхности земли, м	Расстояние между колодцами, м	Уклоны трубопровода	
	156,60			
2	156,00	140	Колодцы № 1 — № 5 890 м $i = 0,0035$	Трассу канализации пересекает теплотрассовод на расстоянии 48,20 м от колодца № 3, на отметке 154,70 м
3	155,30	170		
		350		
4	154,60	230	Диаметр труб $d = 300$ мм	
5	154,15	220		
6	153,80	170	Колодцы № 5—№ 7 390 м $i = 0,0030$ Диаметр труб $d = 350$ мм	
	153,10			

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните понятие: трасса сооружения.
2. Что такое пикетаж?
3. Какой порядок производства геодезических работ при нивелировании трассы и съемке прилегающей полосы местности?
4. Объясните назначение плюсовых или промежуточных точек.
5. Когда возникают x -точки?
6. Какие документы ведут при нивелировании и съемке трассы сооружения
7. Для какой цели производят разбивку кривых на трассе?
8. Назовите главные точки и элементы круговой кривой.
9. Какой порядок расчета главных точек кривой в пикетаже?
10. Для какой цели производят разбивку и нивелирование поперечных профилей?
11. Какой порядок работы при построении продольного профиля трассы сооружения и поперечных профилей?
12. Что такое уклон линии и каков его геометрический смысл?
13. Как вычислить проектные и фактические отметки?
14. Когда возникают точки нулевых работ и как вычислить расстояния от этих точек до пикетов?
15. Поясните порядок обозначения кривых на профиле.
16. Что называется живым сечением реки?
17. Как определяется расстояние между урезными кольями?

§ 77. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПЛАНИРОВКИ

Задачей вертикальной планировки является преобразование существующей топографической поверхности для нужд строительства и благоустройства гражданских и промышленных сооружений.

Преобразование существующей топографической поверхности в проектную осуществляется оформляющими плоскостями (иногда поверхностями различного порядка).

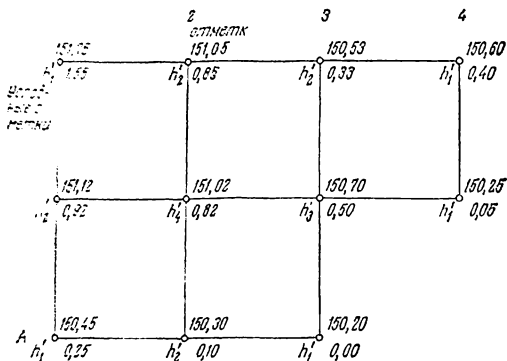


Рис. 164. Фактические и условные отметки вершин квадратов

Проектирование оформляющей плоскости связано с расчетом, а перенесение ее на местность — с производством земляных работ, созданием насыпей и выемок. Высота насыпи и глубина выемки в каждой точке проекта характеризуется величиной рабочей отметки. Поэтому заключительной частью расчетов, возникающих при составлении проекта вертикальной планировки, является определение их значений по формуле

$$h = H_{\phi} - H_n, \quad (\text{XV.3})$$

где h — рабочая отметка; H_{ϕ} — фактическая отметка точки проекта; H_n — проектная отметка этой же точки.

Ниже рассматриваются элементарные задачи преобразования топографической поверхности строительной площадки в проектную при помощи оформляющих плоскостей. Для решения этих задач используются фактические отметки вершин квадратов, полученные в результате нивелирования поверхности участка (рис. 164) по квадратам. Сторона a квадрата равна 20 м.

Проектирование горизонтальной площадки с соблюдением баланса земляных работ

1. Решение задачи начинают с определения проектной отметки горизонтальной площадки по формуле

$$H_n = H + \frac{\sum h'_1 + 2 \sum h'_2 + 3 \sum h'_3 + 4 \sum h'_4}{4n}, \quad (\text{XV.4})$$

где H — наименьшая из фактических отметок вершин квадратов, округленная до дециметра; $\sum h'_1$ — сумма условных отметок вершин, принадлежащих только одному квадрату; $\sum h'_2$ — сумма условных отметок вершин, общих для двух смежных квадратов; $\sum h'_3$ — сумма условных отметок вершин, общих для смежных квадратов; $\sum h'_4$ — сумма условных отметок вершин, общих для четырех смежных квадратов; n — число квадратов.

Условные отметки вершин квадратов вычисляют из выражения

$$h'_i = H_{\phi} - H, \quad , 2, \dots, N. \quad (\text{XV.5})$$

Числовые значения условных отметок показаны на рис. 164.

Для участка, изображенного на рис. 164, проектная отметка горизонтальной плоскости согласно формуле (XV.4) будет равна

$$\begin{aligned} H_n &= 150,20 + \frac{(1,55 + 0,40 + 0,05 + 0,00 + 0,25)}{4 \cdot 5} + \\ &+ \frac{2(0,85 + 0,33 + 0,10 + 0,92) + 3(0,50) + 4(0,82)}{4 \cdot 5} = 150,20 + \\ &+ 0,57 = 150,77 \text{ м} \end{aligned}$$

2. Пользуясь величиной H_n и значением фактических отметок H_{ϕ} вершин квадратов вычисляют рабочие отметки h по формуле (XV.3). Числовые значения рабочих отметок показаны на рис. 165 у соответствующих вершин квадратов.

3. Определяют положение линии нулевых работ (линии пересечения проектной плоскости с топографической поверхностью участка).

Для этого предварительно находят положение точек нулевых работ на тех сторонах квадратов, вершины которых имеют рабочие отметки с противоположными знаками.

Положение точек нулевых работ на сторонах квадратов определяется величиной отрезка l по формуле

$$l = \frac{a |h_1|}{|h_1| + |h_2|}, \quad (\text{XV.6})$$

где h_1 и h_2 — абсолютные значения рабочих отметок двух соседних вершин квадрата.

Так, например, положение точки нулевых работ на стороне квадрата $B2-B3$ (см. рис. 165) будет определено, если от вершины $B2$ к вершине $B3$ отложить отрезок, равный

$$l = \frac{0,28 \cdot 20}{0,28 + 0,24} = 10,77 \approx 10,8 \text{ м.}$$

Положение точки нулевых работ может быть также определено путем графических построений, которые выполняют на сторонах

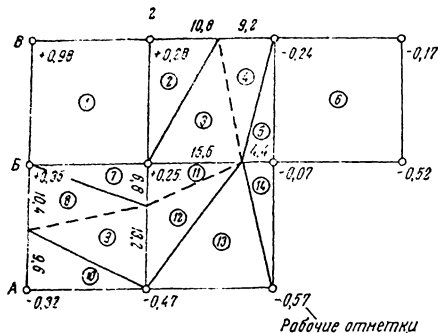


Рис. 165. Картограмма земляных масс

сетки квадратов. Для этого рабочие отметки откладывают на перпендикулярах к сторонам квадратов в одном и том же произвольном масштабе. Длину отрезков l и l' получают с точностью масштаба плана.

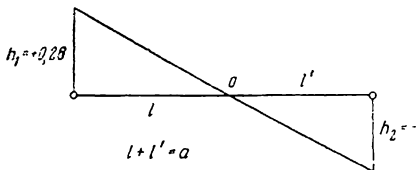


Рис. 166. Графический способ определения планового положения точки нулевых работ

Порядок построения, выполняемого для определения положения точки нулевых работ на стороне квадрата $B2-B3$, показан на рис. 166. Соединив все смежные точки нулевых работ, получают положение линии нулевых работ. На рис. 165 она показана пунктирной линией.

4. Объемы земляных работ подсчитывают отдельно для выемки и насыпи. В целых квадратах, не пересекаемых линией нулевых работ, объем земляных работ подсчитывают по формуле

$$V = \frac{a^2}{4} \sum h_i, i = 1, 2, \quad (\text{XV.7})$$

где a — длина стороны квадрата.

Квадраты, пересекаемые линией нулевых работ (переходные квадраты), предварительно расчленяют на элементарные фигуры (чаще всего треугольники).

Вычисление объема земляного тела, основанием которого служит треугольник, производят по формуле

$$V = \frac{S}{3} \sum h_i, i = 1, 2, 3, \quad (\text{XV.8})$$

где S — площадь треугольника.

Результаты вычисления объемов выемки и насыпи приведены в табл. 83.

Т а б л и ц а 83

Ведомость вычисления объемов земляных работ

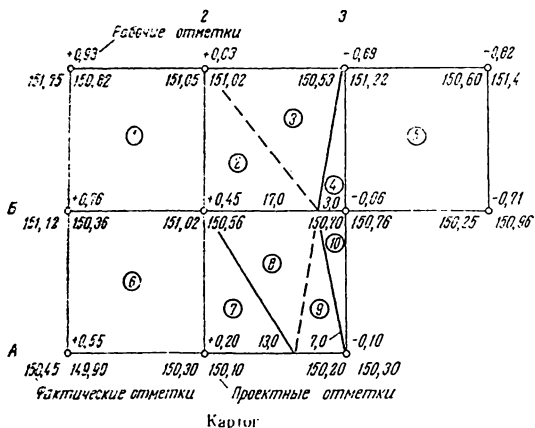
№ фигур	Площади фигур, м ²	Средняя рабочая отметка, м	Объемы земляных работ, м ³	
			выемка +	насыпь —
1	400,0	+0,46	184,0	—
2	108,0	+0,18	19,4	—
3	156,0	+0,08	12,4	—
44	92,0	—0,08	—	7,4
5	41,0	—0,10	—	4,4
6	400,0	—0,25	—	100,0
7	69,0	+0,20	13,8	—
8	104,0	+0,12	12,5	—
9	131,0	—0,16	—	21,0
10	96,0	—0,26	—	25,0
11	53,8	+0,08	4,3	—
12	102,2	—0,16	—	16,4
13	200,0	—0,35	—	70,0
14	44,0	—0,21	—	9,2
$P = 2000,0$			246,4	253,4
			$\Delta v = +7,8$	

Иногда значение объемов выемки и насыпи целесообразно показывать на картограмме земляных масс в границах соответствующих фигур.

Проектирование наклонной плоскости

Исходными данными для решения данной задачи являются фактические отметки вершин квадратов (см. рис. 164), исходная отметка точки $A1$ проектной плоскости (отметка опорной точки), равная $H_{nA1} = 149,90$ м и уклоны по взаимно перпендикулярным сторонам квадратов $i_1 = +0,023$ и $i_2 = +0,010$, считая от точки $A1$.

1. Решение задачи начинают с вычисления отметок точек проектной плоскости. Связь между отметками точек наклонной про-



ектной плоскости устанавливается из формулы (см. § 127 учебника)

$$H_{n62} + d_2 i_2 = H_{nA1} + h_1 + h_2, \quad (XV.9)$$

где H_{n62} — искомая проектная отметка; H_{nA1} — отметка опорной точки; $d_1 = d_2 = a$ — горизонтальные расстояния, равные длине стороны квадратов; i_1, i_2 — уклоны по двум взаимно перпендикулярным сторонам квадратов; h_1, h_2 — превышения по этим же сторонам квадратов.

Вначале вычисляют превышения по сторонам сетки квадратов:

$$h_1 = a i_1 = 20 \cdot 0,023 = +0,46 \text{ м};$$

$$h_2 = a i_2 = 20 \cdot 0,010 = +0,20 \text{ м}.$$

Далее по значению отметки опорной точки $A1$ и полученным превышениям находят проектные отметки всех вершин квадратов по формуле (XV.9).

Так, например, для точки Б2 проектная отметка будет равна

$$H_{п\text{Б}2} = H_{п\text{А}1} + h_1 + h_2 = 149,90 + 0,46 + 0,20 = 150,56 \text{ м.}$$

2. Вычисляют по формуле (XV.9) значение проектных отметок всех остальных вершин квадратов.

3. Положение линии нулевых работ определяют так же, как и в предыдущей задаче.

Числовое значение проектных, рабочих отметок, а также положение линии нулевых работ показаны на картограмме земляных масс (рис. 167).

4. Подсчет объемов земляных работ производят по формулам (XV.7) и (XV.8). Результаты вычисления объемов земляных работ приведены в табл. 84.

Т а б л и ц а 84

Ведомость вычисления объемов земляных работ

№ фигур	Площадь фигур, м ²		Объемы земляных работ, м ³	
			выемка +	насыпь —
1	400	+0,54	216,0	—
2	170	+0,16	27,2	—
3	200	—0,24	—	40,8
4	30	—0,25	—	7,8
5	400	—0,57	—	228,8
6	400	+0,49	196,0	—
7	130	+0,22	28,6	—
8	170	+0,15	26,5	—
9	70	—0,03	—	2,1
10	30	—0,06	—	1,8
	2000		493,3	280,2
			$\Delta v = +213,1$	

При проектировании наклонной плоскости с соблюдением баланса земляных работ предварительно определяют положение ее центра тяжести. Для однородной системы материальных точек координаты x_u и y_u центра тяжести получают по формулам

$$x_u = \frac{\sum_1^n x_i}{n} \quad \text{и} \quad y_u = \frac{\sum_1^n y_i}{n}, \quad (\text{XV } 10)$$

где x_i и y_i — координаты вершин квадратов.

Далее по формуле (XV.4) определяют проектную отметку центра тяжести планируемого участка. По известной отметке центра

тяжести вычисляют проектную отметку ближайшей к нему вершины квадрата. Порядок остальных действий аналогичен изложенному в предыдущей задаче.

В рассмотренных задачах определялись объемы планировочных работ при переходе от существующей топографической поверхности к прсектной.

Если на территории планируемого участка предусмотрено строительство сооружений, то необходимо дополнительно учесть объемы грунта, вынимаемого из котлованов. При этом объемы выемок будут превышать объемы насыпей в задачах, решаемых с соблюдением баланса земляных масс. Чтобы восстановить нулевой баланс, находят поправку ΔH к исходной проектной отметке.

Если объем выемки отличается от объема насыпи на величину Δv , то поправка ΔH в исходную проектную отметку будет равна

Вопросы для самоконтроля

1. Для какой цели производят вертикальную планировку топографической поверхности?
2. Как рассчитать прсектную от ΔH горизонтальной площади?
3. Какой порядок определения положения линии нулевых работ на плане?
4. Как вычислить рабочие отметки в вершинах квадратов?
5. Как вычисляют объемы земляных работ в границах целых квадратов и квадратах, расчлененных линией нулевых работ?
6. Что такое картограмма земляных работ?

§ 78. РАСЧЕТ РАЗБИВОЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ для СОСТАВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ЧЕРТЕЖЕЙ ПЕРЕНОСЕНИЯ ПРОЕКТОВ В НАТУРУ

Перенесение проекта в натуру сводится к определению на местности положения отдельных его точек. Последние могут быть получены на местности способом прямоугольных, полярных координат, линейных и угловых засечек. Для этого предварительно производится подготовка угловых и линейных данных. Существуют аналитический, графический и графоаналитический способы подготовки разбивочных элементов — углов, линий. Наиболее точным является аналитический способ.

Из перечисленных выше способов разбивки точек чаще всего пользуются способом полярных координат.

Ниже приведен пример графо-аналитической подготовки данных для разбивки точек $B/1$, $B/6$, $B/18$, $B/16$ сооружения (рис. 168). Для разбивки этого сооружения на местности проложен опорный теодолитный ход и вычислены координаты его вершин 1, 2, 3.

Координаты вершин сооружения получены графически с топографического плана. Значения координат приведены в табл. 85. По координатам этих точек решением обратной геодезической задачи находят разбивочные элементы — углы и расстояния по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_n - y_{n-1}}{x_n - x_{n-1}};$$

$$d = \frac{y_n - y_{n-1}}{\sin \alpha} = \frac{x_n - x_{n-1}}{\cos \alpha}. \quad (\text{XV.})$$

Аналитический расчет разбивочных элементов может быть выполнен при помощи таблиц натуральных значений тригонометри-

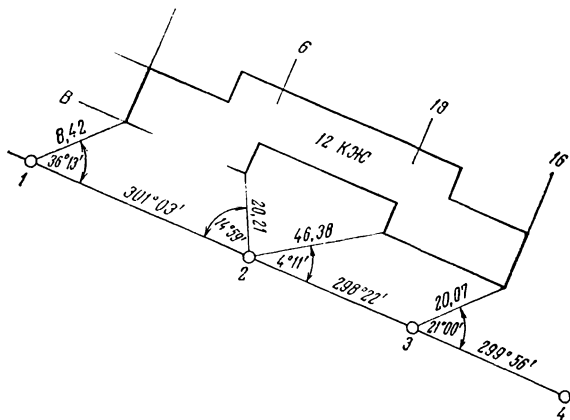


Рис. 168. Разбивочн

ческих функций, ЭКВМ или арифмометра либо при помощи таблиц логарифмов.

Пример решения задачи для линии 1—В/1 (см. рис. 168) при помощи таблиц натуральных значений тригонометрических функций, ЭКВМ или арифмометра приведен в табл. 86. Решение этой же задачи с помощью пятизначных таблиц логарифмов показано в табл. 87.

Аналогично приведенному выполняются вычисления для всех других разбивочных элементов. Полученные таким образом данные выписывают на схему (см. рис. 168), являющуюся рабочим чертежом перенесения проекта сооружения в натуру.

Координаты углов здания и вершин теодолитного хода

№ углов здания			№ вершин теодолитного хода		
B/1	+1703,54	+1416,82	1	+1702,78	+1408,43
B/6	+1677,96	+1459,78	2	+1663,41	+1473,81
B/18	+1644,41	+1516,12	3	+1634,31	+1527,70
B/16	+1626,49	+1546,18			

На точность перенесения точек проекта в натуру полярным способом влияют:

погрешность откладывания полярного расстояния $\frac{m_d}{d}$,

погрешность построения полярного угла m_β и погрешность закрепления точки, перенесенной на местность m_3 .

Т а б л и ц а 86

Расчет разбивочных элементов при помощи таблиц
натуральных значений тригонометрических функций,
ЭКВМ или арифмометра

Порядок расчетов зад. чр	п обозн	
	$y_{B/1}$	+1416,82
	y_1	+1408,43
	$y_{B/1} - y_1$	8,39
	$\operatorname{cosec} \alpha$	1,004
	$d = (y_{B/1} - y_1) \operatorname{cosec} \alpha$	8,425
	$x_{B/1}$	+1703,54
	x_1	+1702,78
	$x_{B/1} - x_1$	+0,76
	$\sec \alpha$	11,085
	$d = (x_{B/1} - x_1) \sec \alpha$	8,424
	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{y_{B/1} - y_1}{x_{B/1} - x_1}$	+11,007
8		CB : $84^\circ 49,5'$ *
9	α	$84^\circ 49,5'$
14	d_{cp}	8,42 м

Название румба r , полученного из таблиц, устанавливается в зависимости от знака разности координат — приращений координат. Угол β получают как разность дирекционных углов линий 1—2 и 1—B/1 (см. рис. 168): $121^\circ 03' - 84^\circ 50' = 36^\circ 13'$

Расчет разбивочных элементов при помощи
пятизначных таблиц логарифмов

Порядок решения задачи	Формула	значения величин
1	$y_{B/1}$	+1416,82
3	y_1	+1408,43
5		+8,39
2		+1703,54
4		+1702,78
6		+0,76
7		0,92376
12		9,99822
14		0,92554
16		8,425
8		9,88081
13		8,95519
15		0,92562
17		8,424
9		1,04295
10		84° 49' 5"
11		84° 49,5'
18		8,42 м

Полагая перечисленные погрешности действующими независимо и пренебрегая погрешностями в положении пунктов опорной разбивочной сети, согласно формуле (III.4) будем иметь

$$m = \sqrt{\left(\frac{m_d}{d}\right)^2 d^2 + d^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho''}\right)^2} + \quad (\text{XV.12})$$

Если $\frac{m_d}{d} = \frac{1}{5000}$, $m_\beta = \pm 30''$, $d = 10$ м и $m_s = \pm 0,5$ см, то $m = \pm 0,7$ см.

При расстоянии $d = 100$ м погрешность m при тех же условиях составит ± 4 см. Следовательно, при перенесении проекта в натуру опорные ходы следует прокладывать на расстояниях от разбиваемых контуров, не превышающих 10—20 м (длины мерного прибора).

Формула (XV.12) позволяет также рассчитать, с какой точностью следует выполнять угловые и линейные измерения, если задана погрешность планового положения разбиваемой точки.

Вопросы для самоконтроля

1. Что понимают под разбивкой сооружений?
2. Какие разбивочные элементы надо знать для перенесения проекта сооружения в натуру?
3. Назовите способы расчета разбивочных элементов.
4. В чем состоит идея решения обратной геодезической задачи на координаты?
5. Как по значению угла, выбранного из таблиц натуральных значений тригонометрических функций, перейти к дирекционному углу?
6. Как по значениям дирекционных углов соответствующих линий (выходящих из общей точки) вычислить угол между ними?

§ 79. СПРАВОЧНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Опорные геодезические сети для разбивки сооружений

Геодезические опорные сети, созданные на территории строительства в период изыскания сооружений, служат в основном целям составления топографических планов. Густота и точность такой сети бывают недостаточны для производства разбивочных

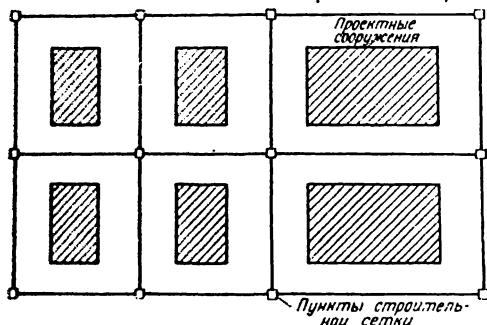


Рис. 169 Схема размещения пунктов строительной сети

работ, исследования деформаций сооружений и выполнения исполнительных съемок. Не удовлетворяет требованиям строительства и местоположение пунктов этой сети, так как в процессе изысканий известное положение отдельных сооружений неизвестно.

В силу этого построенные опорные сети необходимо сгущать, уточнять, а иногда строить специальные сети для перенесения проекта сооружений в натуру и геодезического обслуживания строительства. Так, например, в § 78 рассмотрен случай, когда для перенесения проекта в натуру специальной опорной сетью являлись теодолитные ходы.

Другим примером специальной опорной сети, предназначенной для разбивки сооружений, является строительная сетка. Последняя представляет собой систему квадратов или прямоугольников (иногда их сочетание), размещенных на территории строительства. Проект строительной сетки составляется одновременно с разработкой генерального плана строительства таким образом, чтобы с ее опорных точек удобно было выполнять разбивку и чтобы эти точки располагались возможно ближе к разбиваемым сооружениям. Это требование подтверждается, например, приведенным в § 78 расчетом точности перенесения в натуру точек проекта.

Краткие сведения об условиях проектирования строительной сетки и способа ее перенесения в натуру изложены в § 128 учебника. На рис. 169 приводится пример размещения вершин фигур строительной сетки относительно проектируемых сооружений.

Нормы точности геодезических работ и строительные допуски

Технология строительных работ, геодезические работы как составная часть этих работ должны обеспечить проектные местоположение, форму и размер сооружения. В силу наличия случайных и систематических погрешностей, сопутствующих технологическому процессу строительства сооружений, последние имеют отклонения от проекта. Эти отклонения не должны быть более строительного допуска Δ , диктуемого СНиП (строительными нормами и правилами).

Поскольку геодезические работы являются составной частью технологического процесса строительства, можно установить норму точности этих работ по величине допуска Δ .

Строительный допуск может рассматриваться как предельная погрешность, равная тройной средней квадратической

$$\Delta = \pm 3m.$$

Величина m складывается из погрешности m_1 геодезических действий, погрешности m_2 строительных работ и погрешности m_3 отклонения деталей сооружений (блоков фундамента, колонн, гирелей и др.) от проектных размеров.

Тогда

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2}. \quad (\text{XV.13})$$

Полагая, что $m_1 = m_2 = m_3$, получим

$$m = m_1 \sqrt{3}. \quad (\text{XV.14})$$

Подставив (XV.14) в (XV.13), будем иметь

$$m = 0,20 \Delta, \quad (\text{XV.15})$$

т. е. погрешность геодезических действий должна составлять 20% от строительного допуска.

Краткие сведения о строительных допусках при разбивке сооружений даны в табл. 88.

Строительные допуски при установке конструкций

Наименование отклонений	Величина допускаемых отк (мм) для:	
	железобетонных многоэтажных конструкций промышленных зданий	стальных конструкций
1	2	3
I. Фундаменты		
Смещение относительно разбивочных осей:		
осей фундаментных блоков нижнего ряда	± 20	
то же, верхнего ряда	± 10	
осей стаканов фундаментов	± 10	
Отклонение отметок верхних опорных поверхностей фундаментов:		
опорной поверхности стакана	-20	
при непосредственном опирании вышележащей конструкции	± 5	
Смещение анкерных болтов в плане	± 10	
Отклонение отметки верхнего торца анкерного болта	± 20	
II. Колонны		
Смещение осей колонн в нижнем сечении относительно разбивочных осей	± 5	
Отклонение осей колонн от вертикали в верхнем сечении при высоте колонн H , м		
до 4,5	± 10	—
от 4,5 до 15	± 15	± 15
свыше 15	$\pm 0,001H$, но не более 35	$\pm 0,001H$, но не более 35
Разница отметок верха к и каждого яруса	$12 + 12n$, n — номер яруса	
III. Подкрановые балки и подкрановые пути		
Смещение продольной оси подкрановой балки с разбивочной оси	± 5	
Отклонение расстояния между осями подкрановых рельсов одного пролета	± 10	
Взаимное смещение торцов смежных подкрановых рельсов по высоте и в плане	2	
IV. Балки, фермы, ригели, прогоны перекрытия		
Смещение осей элементов относительно разбивочных осей		
Отклонение отметок опорных узлов ферм, ригелей	± 20	

	Величина допускаемых отклонений (мм) для:	
	железобетонных конструкций промышленных зданий	стальных конструкций
1	2	3
Отклонение расстояний между осями ферм, балок, ригелей, перекрытия по верхнему поясу	± 25	± 15
Отклонение расстояний между прогонами		± 5
V. Стены и перегородки, плиты перекрытий		
Смещение осей панелей стен и перегородок от разбивочных осей в нижнем сечении	± 5	—
Отклонение плоскостей панелей стен и перегородок от вертикали в верхнем сечении	± 5	
Разница отметок опорных поверхностей панелей стен и перегородок в пределах блока	10	—

Сведения о составлении исполнительных чертежей

Целью исполнительной съемки является установление соответствия между возведенным сооружением (либо комплексом сооружений) и проектом.

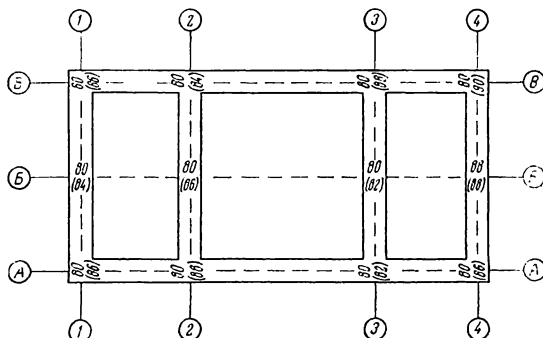


Рис. 170. Исполнительная схема разбивки котлована

Исполнительная съемка может выполняться для составления исполнительного плана комплекса сооружений либо для составления исполнительных чертежей технологических элементов объекта: фундаментов, перекрытий и т. д.

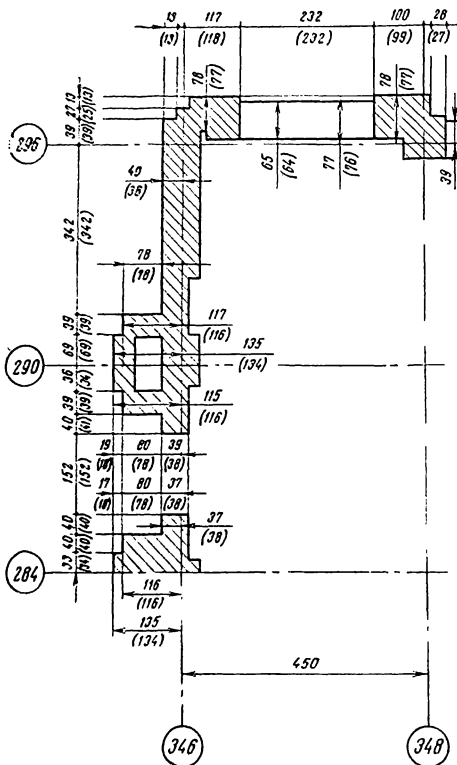


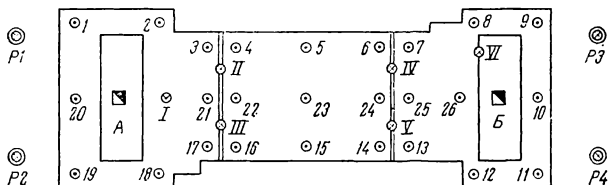
Рис. 171. Исполнительная

Результаты исполнительной съемки необходимы для правильной эксплуатации сооружений: выявленные при ее производстве отклонения от проектного положения элементов конструкции могут изменить расчетный режим работы сооружения, что должно быть учтено при его эксплуатации.

На рис. 170, приведены примеры исполнительных чертежей.

Сведения о наблюдениях за деформацией сооружений

В результате наблюдений за деформацией сооружений устанавливается степень соответствия проектных прогнозов о прочности и устойчивости сооружений их действительному состоянию.



- ⊙ Фундаментальные реперы
- ⊙ Марки для наблюдения за осадками
- ⊙ Сквасжины для наблюдений за температурой фундамента
- Сквасжины для наблюдений за уровнем грунтовых вод

172. Проект размещения знаков для наблюдений за осадками фундамента

Геодезические наблюдения за осадками и деформацией зданий и сооружений дают возможность своевременно выполнить ремонтные работы, предотвратить аварию и тем самым обеспечить их нормальную работу.

Наблюдение за осадками сооружений чаще всего выполняется повторным высокоточным нивелированием знаков (марок), установленных на исследуемых объектах. Сравнивая результаты нивелирования марок, полученные в различные периоды, можно судить о величине осадки отдельных частей сооружений.

Проект размещения марок (рис. 172) составляют с учетом вида, конструкции сооружения, а также геологических и гидрогеологических условий местности.

По результатам периодических нивелировок составляют ведомости, в которых указывают величину осадки отдельных марок между двумя периодами, а также общую величину осадки с начала наблюдений.

Наглядное представление о величине и ходе осадки дает график осадки марок фундаментов (рис. 173), а также чертеж кривых равных осадок (рис. 174).

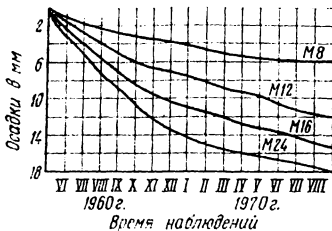
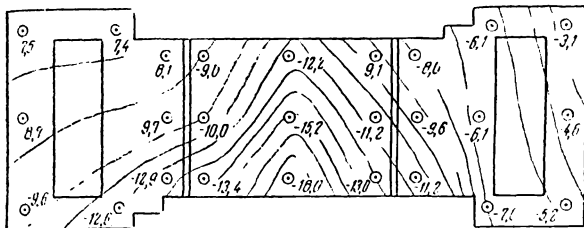


Рис. 173. График осадки марок фундамента

Рис. 174. Кривые равных осадок фундамента



Примерное содержание занятий

По составлению профиля трассы линейного сооружения

1. Обработка журнала нивелирования трассы
2. Построение профиля трассы и поперечных профилей
3. Нанесение проектной линии на профиль.
4. Расчет и обозначение кривых на профиле.
5. Оформление профиля

Дополнительные вопросы

1. Особенности проектирования проектной линии в зависимости от вида линейного сооружения.
2. Вынос пикетов на кривую; детальный рас
3. Расчет вертикальных кривых.

По составлению разбивочного чертежа

1. Решение обратной геодезической задачи для расчета элементов разбивочных работ:
 - а) по логарифмической схеме,
 - б) при помощи ЭКВМ или арифмометра *
2. Составление рабочего чертежа перенесения проекта в натуру.

В зависимости от конкретных условий задача решается по одному из вариантов.

Дополнительные вопросы

Расчет разбивочных элементов на основе строительной сетки.

По геодезическим расчетам при вертикальной планировке

1. Проектирование горизонтальной плоскости с учетом баланса земляных работ:

- а) вычисление отметки проектной плоскости,**
- б) вычисление рабочих отметок,**
- в) подсчет объемов земляных работ,**
- г) составление баланса земляных работ,**
- д) построение картограммы земляных масс.**

Дополнительные вопросы

1. Проектирование наклонной проектной плоскости с учетом баланса земляных работ.

120—129 2° 120—129 2°

Превышения												
	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129		
0	4,19	4,22	4,26	4,29	4,32	4,36	4,39	4,43	4,46	4,50	0	0,5
2	26	29	33	36	40	43	47	50	54	57	2	1,0
4	32	36	40	43	47	50	54	58	61	65	4	1,5
6	39	43	47	50	54	58	61	65	69	72	6	
8	4,46	4,50	4,54	4,58	4,61	4,65	4,69	4,72	4,76	4,80	8	1
												2
												3
10	4,53	4,57	4,61	4,65	4,68	4,72	4,76	4,80	4,84	4,87	10	4
12	60	64	68	72	76	79	83	87	91	95	12	5
14	67	71	75	79	83	87	91	95	98	102	14	6
16	74	78	82	86	90	94	98	102	106	110	16	7
18	4,81	4,85	4,89	4,93	4,97	5,01	5,05	5,09	5,13	5,17	18	8
												9
20	4,88	4,92	4,96	5,00	5,04	5,08	5,13	5,17	5,21	5,25	20	1
22	95	99	5,03	07	12	16	20	24	28	32	22	2
24	5,02	5,06	10	15	19	23	27	31	36	40	24	3
26	09	13	18	22	26	30	34	39	43	47	26	4
28	5,16	5,20	5,25	5,29	5,33	5,37	5,42	5,46	5,50	5,55	28	5
30	5,23	5,27	5,32	5,36	5,40	5,45	5,49	5,53	5,58	5,62	30	6
32	30	34	39	43	48	52	56	61	65	70	32	7
34	37	41	46	50	55	59	64	68	73	77	34	8
36	44	48	53	57	62	66	71	76	80	85	36	9
38	5,51	5,55	5,60	5,65	5,69	5,74	5,78	5,83	5,87	5,92	38	

Превышения												
	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	°	
40	5,58	5,62	5,67	5,72	5,76	5,81	5,86	5,90	5,95	6,00	40	0
42	65	69	74	79	83	88	93	98	102	17	42	1
44	72	76	81	86	91	95	100	104	108	17	44	1
46	79	83	88	93	98	103	107	112	117	22	46	2
48	85	90	95	100	105	110	115	120	125	29	48	
50	92	97	102	107	112	117	122	127	132	37	50	7
												8
												9
												4
52	99	104	109	114	119	124	129	134	139	44	52	7
54	106	111	116	121	126	131	136	141	146	52	54	
56	113	118	124	129	134	139	144	149	154	59	56	
58	120	125	131	136	141	146	151	156	162	67	58	0,5
60	127	132	138	143	148	153	159	164	169	7	60	1,0
												4
												5
	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129		

2°

Горизонтальные положения линий измеренных дальномером												
0	119,9	120,9	121,9	122,9	123,8	124,8	125,8	126,8	127,8	128,8	0	
30	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	30	
60	119,7	120,7	121,7	122,7	123,7	124,7	125,7	126,7	127,6	128,6	60	

	Расстояния.									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Поправки в миллиметрах										
1° 0'	2	3	5	6	8	9	11	12	14	15
1 30	3	7	10	14	17	20	24	27	30	34
2 0	6	12	18	24	30	37	43	49	55	61
2 30	10	19	29	38	48	57	67	76	86	95
3 0	14	27	41	55	69	82	96	110	124	137
3 30	19	37	56	75	94	112	131	149	168	187
4 0	24	49	73	98	122	145	171	195	220	244
4 30	31	62	92	123	151	185	216	246	277	308
5 0	38	76	114	152	190	229	267	305	343	381
5 30	46	92	138	184	230	276	322	368	414	460
6 0	55	110	164	219	274	329	384	438	493	548

ПРАВИЛА ОБРАЩЕНИЯ С ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ ПРИБОРАМИ

1. Геодезические приборы требуют особенно тщательного обращения: малейшая небрежность вызывает повреждение инструмента и делает его непригодным для работы.

2. Нельзя применять усилий, когда прибор с трудом вынимается из ящика или металлического колпака, следует выявить и устранить причину этого.

3. Теодолит следует брать за подставку, а кипрегель — за колонку.

4. Приборы надо предохранять от дождя, нагревания солнцем, грязи, пыли.

5. Закрепительные винты отдельных деталей (алидады, лимба, трубы и др.) должны зажиматься без излишних усилий во избежание натяжений в инструменте.

6. Не следует прилагать большое усилие при вращении какой-ли инструмента; необходимо предварительно убедиться в том, что открепив соответствующие закрепительные винты.

7. Вывинчивать и ввинчивать винты следует очень осторожно, так как легко повреждаются первые витки и винт становится непригодным к работе. Как вывинчивать, так и ввинчивать винты надо медленно; завинчивать следует без особых усилий.

8. Работая исправительными винтами, особенно при конструкциях, имеющих винты, противодействующие один другому, необходимо соблюдать особую осторожность во избежание их поломки.

9. При работе исправительными винтами уровней следует иметь в виду, что тугой ход этих винтов при сильном закреплении ведет к срыву резьбы в гнезда и иногда к поломке винтов.

10. Оптика должна строго предохраняться от повреждений. Не разрешается касаться линз пальцами, так как это больше загрязняет оптику, чем пылинки.

11. На небольшие расстояния прибор разрешается переносить привинченным к штативу, держа его на плече в положении, близком к вертикальному; вращающиеся части прибора должны быть закреплены зажимными винтами.

12. К прибору нельзя допускать посторонних и не следует оставлять его без присмотра.

13. По окончании работы надо с прибора удалить пыль кисточкой или тряпочкой.

14. При укладке прибора в ящик следует изучить расположение частей в соответствующих гнездах и способы закрепления этих частей зажимными приспособлениями, ослабить все закрепительные винты, после чего установить прибор в ящик. При укладке теодолита в металлический колпак надо предварительно совместить все имеющиеся на приборе и колпаке соответствующие красные метки (точки).

15. Дверца ящика или металлический колпак закрываются после того, как проверена правильность установки прибора и его отдельных частей.

16. Буссоль следует оберегать от сотрясения во избежание повреждения стекла коробки и размагничивания стрелки.

17. Ленту во время работы должны переносить два мерщика; нельзя допускать образования петель. После работы ленту следует насухо протереть.

18. Нельзя рейки и вешки бросать на землю; нельзя их применять для переноски инструментов; надо оберегать от повреждений раскрашенные плоскости реек.

19. Рекомендуется по окончании полевых работ в каждый ящик или футляр прибора вложить перечень обнаруженных неисправностей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ассур В. Л., Муравин М. М. Руководс
по графической практике. М. Недра, 1975
2. Большаков В. Д. Теория ошибок тео
рии вероятностей. М., Недра, 1965.
3. Ганышин В. Н., Лебедев С. М. Хренов Л. С. Практик М
Недра, 1964.
4. Ганышин В. Н., Косыков Б. И., Хренов Л. С. Спра
во крупномасштабным съемкам. М., Недра, 1969.
5. Гиришберг М. А. Геодезия. М., Недра, 1967.
6. Гайдаев П. А., Большаков В. Д. Теория математики обработки гео
дезических измерений. М., Недра, 1969.
7. Геодезия/Маслов А. В. Гордеев А. В., М.,
Недра, 1972.
8. Геодезические разбивочные работы/Видуев Н. П. Вой-
тенко С. П. и др. М., Недра, 1973.
9. Гостюк Г. Ф. Геодезия в строительном-монтажном М.
изд-во литературы по строительству, 1967.
10. Захаров А. И. Новые теодолиты и оптич альномеры. М. Недра,
1967
11. Инженерная геодезия. Под ред. П. С. Закатова. М., Недра, 1976.
12. Инженерная геодезия. Под ред. Л. С. Хренова. М. Недра, 1968.
13. Инструкция по нивелированию I, II, III, IV классов. М. «Недра»,
1973.
14. Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1:5000, 1:2000,
1:1000 и 1:500. М., Недра, 1973.
15. Инструкция по топографо-геодезическим работам для городского, пос-
селкового и промышленного строительства. СН 212-73. М., Госстройиздат,
1974.
16. Кликов О. Д. Основы инженерных изысканий. М. Недра, 1974.
17. Колосов Б. А. Расчетно-графические работы по геодезии. М., Высшая
школа, 1964.
18. Ларченко Е. Г. Вычислительная техника экономико-статистические
методы в землеустройстве. М. Недра, 1973.
19. Левчук Г. П. Курс инженерной геодезии. М. Недра,
20. Лобанов А. Н. Фототопография. М. Недра, 1971.
21. Механизация вычислительных работ. Под ред. Л. С. Хренова. М. Выс-
шая школа, 1975.
22. Неумывакин Ю. К. Геодезические работы при перенесении на местность
проектов планировки. М., Недра, 1969.
23. Неумывакин Ю. К. Практическое руководство
турной службы города. М. Недра, 1973.
24. Новая геодезическая техника и ее применение в строительстве. Под ред.
В. А. Величко, М., Недра, 1973.

25. Пократьев Ю. Н., Пузанов Б. С., Сердюков В. Н. Инженерная фотограмметрия. Изд-во Львовского ун-та, 1964.
26. Практикум по геодезии. Под ред. Н. И. Модринского. М., Недра, 1973.
27. Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1000, 1 : 500. Наземные съемки. М., Недра, 1977.
28. Рытов А. В., Спиридонов А. И. Геодезические приборы для крупномасштабных топографических съемок. М., Недра, 1977.
29. Хейфец Б. С., Данилевич Б. Б. Практикум по инженерной геодезии. М., Недра, 1973.
30. Хейфец Б. С., Мовчан С. Ф. Методические указания по составлению топографического плана на теодолитно-нивелирном обосновании. МИСИ, 1968.
31. Хейфец Б. С. Геодезические расчеты при вертикальной планировке строительных участков. МИСИ, 1969.
32. Чеботарев А. С. Геодезия. Ч. I. М., Геодезиздат, 1955.
33. Шлюв П. Н., Федоров В. Н. Инженерная геодезия и аэрогеодезия. М., Недра, 1971.

А

Абрис 209
Азимут 27
Альдада 64
Аналитические сети 181
Арифметическая средина 47
Аэроснимок 273

Б

Базис 109
Барометр 169
Барабаны (отсчетные) 144
Барометрическое нивелирование 168
Барометрические таблицы 170
Башмак 148
Биссектор 145
Буассоль 75, 263

Ведомость вычисления координат 212
Ведомость вычисления площадей 38
Верньер (ноннус) 73
Вертикальный круг 98
Вероятное значение 46
Вес измерения 48
Визирная ось 64
Вилка для центрирования 264
Винты:

 становые 67
 подъемные 65
 закрепительные 65
 наводящие 65
 исправительные 65

Водораздельная линия 31
Водосборная площадь 31
Высота точки 29
Высота прибора 166
Высота сечения рельефа 21
Высотное съемочное обоснование 197

Г

Географические координаты 26
Геометрическое нивелирование
Геометрическая сеть 269
Гистограмма 45
Главные точки кривой 285
Головка штатива 65
Гониометр 206
Горизонтали 21, 29
Горизонт прибора 164
Горизонтальное проложение 211
Горизонтальный угол 90
Государственные геодезические сети 177
Граница водосборной площади 31

Д

Дальномеры:
 нитяные 118
 двойного изображения 121, 129
Дальномерная рейка 121, 129
Двойное нивелирование 154
Двойные измерения 48
Демпфер 68, 141
Дешифрирование фотоснимков 275
Диафрагма (щелевая) 121
Диоптры 206
Диоптрийное кольцо 70
Динамометр 107
Дирекционный угол 28
Долгота 26
Домер 285

Ж

Журналы:
 измерения углов 91
 геометрического нивелирования 162
 измерения линий (абрис) 209
 барометрического нивелирования 170
 тригонометрического нивелирования 166, 167

Заложение 28
Зенитное расстояние 98
Зоны 19

И

Исследование:
теодолитов 80
нивелиров 149
нивелирных рее

К

Карта 18
Качание рейки 161
Катка:
высот 272
контуров 272
Кирегель 260
Классы:
нивелирования 179
триангуляции 178
полигонметрии 178
Коллимационная погрешность 82
Коллимационная плоскость 80
Компаратор 107
Компарирование 107
Компенсатор 68, 136
Конец кривой 285
Контроль измерений 95
Контрольная линейка 111
Координатная сетка 21
Костыль 148
Коэффициент:
высотомера 153
дальномера 118
линейного расширения 167
Красная сторона рейки 147
Кремальера 65, 67
Кривая Гаусса 45
Круглый уровень 138
Крутов и транспортёр
Крутизна ската 28

Ленты мерные
концевые 106
штриховые 103
шкаловые 107

Лимб 64
Линейка Дробышева 226

Линейный элемент:
центрирования 97
редукции 97

Линия условного горизонта 288
Линейная засечка 208

Линейная невязка (в периметре) 216
Линейный продольный параллакс 278

М

Магнитный азимут 28
Марка визирная 122
Масштаб:
поперечный 18
заложений 28
Межень 287
Мензула 260
Место нуля 100
Микроскоп:
штриховой (оценщик) 65
шкаловой 67, 69
Микрометр 71
Модель стереоскопическая 278

Н

Начало кривой 285
Насадка дальномерная 121, 129
Натяжение мерного прибора 107
Невязка:
угловая 190
в периметре 216
Неприступное расстояние 115
Нивелиры:
уровневые 142
с компенсаторами 136
Нивелирные рейки 146
Нивелирование:
геометрическое 159
тригонометрическое 165
гидростатическое 168
барометрическое 169
поверхности 257
Номенклатура карт 23
Нормальное сечение 29
Нулевой пункт уровня 81

О

Обводный шпиль (планиметра) 34
Обводный рычаг 34
Обобщение рельса 237
Обратная геодезическая задача 309
Обратная засечка 268
Объём земляных работ 302
Оптический:
визир 65
центрир 68
Оптические теодолиты 64

Ориентирование:
 лимба 233
 мензулы 267
 Основание масштаба 1
 Оси:
 теодолита 64
 круглого уровня 138
 цилиндрического уровня 64
 Отвес нитяной 89
 Относительная невязка в периметр

Систематические погрешности 48
 Случайные погрешности 44
 Становой винт 67
 Стереоскопическая модель 278
 Счетный механизм планиметра 34

Т
 285

П

Палетка:
 квадратная 41
 прямоугольная 41
 Параллакс сетки штей 89
 Пикет 284
 Пикетаж 288
 Пикетажный журнал
 Планиметр 34
 Повторительный теодолит 64
 Подставка:
 мензулы 260
 теодолита 64
 Подъемные винты 65
 Поле зрения трубы 73
 Полевой журнал 91, 162, 269
 Полуприем 91
 Полярные координаты 208
 Поперечный профиль 290
 Поправки:
 за компарирование 107
 за кривизну Земли и рефракцию 167
 за наклон линии 113
 за температуру 114
 Постоянная дальномера 118
 Постраничный контроль 163
 Профильная сетка 288
 Приближенная высота 170
 Приближенные числа 14
 Прямой угол 217
 Приращения координат 191, 214
 Проектная линия 290
 Профиль местности 288
 Прямая вставка 291
 Пятка рейки 146

У

Увеличение трубы 78
 Узловая точка 177
 Угол наклона 98
 Угол поворота (трассы) 285
 Уклон линии 29

Ф

Физическое нивелирование 169
 Фокусирование зрительной трубы 89
 Фотограмметрия 273

Х

Ход:
 теодолитный 177
 тахеометрический 233
 диагональный 202

Ц

Цена деления:
 лимба 65
 планиметра 37
 Цепь треугольников 192

Ш

Широта 26
 Шпилька 106

Р

Рабочая мера (лента) 108
 Разность нулей река 163
 Река точка 240
 Рекогносцировка 201
 Река 77
 «Рубашка» 267

Э

Эккер 206
 Эклиметр 207
 Эксцентриситет 79
 Элевационный винт 142

С

Сближение меридианов 21
 Связующие точки (пикеты) 284

Ю

Юстирование приборов 80

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	6
Общие сведения	6
Основные положения	12

РАЗДЕЛ I

Общие сведения

Глава I. Топографические карты и планы	18
§ 1. Поперечный масштаб и его использование .	18
§ 2. Оформление листа топографической карты	19
§ 3. Составление краткого топографического описания участка, выделенного на карте	21
§ 4. Номенклатура топографических карт .	23
§ 5. Решение задач на топографической карте .	26
Глава II. Измерение площадей по картам и планам .	33
§ 6. Определение площадей при помощи планиметра .	34
§ 7. Вычисление площади участка по координатам его вершин .	39
§ 8. Определение площадей палетками	41
Глава III. Элементы теории погрешностей	43
§ 9. Свойства случайных погрешностей измерений. Средняя квадратическая и предельная погрешности	43
§ 10. Пример обработки ряда равноточных непосредственных измерений	46
§ 11. Обработка ряда неравноточных измерений .	47
§ 12. Оценка точности по разностям двойных равноточных измерений	48
§ 13. Оценка точности функций измеренных величин .	51
§ 14. Оценка точности элементов геодезических сетей .	54

РАЗДЕЛ 2

Геодезические измерения

Глава IV. Угловые измерения	63
А. Угломерные приборы	63
§ 15. Типы теодолитов, их устройство	63
	329

§ 16.	Исследование теодолитов .	75
§ 17.	Поверки и юстировки теодолитов .	80
Б.	их измерений	88
§ 18.	Подготовка теодолита для наблюдений; визирных шкалов	88
§ 19.	Измерение горизонтальных углов .	90
§ 20.	Расчет точности измерения горизонтальных углов .	95
§ 21.	Измерение вертикальных углов	98
Глава V.	Линейные измерен	105
§ 22.	Приборы непосредственного измерени	105
§ 23.	Компарирование лент и рулеток	107
§ 24.	Измерение линий штриховыми лентами	113
§ 25.	Определение непрístupных расстояний	115
§ 26.	Измерение расстояний нитьным дальномером	118
§ 27.	Дальномерный комплект ДН-08 (ДНТ-2)	121
§ 28.	Измерение параллактических углов дальномером ДН-08	122
§ 29.	Определение коэффициента дальномера ДН-08	124
§ 30.	Измерение линий дальномерной насадкой ДН-08 .	129
§ 31.	Дифференциальный дальномер ДД-З (ДН-10)	129
§ 32.	Приведение коэффициента дальномера ДД-З к 100	131
§ 33.	Измерение дальномером ДД-З длин сторон теодолит	133
§ 34.	Дальномерная насадка ДНР-06	134
Глава VI.	Нивелирование	
А.	Приборы, применяемые при нивелировании	
§ 35.	Классификация приборов геометрического нивелир.	136
§ 36.	Устройство нивелиров с компенсаторами (с самоустанавли- вающейся горизонтальной линией визирования)	136
§ 37.	Устройство нивелиров с цилиндрическими уровнями	142
§ 38.	Устройство, исследование и поверки нивелирных реек .	145
§ 39.	Исследования нивелиров	149
§ 40.	Поверки и юстировки нивелиров с компенсаторами	151
§ 41.	Поверки и юстировки нивелиров с цилиндрическими уровнями	153
§ 42.	Приборы, применяемые при тригонометрическом, гидроста- тическом и барометрическом нивелировании	157
Б.	Методика измерения превышений	159
§ 43.	Определение превышений при геометрическом нивелировании	159
§ 44.	Определение превышений при тригонометрическом нивели- ровании	165

§ 63. Графическая обработка материалов тахеометрической съемки	247
§ 64. Автоматизация тахеометрической съемки	252
Нн	257
§ 65. Общие сведения и порядок работы	257
§ 66. Мензу.	
§ 67. Полевые	

Г л а в а XIV. Элем

§ 68. Решение простейших задач	273
§ 69. Дешифрирование аэрофотоснимков	275
§ 70. Простейшие измерения	278

РАЗДЕЛ 5

инженерно-геодезические работы

Г л а в а XV. Элементы инженерно-геодезических работ при проектировании и разбивке сооружений	282
§ 71. Вводные сведения	282
§ 72. Опорные геодезические сети и съемочные обоснования на территории строительства	283
§ 73. Топографические съемки; геодезические работы при проектировании трасс линейных сооружений	284
Построение профиля трассы дороги и по результатам нивелирования	288
Расчеты, связанные с нанесением на профиль трассы проектной линии	291
§ 76. Построение профилей реки, полой линии	294
Геодезические расчеты при проектировании планировки	302
§ 78. Расчет разбивочных элементов для составления рабочих чертежей перенесения проектов в натуру	308
§ 79. Справочные сведения	312
Приложения	320
Список литературы	324
Предметный указатель	326

ИБ № 2406

БОРИС СОЛОМОНОВИЧ ХЕЙФЕЦ
БРОНИСЛАВ БРОНИСЛАВОВИЧ ДАНИЛЕВИЧ
ПРАКТИКУМ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

ние второе, переработанное и дополненное

Редактор издательства Л. М. Комарькова
Переплет художника Б. К. Силсела
жестянный редактор В. В. Евдокимов
Технические редакторы:
О. Ю. Трепенюк, Л. Г. Лаврентьева
Корректор В. И. Ионкина

Сдано в набор 21.09.78. Подписано в печать 27.02.79
Т-65825 Формат 60×90¹/₁₆. Бумага № 2. Гарнитура
нтер. Печать высокая. л. 21,0,
.-изд. л. 20,34. Тираж 37 500 экз.
Заказ 1095/6947—15. Цена 95 коп.

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12,
Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 6 Ленинградского произ-
водственного объединения «Техническая книга» Союз-
полиграфизма при Государственном комитете СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
193144, Ленинград, С-144, ул. Киселевского, 10.

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!

*Издательство „Недра“ готовит к печати
новые книги*

БУДЕНКОВ И. А., ГАНЬШИН В. Н. Геодезические работы при речных и озерных изысканиях. 10 л., 50 к.

В книге систематизирован и обобщен опыт и комплекса геодезических работ, связанных с изысканиями в реках, озерах и водохранилищах.

Помещены необходимые сведения и формулы для расчета и оценки точности проектируемых и выполненных геодезических работ. Дано описание применяемых и перспективных для изысканий геодезических приборов, а также правила работы с ними и их поверки. Изложены оптимальные в условиях речных и озерных изысканий методы создания планового и высотного обоснований. Описаны современные способы производства промерных работ. Рассмотрены геодезические и радиогеодезические способы привязки промерных точек. Освещен состав и порядок выполнения камеральных работ, а также оформление отчетной технической документации.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занятых речными и озерными изысканиями, а также на учащихся вузов и техникумов, изучающих соответствующий курс.

КИСЛОВ В. В. Фотограмметрия. Учебник
45 к.

В учебнике изложены методы фотограмметрических съемок: комбинированный, дифференцированный и универсальный. Дано понятие о наземной стереофотограмметрической съемке и о фотограмметрических способах построения сетей опорных точек. Подробно освещена технология и методика основных фотограмметрических работ.

Предназначен для студентов картографической специальности геодезических вузов; он может быть использован студентами литико-механического и геодезического факультетов, а также географических факультетов университетов.

КРАТКИЙ топографо-геодезический словарь-справочник/ Кузьмин Б. С., Герасимов Ф. Я., Молоканов В. М. и др. 3-е изд., перераб. и доп. 21 л., 1 р. 45 к.

Словарь содержит статьи по наиболее употребительным понятиям и терминам геодезии, топографии, картографии, теории ошибок измерений, метода наименьших квадратов и в несколько меньшем объеме по геодезической астрономии, гравиметрии и гироскопическим азимутальным определениям. Статьи расположены в алфавитном порядке. В них даны определения и краткие сведения об их применении. В книге даны также сведения по приборам, применяемым на геодезических и топографических работах, и по геодезическим и аэрофототопографическим измерениям и вычислениям.

В третьем издании (2-е изд. — 1973) дополнены и переработаны сведения о приборах, по инженерным съемкам и по картографии. Обращено внимание на углубление сведений по всем статьям.

Книга предназначена для широкого круга инженерно-технических работников, занятых в топографо-геодезическом производстве.

МАШИМОВ М. М. Уравнивание геодезических сетей. 20 л. 1 р. 40 к.

В книге рассмотрены: современная постановка задачи уравнивания геодезических сетей различного назначения; геодезические уравнения в пространственной и плоской декартовой системе координат; теории обработки наземных и космических геодезических сетей. Освещены способы совместного использования наблюдений в наземных и космических геодезических сетях. Рассмотрены вопросы уравнивания обширных геодезических сетей, изучения фигуры Земли и установления системы координат.

Приведены необходимые сведения из теории уравнивательных вычислений с применением ЭВМ.

Книга предназначена для научных работников и инженеров, занимающихся вопросами обработки измерений, проектирования и построения геодезических сетей. Книгой могут пользоваться аспиранты и студенты, изучающие теорию математической обработки геодезических сетей.

НЕУМЫВАКИН Ю. К. Практическое руководство по геодезии для архитектурной службы района. 2-е изд., перераб. и доп. 13 л., 65 к.

В книге рассмотрены методы производства и контроля крупномасштабных топографических съемок, выполняемых для проектирования сельского строительства, а также способы перенесения на местность проектов планировки и застройки сельских населенных мест. Описаны современные геодезические приборы, их поверки и юстировки, приведены количественные характеристики точности крупномасштабных топографических планов. Рассмотрена методика съемки инженерных подземных коммуникаций и отвода земельных участков для строительства, показаны приемы картографического учета сельского строительства (1-е изд. — 1973).

Книга предназначена для инженерно-технических работников архитектурной службы района и области, проектно-исследовательских организаций. Она может быть использована студентами вузов и техникумов при изучении курса и выполнении практических работ по геодезии.

РУКОВОДСТВО по наблюдениям за осадками и смещениями инженерных сооружений фотограмметрическими методами. Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. 18 л. 1 р. 10 к.

В руководстве освещены вопросы от технического проектирования до оформления материалов выполненных работ. Приведены наиболее прогрессивные методы выполнения полевых и камеральных работ и описаны используемые приборы. Дано описание приспособлений, обеспечивающих использование съемочной аппаратуры при специфических условиях съемки.

Руководство издается впервые. В нем обобщен опыт многочисленных научных и производственных организаций.

Рекомендовано для инженерно-технических работников графо-геодезического производства.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел „Книга — почтой“ магазинов:

№ 17 — 199178, Ленинград, В. О. Средний проспект, 61;

№ 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20

ИЗДАТЕЛЬСТВО „Недра“