

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.

Б.М.КОСЫКОВ СГЛАСИЛСЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ПОДПИСАТЬСЯ ПОД
ПРОТОКОЛОМ

Б.И.КОСЬКОВ

**СПРАВОЧНОЕ
ПОСОБИЕ
по съемке
городов**



Б.И.КОСЬКОВ

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ по съемке городов

ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ,
ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ



МОСКВА „НЕДРА” 1986

Коськов Б. И. Справочное пособие по съемке городов.— 3-е изд., перераб. и доп.— М.: Недра, 1986.— 334 с., ил.

В третьем издании (2-е изд.— 1974) рассмотрены современные методы производства топографо-геодезических работ при съемке городов, поселков и промышленных территорий. Учтены требования действующих нормативных документов ГУГК при Совете Министров СССР. Приведены методы построения опорных геодезических сетей (триангуляции, трилатерации, полигонометрии и нивелирования) и их уравнивания. Приведены фотографии, описание, поверки и юстировки современных геодезических приборов. Изложены способы выполнения топографических работ в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 и съемок подземных коммуникаций и сооружений.

Для инженеров и техников, выполняющих работы по съемке городов, поселков и промышленных территорий.

Табл. 99, ил. 111, список лит.— 38 назв.

Рецензент — *Л. С. Хренов*, проф., д-р географ. наук
(Московский институт инженеров транспорта)

ВВЕДЕНИЕ

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ И ТОПОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТ

Строительство и благоустройство городов и поселков, реконструкция промышленных предприятий в нашей стране осуществляются на основе проектов планировки и застройки, что в свою очередь требует выполнения в больших объемах топографо-геодезических работ крупномасштабных съемок.

Геодезические, топографические и аэрофотосъемочные работы имеют следующее назначение:

обеспечить геодезической основой (плановыми и высотными сетями) производство топографических и аэрофотосъемочных работ;

обеспечить топографическими планами и картами в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000 и 1:10 000 разработки проектов планировки и застройки городов и поселков, проектов строительства промышленных, жилищно-гражданских, сельскохозяйственных объектов, а также проектирование и строительство метрополитена и городского транспорта.

Геодезической основой крупномасштабных съемок (1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000) служат опорные и съемочные геодезические сети. При этом плановой основой являются пункты государственной геодезической сети 1—4 классов, пункты геодезической сети сгущения 1 и 2 разрядов и съемочных сетей.

Пункты опорных геодезических и съемочных сетей строятся любым из трех методов — триангуляции, трилатерации и полигонометрии, а также сочетанием этих методов. Данное положение распространяется и на съемочное обоснование, где теодолитные ходы можно заменить триангуляцией, а в отдельных случаях возможно применение трилатерации.

Высотной основой являются реперы и марки государственной и ведомственной нивелирных сетей I—IV классов, центры пунктов государственной геодезической сети 1—4 классов, сети сгущения 1 и 2 разрядов и точки съемочного обоснования, высоты которых определены геометрическим нивелированием.

Работы по построению государственной геодезической сети 1—4 классов обычно выполняются Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР (ГУГК). При выполнении этих работ другими организациями следует руководствоваться Инструкцией о построении государственной геодезической сети СССР.

Для обеспечения инженерных работ, требующих особо высокой точности опорных геодезических сетей или специфических методов их построения, создаются сети специального назначения в соответствии с техническим проектом (программой), где обосновывается необходимость их построения. Например, на территории действующего промышленного предприятия может быть создана геодезическая основа более высокого разряда (класса), чем предусмотрено инструкцией для съемки соответствующего масштаба.

При создании геодезической основы крупномасштабных съемок исходными пунктами для развития построений данного класса (разряда) могут служить, как правило, пункты геодезических построений высших по точности классов (разрядов).

Топографические съемки для сельскохозяйственного строительства могут выполняться на основе пунктов геодезической сети сгущения, реперов, марок нивелирной сети и пунктов съемочного обоснования. Если на расстоянии 5 км от границ участка отсутствуют пункты государственной геодезической сети и эти съемки на будущее не планируются, допускается съемка в условной системе координат. Площадь таких участков, как правило, не должна превышать 20 км² для съемки в масштабе 1:5000 и 10 км — для съемки в масштабе 1:2000 и крупнее. Распространение этого положения для производства съемок, выполняемых в других целях, возможно лишь по согласованию с органами Государственного геодезического надзора (Госгеонадзора).

Система высот принимается Балтийская — от нуля Кронштадтского футштока. Отметки пунктов отдельных изолированных съемок в горных районах и съемок небольших участков (до 100 га) в равнинной местности, выполняемых для решения частных задач и расположенных от реперов (марок) государственного нивелирования более чем на 3 км, могут, как исключение, вычисляться в местной системе высот, т. е. от условного ур₀вня.

Система плоских прямоугольных координат, в которой создается геодезическая основа и составляются топографические планы, устанавливается по согласованию с соответствующими территориальными инспекциями ГУГК.

Для съемки городов применяют методы воздушного фотографирования — стереотопографический и комбинированный, наземную топографическую съемку: мензульную, тахеометрическую, теодолитную, фототеодолитную, а также горизонтальную, вертикальную и метод нивелирования площадей.

Основными методами являются стереотопографический и комбинированный. Мензульная и тахеометрическая съемки производятся в масштабах 1:500 и 1:1000, а при нецелесообразности использования аэрофотосъемки — и в масштабах 1:2000 и 1:5000. Фототеодолитную съемку применяют в горной местности. Съемки могут выполняться и различными сочетаниями

перечисленных выше методов, если при этом точность и содержание создаваемых топографических планов соответствуют требованиям, изложенным в нормативных документах.

Топографические планы могут создаваться картосоставительскими методами по планам более крупного масштаба. При необходимости для проектных или других работ, когда требуется меньшая графическая точность, чем это предусмотрено действующими нормативными документами, допускается увеличение масштабов 1:10 000, 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 топографических планов соответственно до масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 и 1:200. На увеличенных планах следует указывать метод их создания и точность выполнения съемочных работ.

§ 2. НАЗНАЧЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ

Топографические планы масштаба 1:5000 предназначены:

для разработки генеральных планов городов и проектов размещения их первоочередного строительства, для разбивки инженерных сетей и размещения коммуникаций транспортных путей, земельно-хозяйственного устройства, инженерной подготовки и озеленения территории;

для составления проектов городских промышленных районов, сложных транспортных развязок, технического проекта застройки;

для составления планов отдельных районов города, проектов детальной планировки на незастроенной территории города при несложном рельефе местности;

для составления проекта планировки размещения первоочередного строительства, благоустройства и реконструкции сельских населенных пунктов;

для составления технических проектов промышленных и горнодобывающих предприятий;

для составления обобщенных генеральных планов морских портов и судоремонтных заводов;

для составления рабочих чертежей массива осушения открытыми каналами в сложных природных условиях, а также карьеров для добычи строительных материалов;

для камерального трассирования автомобильных дорог в условиях сложного рельефа местности, на подходах к крупным населенным пунктам и в других местах со сложной ситуацией;

для проектирования трасс воздушных линий электропередачи в местах пересечений и сближений с сооружениями.

Топографические планы масштаба 1:5000 служат основой для составления топографических и специальных планов и карт более мелких масштабов.

Топографические планы масштаба 1:2000 предназначаются: для разработки генеральных планов поселков;

для составления проектов детальной планировки отдельных районов города (поселка), разбивочных чертежей с привязками

красных линий к опорным зданиям и сооружениям и геодезическим пунктам;

для составления технических проектов застройки, инженерной подготовки и озеленения на застроенных территориях города (поселка).

Топографические планы масштаба 1:1000 предназначены:

для составления генерального плана и рабочих чертежей при проектировании на застроенных и незастроенных территориях малоэтажного и поселкового строительства;

для решения вертикальной планировки и проектов озеленения территории;

для составления планов существующих подземных сетей и сооружений и привязки зданий и сооружений к участкам строительства;

для сложных инженерных изысканий;

для проектирования напорных трубопроводов на бетонных фундаментах, а также гидротехнических сооружений (акведуков, дюкеров, насосных станций) на площади более 2 га;

для проектирования площадок под отдельные строения (ремонтные мастерские, складские базы и др.), полей фильтрации, канализации и теплогазоснабжения в населенных пунктах с плотной застройкой;

для составления рабочих чертежей подсобно-производственных зданий и зданий жилищного строительства.

Топографические планы масштаба 1:500 предназначены:

для составления исполнительного, генерального плана участка строительства и рабочих чертежей многоэтажной капитальной застройки с густой сетью подземных коммуникаций, промышленных предприятий;

для решения вертикальной планировки, составления планов подземных сетей и сооружений и привязки зданий и сооружений к участкам строительства на застроенных территориях города.

На топографических планах масштабов 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 должны быть показаны все предметы местности, выражающиеся в масштабе плана и предусмотренные действующими условными знаками.

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ ОПОРНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ

ГЛАВА 1

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Опорная геодезическая сеть и съемочное обоснование, обеспечивающие съемки городских, поселковых, промышленных территорий и сельских населенных мест (в зависимости от их площади в плановом и высотном отношении), характеризуются видами, классами и разрядами геодезических сетей, приведенных в табл. 1.

При съемке территорий, вытянутых узкой полосой, могут быть допущены отклонения от этих требований в сторону повышения класса или разряда опорных геодезических сетей.

Опорные геодезические сети (государственная сеть и сеть сгущения) на территориях городов, поселков, промышленных объектов и в сельских населенных местах проектируются с учетом их последующего сгущения и развития для обеспечения в перспективе топографической съемки в масштабе 1 : 500.

Таблица 1

| Площадь топогра- фической съемки, км ² | Виды опорных геодезических сетей | | | | |
|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | плановых | | | высотных | |
| | триангуляция, трилатерация и полигонометрия | | съемочное обоснование | нивели- рование (классы) | съемочное обоснование |
| | государ- ственная геодези- ческая сеть (классы) | геодези- ческая сеть сгущения (разряды) | | | |
| 200 и более | 2; 3; 4 | 1; 2 | Теодолитные ходы или микро- триангуляция | II, III, IV | Техническое ни- велирование |
| 50—200 | 3; 4 | 1; 2 | То же | II, III, IV | То же |
| 10—50 | 4 | 1; 2 | » | III, IV | » |
| 5—10 | 4 | 1; 2 | » | IV | » |
| 2,5—5,0 | — | 1; 2 | » | IV | » |
| 1,0—2,5 | — | 2 | » | IV | » |
| До 1 | — | — | » | — | » |

Когда необходима сеть специального назначения (при строительстве метрополитена, мостов, промышленных зданий, специальных сооружений и др.), создают сети с заданной точностью по разрабатываемым для них программам.

Средняя плотность пунктов опорных государственных геодезических сетей и сетей сгущения, как правило, должна быть не менее 4 пунктов на 1 км² на застроенных и 1 пункт на 1 км² — на незастроенных территориях.

Густота реперов (марок) нивелирной сети должна обеспечить не менее одного репера (марки) на каждый лист плана масштаба 1 : 5000.

Общее количество пунктов опорной геодезической сети и съемочного обоснования определяется техническим проектом в зависимости от масштаба, метода съемки и точности создаваемого плана.

Для ответственных инженерных сооружений должно быть предусмотрено создание опорной сети большей точности. Для вновь осваиваемых и труднодоступных районов возможно уменьшение количества пунктов опорной геодезической сети, но не более чем в 1,5 раза.

Для обеспечения непосредственного выполнения съемки геодезическая основа сгущается съемочным обоснованием, которое выполняется геодезическим способом и способом аналитической фотограмметрии с применением стереокомпаратора и ЭВМ.

Сгущение геодезических сетей рекомендуется производить по принципу от общего к частному, т. е. от высшего класса (разряда) к низшему. Считается целесообразным в разумных пределах сокращать многоступенчатость геодезических построений и развивать на территории съемки одноклассные (одно-разрядные) сети, добиваясь необходимой плотности пунктов сети за счет уменьшения длин ее сторон. Это сокращение приводит к снижению влияния погрешности исходных данных.

Принятые в СССР схемы построения геодезической основы (государственной геодезической сети, геодезической сети сгущения и геодезического съемочного обоснования) и установленные программы измерения их элементов (углов, длин сторон и т. д.) обеспечивают выполнение топографических съемок крупных масштабов (до масштаба 1 : 500 включительно).

§ 3. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТОВ ОПОРНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

Перед производством работ по созданию опорной геодезической сети в зависимости от объема и сложности намечаемых работ составляются технические проекты, программы или технические предписания.

Составлению технического проекта должны предшествовать следующие работы:

изучение территории города по имеющимся картографическим материалам наиболее крупного масштаба (1 : 25 000;

1:10 000 или 1:5000) с учетом ранее выполненных работ по триангуляции, трилатерации, полигонометрии и нивелированию; выявление на плане или карте высоких зданий и сооружений, имеющих в городе, и командных высот рельефа местности;

сбор всех материалов, относящихся к опорным геодезическим сетям, в организациях, производивших работы на территории города: в территориальных инспекциях Главного управления геодезии и картографии (ГУГК) при Совете Министров СССР, в Управлениях (отделах) по делам строительства и архитектуры, а там, где должности главных архитекторов не учреждены, в городских и поселковых исполкомах Советов депутатов трудящихся, в изыскательских и проектно-изыскательских организациях;

составление схем расположения пунктов ранее выполненных опорных геодезических сетей всех классов и разрядов в пределах проектируемой границы развития города, городской черты с лесопарковым защитным поясом и прилегающих к городу промышленных территорий.

Обследование существующих на городской территории пунктов опорной геодезической сети и возможности их использования. На основе составленных схем расположения пунктов ранее выполненных опорных геодезических сетей (триангуляции, трилатерации, полигонометрии и нивелирования), используя имеющиеся привязки и абрисы, производят обследование пунктов в натуре. При обследовании необходимо составить зарисовки и описание состояния знаков, сохранность центров, установить степень пригодности их для наблюдений, определить объем работ, необходимый для их ремонта или замены.

Кроме того, собирают сведения о путях сообщения, средствах передвижения (авто- или гужевым транспортом), о строительных материалах и способах их заготовки и доставки к месту строительства пункта, определяют возможную видимость с указанием расстояния и направлений на зарисовках, а также выявляют сохранность прежних направлений на смежные пункты.

В тех случаях, когда на территории города имеются пункты государственной сети (триангуляции, трилатерации, полигонометрии 1, 2, 3 классов, нивелирования II и III классов), обследование их производится так же, как и существующих пунктов городской опорной сети.

Схемы построения триангуляции, трилатерации, полигонометрии и нивелирования. При разработке схемы построения триангуляции 3 и 4 классов следует предусматривать равномерное покрытие всей территории города треугольниками, близкими к равносторонним.

Сети триангуляции 3 класса должны опираться на пункты государственной триангуляции 1 и 2 классов. На основании триангуляции 3 класса осуществляется построение пунктов триан-

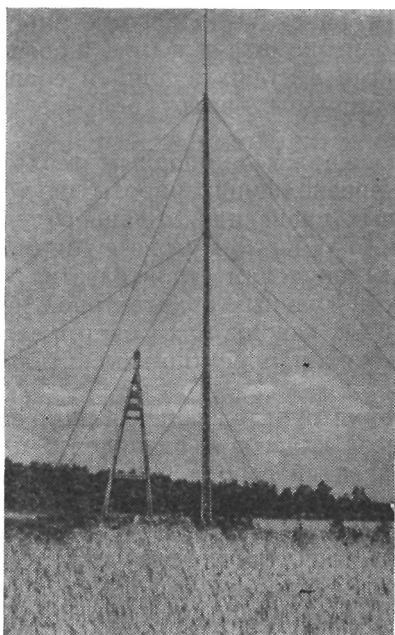
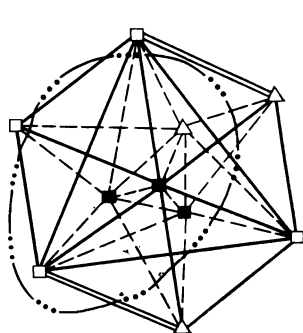


Рис. 1. Пирамида и вежа-мачга



Условные обозначения:

- сигнал
- △ пирамида
- надстройка на здании
- = базисная сторона
- сторона триангуляции 3 класса
- сторона триангуляции 4 класса
- ...— граница городской черты

Рис. 2. Схема вновь создаваемой городской триангуляции

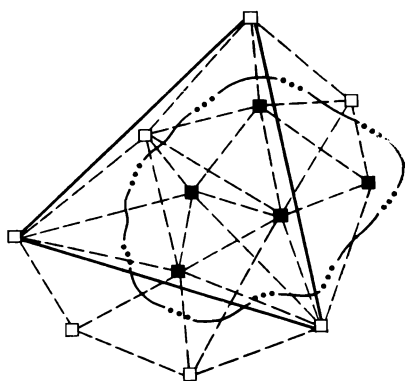


Рис. 3. Схема развития существующей городской триангуляции

гуляции 4 класса, на которые в свою очередь опираются пункты триангуляции 1 и 2 разрядов.

В случаях, когда сети 3, 4 классов и 1 и 2 разрядов являются самостоятельными, необходимо измерять не менее двух базисов. В качестве базисов следует измерять стороны сети. Рекомендуются засечками с пунктов триангуляции определять местные предметы (колокольни, башни, шпили, громоотводы фабричных и заводских труб и др.).

На незастроенных городских территориях целесообразно строить пирамиды и вежи-мачты высотой до 35 м (рис. 1). Простые и сложные сигналы применять только в тех случаях, когда без них невозможно построить сеть триангуляции.

Проект триангуляции и трилатерации составляют на имеющемся плане города, на который наносят все пункты ранее выполненной триангуляции или трилатерации. Затем намечают местоположение пунктов проектируемой триангуляции или трилатерации, используя при этом командные высоты местности и здания, пункты существующей триангуляции и ее стороны. Стороны существующей триангуляции могут служить для проектируемой триангуляции 3 класса в качестве базисов, если относительная ошибка их определения не более $1/200\,000$.

Когда триангуляция 3 класса является самостоятельной сетью или стороны существующей триангуляции имеют относительную ошибку более $1/200\,000$, намечают для измерения не менее двух базисов.

Если относительные ошибки сторон существующей сети, включаемой в проект триангуляции или трилатерации, не будут отвечать требованиям, предъявляемым к построению сетей триангуляции 4 класса, 1 и 2 разрядов, то стороны должны определяться заново.

Многолетний опыт построения и развития триангуляции в городах СССР определил выбор наиболее характерных схем (рис. 2 и 3).

Перед тем как производить детальную рекогносцировку по проекту, составленному на схеме или карте, необходимо составить для этой сети условные уравнения и выражения функции для слабой стороны. Обратный вес $1/p$ этой стороны будет равен последнему коэффициенту при неизвестном в столбце, полученному путем исключения всех неизвестных в результате решения уравнений, т. е.

$$\frac{1}{p} = [ffn] = [ff] - \frac{[bf \cdot 1]^2}{[bb \cdot 1]} - \frac{[cf \cdot 2]^2}{[cc \cdot 2]} - \dots$$

Ввиду того что значение веса необходимо знать приближенно, углы определяют по схеме транспортиром и округляют до $0,5''$, а вычисления производят с помощью четырехзначных таблиц логарифмов.

Для определения ожидаемой средней квадратической ошибки слабой стороны DC триангуляции (рис. 4) следует составить

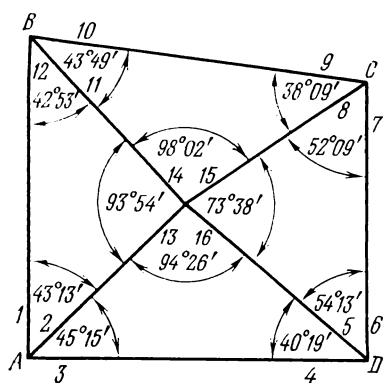


Рис. 4. Сеть триангуляции

для нее условные уравнения (табл. 2): четыре уравнения фигуры, уравнения полюса и два уравнения (для контроля) для определения веса.

Уравнение полюса в общем виде для данной сети:

$$2,28(12-11) + 2,68(9-8) + \\ + 1,51(6-5) + 2,09(3-2) - \\ - 2,25(2-1) + 2,20(11-10) + \\ + 1,63(8-7) + 2,48(5-4) = 0.$$

Условные уравнения для определения веса:

$$2,25(2-1) + 2,20(11-10) + 0,61(16-15) - [-0,10(14-13) + \\ + 2,68(9-8) + 1,51(6-5)] = 0; \\ 2,09(3-2) + 0,61(16-15) + 2,28(12-11) - [-0,10(14-13) + \\ + 2,48(5-4) + 1,63(8-7)] = 0.$$

Уравнение фигур (треугольников) составляют по схеме и записывают в табл. 2 вместе с уравнениями полюса и определения веса, сделав приведение подобных членов для условного уравнения полюса.

Относительная ошибка удаленной стороны в триангуляции должна быть меньше величин, указанных в табл. 14.

Проект полигонометрических сетей. Проектирование полигонометрических сетей всех разрядов делится на составление предварительного и окончательного проектов.

Предварительный проект полигонометрической сети составляют на плане масштаба 1:10 000—1:25 000 (в зависимости от площади городских земель). При отсутствии такого плана пользуются схемой, вычерченной по результатам общего осмотра (общей рекогносцировки) территории в натуре.

Перед составлением проекта полигонометрии выясняют наличие в натуре прежних пунктов и возможность их отыскания, а также возможность использования сохранившихся ходов. Все сохранившиеся и подлежащие использованию старые знаки и ходы наносят на план города. Если полигонометрия — не самостоятельная опорная сеть города, а опирается на пункты триангуляции, то на план-проект наносят также и пункты триангуляции.

После этого на план проектируют ходы полигонометрии, руководствуясь следующим.

Полигонометрические ходы 1 разряда должны иметь углы в пределах 160—200° и прокладываются по магистральным ули-

цам с наиболее благоприятными условиями для измерения углов со сторонами 250—300 м; проектирование сторон с углами наклона более 5° должно быть редким исключением. Проектирование полигонометрии производится как система ходов, имеющих 1—3 узловых пункта (не более 5), чтобы уравнивание ходов было наиболее простым.

В местах, где ход по условиям местности и застройки резко меняет направление, желательно запроектировать узловой пункт и произвести передачу дирекционного угла с пункта триангуляции или определить астрономический азимут на достаточно удаленный от него предмет.

Расчет количества полигонометрических пунктов при проектировании выполняют следующим образом:

в застроенной части города или поселка один знак должен приходиться на 8—20 га;

в незастроенной части количество знаков рассчитывают в зависимости от густоты пунктов триангуляции в масштабе съемки (один пункт на 30—50 га при съемке в масштабе 1:2000 и один пункт на 70—100 га при съемке в масштабе 1:5000).

Точность ходов полигонометрии рассчитывают по следующим формулам (углы предварительно уравнены):

для ломаного хода

$$m^2 = \mu^2 [s] + \lambda^2 L^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{0,i}] + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} (D_{0,0}^2 - D_{0,n+1}^2); \quad (1)$$

для вытянутого хода с приблизительно равными сторонами

$$m^2 = \mu^2 L + \lambda^2 L^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12} + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12} + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} \frac{L^2}{2}; \quad (2)$$

для ломаного хода с твердыми дирекционными углами

$$m^2 = \mu [s] + \lambda^2 L^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \{ [D_{0,i}^2]_I + [D_{0,i}^2]_{II} + \dots + [D_{0,i}^2]_k \} + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} (D_{0,0I}^2 + D_{0I,0II}^2 + \dots + D_{0k,n+1}^2); \quad (3)$$

для вытянутого хода с приблизительно равными сторонами и твердыми дирекционными углами

$$m^2 = \mu^2 L + \lambda^2 L^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n^2 + 3nk + 2k^2}{12nk^2} + \frac{m_\alpha^2}{\rho^2} L^2 \frac{2k-1}{2k^2}, \quad (4)$$

где m — средняя квадратическая ошибка положения конечной точки хода; μ — коэффициент случайного влияния в линейных измерениях; λ — коэффициент систематического влияния в линейных измерениях; m_β — средняя квадратическая ошибка угла поворота; m_α — средняя квадратическая ошибка дирекционного

Таблица 2

| Направ- ление | k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_5 | f_1 | f_2 | s |
|------------------|---------------|-------|-------|---------|---------------|-------|-------|-------|
| 1 | -1 | | | -1 | +2,25 | -2,25 | | -1 |
| 2 | +1 | | | -1 | -4,34 | +2,25 | -2,09 | -4,18 |
| 3 | | | | +1 | +2,09 | | +2,09 | +5,18 |
| 4 | | | | -1 | +2,48 | | +2,48 | +3,96 |
| 5 | | | -1 | +1 | -3,99 | +1,51 | -2,48 | +4,96 |
| 6 | | | +1 | | +1,51 | -1,51 | | +1,00 |
| 7 | | | -1 | | +1,63 | | +1,63 | +2,26 |
| 8 | | -1 | +1 | | -4,31 | +2,68 | -1,63 | -3,26 |
| 9 | | +1 | | | +2,68 | -2,68 | | +1,00 |
| 10 | | -1 | | | +2,20 | -2,20 | | -1,00 |
| 11 | -1 | +1 | | | -4,48 | +2,20 | -2,28 | -4,56 |
| 12 | +1 | | | | +2,28 | | +2,28 | +5,56 |
| 13 | -1 | | | +1 | | -0,10 | +0,10 | 0 |
| 14 | +1 | -1 | | | | +0,10 | -0,10 | 0 |
| 15 | | +1 | -1 | | | -0,61 | -0,61 | -1,22 |
| 16 | | | +1 | -1 | | +0,61 | +0,61 | +1,22 |
| | Углы A и B | AB | | | Углы A и B | AB | | |
| (12—11) | 42°53' | 2,28 | | (2—1) | 43°13' | 2,25 | | |
| (9—8) | 38 09 | 2,68 | | (11—10) | 43 49 | 2,20 | | |
| (6—5) | 54 13 | 1,51 | | (8—7) | 52 09 | 1,63 | | |
| (3—2) | 45 15 | 2,09 | | (5—4) | 40 19 | 2,48 | | |

$$m_{lg a_n} = 1,4'' \sqrt{m_{lg b}^2 + 9,6} = 1,4'' \sqrt{(2,1)^2 + 9,6} = 1,4'' \sqrt{14} = 5,29'';$$

$$\frac{\Delta_s}{s} = \frac{m_{lg a_n}}{0,434 \cdot 10^6} = \frac{1}{82\,000}$$

угла сторон хода; L — длина замыкающей хода; $[s]$ — длина хода; $D_{0,i}$ — расстояние от центра тяжести хода до точки i ; $D_{0,0}$ — расстояние от начальной точки до центра тяжести хода; $D_{0,n+1}$ — расстояние от центра тяжести до конечной точки хода; $D_{0,0I}$ — расстояние от начальной точки до центра тяжести первой секции хода; $D_{0,0II}$ — расстояние между центрами тяжести секций I и II; n — число сторон хода; k — число секций (между дирекционными углами).

Величины m , μ и λ следует брать из табл. 3.

По формулам (1) — (4) можно произвести оценку точности ходов, опирающихся на пункты триангуляции. Например, для оценки точности системы ходов 1 разряда, образующих три узловых точки и более, следует определить ошибку всех узловых

| k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | k_5 | f_1 | f_2 | s |
|---------|--------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 6 +1 | -2 -0,333 | 0 0,000 | -2 -0,333 | +0,17 +0,028 | +2,50 +0,417 | +2,27 +0,378 | +6,94 +1,157 |
| | 6 +0,67 5,33 +1 | -2 0 -2,00 -0,375 | 0 +0,67 -0,67 -0,126 | +0,31 -0,06 +0,37 -0,069 | -1,67 -0,83 -0,84 -0,158 | -1,16 -0,76 -0,40 -0,075 | -0,52 -2,31 +1,79 +0,336 |
| | | 6 +0,75 5,25 +1 | -2 +0,25 -2,25 -0,429 | -0,44 -0,14 -0,30 -0,057 | +0,88 +0,32 +0,56 +0,107 | +0,44 +0,15 +0,29 +0,055 | +2,88 -0,67 +3,55 +0,676 |
| | | | 6 +1,72 4,28 +1 | -0,04 +0,03 -0,07 -0,016 | -1,45 -0,98 -0,47 -0,110 | -1,29 -0,83 -0,46 -0,107 | -0,78 -4,06 +3,28 +0,766 |
| | | | | 111,14 +0,05 | -56,56 +0,10 | +54,58 +0,08 | +109,16 -0,18 |
| | | | | 111,09 +1 | -56,66 -0,510 | +54,50 +0,491 | +108,98 +0,981 |
| | | | | $\frac{1}{p} =$ | 39,49 30,18 9,31 | 37,51 27,71 9,80 | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

точек методом последовательного приближения, а затем подсчитать ожидаемые ошибки ходов, учитывая полученные ошибки узловых точек.

Введем обозначения: p — вес положения конечной точки хода; c — произвольная постоянная; M — средняя квадратическая ошибка положения узловой точки. Для каждой узловой точки

$$M^2 = c/\Sigma p,$$

где

$$p_1 = c/(m_1^2 + M_1^2); \quad p_2 = c/(m_2^2 + M_2^2) \text{ и т. д.}$$

Таблица 3

| Классы и разряды | m_{β} , угл. с | μ | λ |
|------------------|-------------------------|--------|-----------|
| 4 класс | 2 | 0,0002 | 0,000008 |
| 1 разряд | 5 | 0,0005 | 0,000020 |
| 2 разряд | 10 | 0,0010 | 0,000040 |

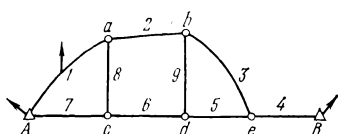


Рис. 5. Система ходов полигонометрии с несколькими узловыми точками

Таблица 4

| № хода | Число линий n | L , м | $k-1$ | № хода | Число линий n | L , м | $k-1$ |
|--------|--------------------|---------|-------|--------|--------------------|---------|-------|
| 1 | 7 + 8 | 2200 | 1 | 6 | 5 | 1000 | — |
| 2 | 6 | 900 | — | 7 | 7 | 2000 | — |
| 3 | 10 | 1600 | — | 8 | 4 | 1100 | — |
| 4 | 6 | 2500 | — | 9 | 5 | 900 | — |
| 5 | 3 | 1000 | — | | | | |

Применение этого метода оценки положения узловых точек покажем на примере расчета точности сети полигонометрии, опирающейся на пункты триангуляции A и B (рис. 5). На всех узловых точках и в середине первого хода определены твердые дирекционные углы.

Из табл. 3 выписываем $m_{\beta}=5''$, $\mu=0,0005$ и $\lambda=0,000020$.

Со схемы полигонометрии выписываем длины ходов и число линий (табл. 4). Так как все ходы имеют приблизительно вытянутую форму, ошибки подсчитывают по формулам (2) и (4). Для удобства вычислений принимаем $\mu=5$, $\lambda=0,2$, $\rho=2,06$, L — в сотнях метров, тогда m получим в миллиметрах.

Вычисления приведены в табл. 5.

Таблица 5

| № хода | n | L , сотни м | $\mu^2 L$ | $\lambda^2 L^2$ | $\frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}$ | $\frac{m_{\alpha}^2}{\rho^2} \frac{L^2}{2}$ |
|--------|-----|------------------|-----------|-----------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1 | 15 | 22 | 550 | 1936 | — | — |
| 2 | 6 | 9 | 225 | 324 | 357 | 86 |
| 3 | 10 | 16 | 400 | 1024 | 1629 | 271 |
| 4 | 6 | 25 | 625 | 2500 | 2753 | 662 |
| 5 | 3 | 10 | 250 | 400 | 294 | 106 |
| 6 | 5 | 10 | 250 | 400 | 392 | 106 |
| 7 | 7 | 20 | 500 | 1600 | 1958 | 424 |
| 8 | 4 | 11 | 275 | 484 | 415 | 128 |
| 9 | 5 | 9 | 225 | 324 | 316 | 86 |

Вес положения точки a определяем по формуле

$$p_a = p_1 + p_2 + p_8,$$

где

$$p_1 = c/m_1^2; \quad p_2 = c/(m_2^2 + M_b^2); \quad p_8 = c/(m_8^2 + M_c^2).$$

Затем находим среднюю квадратическую ошибку положения точки a :

$$M_a^2 = c/p_a.$$

Так как веса p_2 и p_8 зависят от величин M_8 и M_c , которые нельзя получить сразу, пользуемся методом приближений.

Примем для первого приближения: $M_{a_1}^2 = 4000$ (по ходу 1), $M_{c_1}^2 = 4500$ (по ходу 7), $M_{b_1}^2 = 5000$ (по ходам 1 и 2), $M_{d_1}^2 = 7500$ (по ходам 4 и 5), $M_{e_1}^2 = 6500$ (по ходу 4.)

Вычисления выполнены в табл. 6.

Вычисления, приведенные в табл. 6, позволяют определить ошибки положения всех пяти узловых точек (табл. 7).

Полученные значения ошибок M не превышают графической точности съемки масштаба 1:500. На их основании можно подсчитать ожидаемые относительные ошибки T/L каждого хода с учетом ошибок исходных данных, пользуясь приближенной формулой

$$T = \sqrt{m^2 + M_1^2 + M_2^2},$$

где M_1 и M_2 — средние квадратические ошибки положения узловых точек, определяющих данный ход.

По этим формулам получаем несколько преувеличенное значение T (так как берется сумма M), поэтому, получая относительные ошибки меньше допустимых, можно быть уверенным в надежности оцениваемой сети. Вычисление относительных ошибок приведено в табл. 8.

| $\frac{m^2}{\rho^2} L^2 \frac{n^2+3nk}{12nk^2}$ | $\frac{m^2}{\rho^2} L^2 \frac{2k-1}{2k^2}$ | m^2 | m | $\frac{m}{2}$ | $\frac{n+3}{12}$ | L^2 |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------|-------|-----|---------------|------------------|-------|
| 1276 | 384 | 4146 | 66 | 1 : 34 000 | 1,500 | 484 |
| — | — | 992 | 32 | 1 : 28 000 | 0,750 | 81 |
| — | — | 3324 | 58 | 1 : 28 000 | 1,083 | 256 |
| — | — | 6540 | 81 | 1 : 31 000 | 0,750 | 625 |
| — | — | 1050 | 33 | 1 : 30 000 | 0,500 | 100 |
| — | — | 1148 | 34 | 1 : 30 000 | 0,667 | 100 |
| — | — | 4482 | 67 | 1 : 30 000 | 0,833 | 400 |
| — | — | 1302 | 36 | 1 : 31 000 | 0,584 | 121 |
| — | — | 951 | 31 | 1 : 29 000 | 0,667 | 81 |

Таблица 6

| № хода и узловой точки | m^2 | Приближения | | | | | | | |
|------------------------------|-------|-------------|------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | | первое | | второе | | третье | | четвертое | |
| | | m^2+M^2 | p | m^2+M^2 | p | m^2+M^2 | p | m^2+M^2 | p |
| Узловая точка a | | | | | | | | | |
| 1A | 4146 | 4146 | 2,42 | 4146 | 2,42 | 4146 | 2,42 | 4146 | 2,42 |
| 2b | 992 | 5992 | 1,67 | 2662 | 3,76 | 1828 | 5,49 | 1706 | 5,87 |
| 8c | 1302 | 5802 | 1,72 | 2832 | 3,56 | 2218 | 4,52 | 2114 | 4,74 |
| $M_{a_1}^2$ | 4000 | Σp | 5,81 | | 9,74 | | 12,43 | | 13,03 |
| | | $M_{a_2}^2$ | 1720 | $M_{a_3}^2$ | 1030 | $M_{a_4}^2$ | 827 | $M_{a_5}^2$ | 765 |
| Узловая точка b | | | | | | | | | |
| 3e | 3324 | 9824 | 1,08 | 4554 | 2,19 | 4344 | 2,31 | 4324 | 2,31 |
| 9d | 951 | 8451 | 1,18 | 2081 | 4,81 | 1616 | 6,21 | 1580 | 6,32 |
| 2a | 992 | 2712 | 3,70 | 2022 | 4,94 | 1819 | 5,52 | 1757 | 5,70 |
| $M_{b_1}^2$ | 5000 | Σp | 5,96 | | 11,94 | | 14,04 | | 14,33 |
| | | $M_{b_2}^2$ | 1670 | $M_{b_3}^2$ | 836 | $M_{b_4}^2$ | 714 | $M_{b_5}^2$ | 700 |
| Узловая точка c | | | | | | | | | |
| 7A | 4482 | 4482 | 2,08 | 4482 | 2,08 | 4482 | 2,08 | 4482 | 2,08 |
| 6d | 1148 | 8648 | 1,16 | 2278 | 4,58 | 1813 | 5,52 | 1777 | 5,65 |
| 8a | 1302 | 3022 | 3,30 | 2332 | 4,30 | 2129 | 4,71 | 2067 | 4,85 |
| $M_{c_1}^2$ | 4500 | Σp | 6,54 | | 10,96 | | 12,31 | | 12,58 |
| | | $M_{c_2}^2$ | 1530 | $M_{c_3}^2$ | 916 | $M_{c_4}^2$ | 812 | $M_{c_5}^2$ | 800 |
| Узловая точка d | | | | | | | | | |
| 5e | 1050 | 7550 | 1,33 | 2280 | 4,58 | 2070 | 4,84 | 2050 | 4,90 |
| 6c | 1148 | 2678 | 3,72 | 2064 | 4,86 | 1960 | 5,11 | 1948 | 5,15 |
| 9b | 951 | 2621 | 3,82 | 1787 | 5,62 | 1665 | 6,02 | 1151 | 6,06 |
| $M_{d_1}^2$ | 7500 | Σp | 8,87 | | 15,06 | | 15,97 | | 16,11 |
| | | $M_{d_2}^2$ | 1130 | $M_{d_3}^2$ | 665 | $M_{d_4}^2$ | 629 | $M_{d_5}^2$ | 620 |
| Узловая точка e | | | | | | | | | |
| 4B | 6540 | 6540 | 1,53 | 6540 | 1,43 | 6540 | 1,53 | 6540 | 1,53 |
| 5d | 1050 | 2180 | 4,58 | 1715 | 5,86 | 1679 | 5,99 | 1670 | 6,01 |
| 3b | 3324 | 4994 | 2,00 | 4160 | 2,41 | 4038 | 2,48 | 4024 | 2,47 |
| $M_{e_1}^2$ | 6500 | Σp | 8,11 | | 9,80 | | 10,00 | | 10,01 |
| | | $M_{e_2}^2$ | 1230 | $M_{e_3}^2$ | 1020 | $M_{e_4}^2$ | 1000 | $M_{e_5}^2$ | 1000 |

Наличие относительных ошибок, недопустимых инструкцией, показывает, что следует уточнить ход путем передачи на одну из сторон (в его середине) дирекционного угла (для нашего примера это середина хода 7). Все расчеты производят вновь.

Для коротких ходов величину T (среднюю квадратическую ошибку хода с учетом ошибок исходных данных) следует определять по формуле

$$T = \sqrt{m^2 + m_{н-к}^2} \approx \sqrt{2m^2} \approx m\sqrt{2}.$$

Предварительный проект сопровождают пояснительной запиской, в которой приводят:

сведения о полигонометрических работах прошлых лет, их состояние, типы ранее заложенных полигонометрических знаков и их сохранность, точность полигонометрических ходов прошлых лет и возможность использования их полностью или частично в запроектированной сети; приводят соответствующие чертежи и схемы;

подробное описание схемы построения запроектированной сети, длины ходов, количество необходимых полигонометрических знаков, степень обеспечения городской территории опорными пунктами;

сведения о глубине промерзания грунта в городе, на основании которых устанавливается глубина заложения грунтовых центров полигонометрии, служащих одновременно и нивелирными грунтовыми реперами; рабочие чертежи запроектированных грунтовых и стенных полигонометрических знаков;

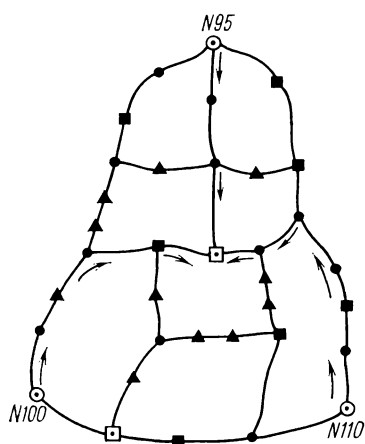
расчеты, подтверждающие допустимые предельные относительные ошибки и соответствие этих ошибок требованиям дей-

Таблица 7

| № узловой точки i | M^2 | M , мм |
|---------------------|-------|----------|
| a | 770 | 28 |
| b | 700 | 26 |
| c | 800 | 28 |
| d | 620 | 25 |
| e | 1000 | 32 |

Таблица 8

| № хода | Обозначение узловой и исходной точек | m^2 | M_1^2 | M_2^2 | T^2 | T , мм | L , мм | T/L |
|--------|--------------------------------------|-------|---------|---------|-------|----------|----------|---------|
| 1 | $A-a$ | 4146 | — | 770 | 4915 | 70 | 2200 | 1/31400 |
| 2 | $a-b$ | 992 | 770 | 700 | 2462 | 50 | 900 | 1/18000 |
| 3 | $b-e$ | 3324 | 770 | 1000 | 5024 | 71 | 1600 | 1/22500 |
| 4 | $e-B$ | 640 | 1000 | — | 7540 | 87 | 2500 | 1/29000 |
| 5 | $d-e$ | 1050 | 1000 | 620 | 2670 | 52 | 1000 | 1/19200 |
| 6 | $d-c$ | 1148 | 620 | 800 | 2568 | 51 | 1000 | 1/19600 |
| 7 | $c-A$ | 4482 | 800 | — | 5282 | 73 | 2000 | 1/13800 |
| 8 | $a-c$ | 1302 | 770 | 800 | 2872 | 54 | 1100 | 1/20400 |
| 9 | $b-d$ | 951 | 700 | 620 | 2271 | 48 | 900 | 1/18800 |



Условные обозначения:

- ⊙ марка государственного нивелирования I класса
- марка, закладываемая по проекту
- фундаментальный репер—по проекту
- грунтовый репер—по проекту
- ▲ стенной репер III класса—по проекту
- направления ходов, используемых для подсчета ошибок

Рис. 6. Схема построения в городе нивелирных сетей II и III классов

вании учитываются условия удобного подхода к каждой марке и с меньшим числом штативов.

Трассу нивелирования выбирают с наименьшим уклоном, избегая по возможности пересечения рек, озер, оврагов, болот и прочих естественных препятствий. Репера и марки ранее выполненного нивелирования I и II классов обязательно включаются в проектируемую сеть II класса. В проектируемые полигоны включают привязку нулей барометров метеорологических станций, футштоков и водомерных постов, реперов астрономических обсерваторий, расположенных поблизости от проектируемой трассы нивелирования.

При определении мест закладки грунтовых реперов следует учитывать необходимость заложения в городах 3—4 грунтовых реперов фундаментального (например, ступенчатого) типа. При отсутствии в пределах составленного проекта марок и ственных реперов ранее выполненных нивелировок I, II, III классов на проекте необходимо показывать ходы, служащие для передачи отметок государственного нивелирования, с указанием их класса; таких привязок должно быть не менее двух.

Примерная схема (рис. 6) показывает расположение в городе марок, реперов и полигонов нивелирования II класса с ис-

ствующих инструкций; предполагаемые методы уравнивания запроектированных полигонометрических ходов;

смету стоимости работ, количество необходимых материалов и транспорт.

По результатам детальной рекогносцировки составляется окончательный проект.

Проект нивелирных сетей. Нивелирные сети II класса проектируются на картах или планах масштаба 1:5000—1:25 000 в виде системы полигонов на всей территории города, включая незастроенные территории и лесопарковый защитный пояс.

Расстояние между марками и грунтовыми реперами в застроенной части должно быть не более 2 км, а на незастроенной допускается до 3 км, длина ходов между узловыми точками не должна превышать 5 или, как исключение, 7 км. При проектиро-

пользованием в качестве исходных высот трех марок государственного нивелирования I класса. Составленный проект утверждают, а затем уточняют в результате детальной рекогносцировки, при которой намечают и зарисовывают в абрис места постановки и закладки знаков.

Составление проектов сетей нивелирования III класса имеет свои особенности, связанные с тем, что их можно подразделить на две категории: сети, которые сгущают нивелированием II класса, и сети, являющиеся самостоятельной высотной опорой.

Нивелирную сеть II класса сгущают нивелирными сетями III класса для того, чтобы полностью обеспечить высотными знаками в застроенной части города производство съемок, инженерное проектирование и строительные работы, связанные с реконструкцией и благоустройством городского хозяйства, промышленным и транспортным строительством.

При составлении проекта ходов и расположения знаков следует соблюдать следующие основные требования:

необходимо учитывать условия привязки к маркам и реперам государственной нивелирной сети, а также к реперам, высоты которых были определены при производстве нивелирования;

длины ходов при привязке к нивелирной сети не должны превышать 15 км, а между узловыми точками — 5 км;

параллельно идущие ходы должны быть связаны между собой не реже чем через 3 км на застроенной территории и не реже 5 км — на незастроенной территории;

знаки нивелирования должны располагаться таким образом, чтобы расстояния между ними были не больше 200 м на проезжих центральных частях города, 400 м — в районах расположения между центральной частью города и окраинами и 800 м — на окраинах и слабо застроенных территориях селитебной части городских земель;

проект расположения ходов увязывают с проектом триангуляции, трилатерации и полигонометрии, часть центров которых должна быть включена в сеть нивелирования III класса и служить в дальнейшем для развития сетей нивелирования IV класса;

места постановки стенных реперов выбирают на капитальных зданиях, вблизи перекрестков улиц или проездов, около мостов или на их устоях, вблизи плотин и т. д., а также на устойчивых долговременных инженерных сооружениях.

Для городов, где нивелирование III класса является самостоятельной опорной сетью, нивелирную сеть проектируют в виде замкнутых полигонов и нивелирование основных полигонов производят в прямом и обратном направлениях.

Проектирование ходов нивелирования IV класса осуществляется отдельными ходами, системами ходов между реперами и марками, высоты которых определяются нивелированием II и III классов, и по ходам полигонометрии. Нивелирная сеть IV класса

может проектироваться как самостоятельная высотная опорная сеть в городах и поселках в соответствии с табл. 1. В этом случае сеть проектируется в виде полигонов, которые должны быть привязаны к маркам или реперам нивелирования IV или более высокого класса для передачи высоты.

Рекогносцировка пунктов опорной геодезической сети. Рекогносцировка пунктов опорной геодезической сети выполняется на основе утвержденных в установленном порядке технических проектов.

Основной задачей рекогносцировки является уточнение и определение на местности местоположения пунктов опорной геодезической сети, предусмотренных техническим проектом. Однако рекогносцировка не должна сводиться к механическому переносу в натуру проектов сетей триангуляции, трилатерации, полигонометрии и нивелирования, составленных на картах в масштабах 1 : 25 000, 1 : 10 000 или 1 : 5000.

Рекогносцировка пунктов опорной геодезической сети является одним из ответственных видов геодезических работ. При производстве рекогносцировки необходимо предусматривать возможность дальнейшего развития опорных геодезических сетей и улучшение их геометрической формы.

Не следует намечать пункты на сельскохозяйственных угодьях. Если этого избежать нельзя, необходимо письменно уведомить местные власти, чтобы площадка, выбранная для постройки знака, не была засеяна культурой.

Рекогносцировка пунктов триангуляции и трилатерации на городских территориях должна осуществляться с соблюдением следующих требований:

1. Места для постройки пирамид и сигналов на незастроенных участках города следует выбирать на водоразделах и командных высотах с таким расчетом, чтобы обеспечить наиболее благоприятные условия для прохождения визирного луча, избегая при этом постройки высоких сигналов. В частности, визирный луч должен проходить над препятствием или поверхностью земли по каждому из запроектированных направлений на расстоянии не менее 1,5 м.

2. Пункты должны располагаться на твердом и устойчивом грунте. Выбранная площадка должна находиться в стороне от строений, железных и автомобильных дорог, что обеспечит безопасное ведение работы по их сборке. Знак должен располагаться не ближе своей двойной высоты от телеграфных и телефонных линий, от линии электропередач (ЛЭП) высокого напряжения; от троллейбусных и трамвайных путей — не менее 120 м. Если знак имеет небольшую высоту, он должен располагаться по отношению к линии электропередач высокого напряжения не ближе тройной высоты ее мачт.

3. Не следует намечать пункты вблизи значительных речных водоемов, так как прохождение луча вдоль склонов речных долин значительно искажает измеряемое направление.

4. Количество определяемых направлений не должно быть избыточным. Оно должно определяться действительной потребностью, так как в противном случае усложняются уравнительные вычисления.

5. При рекогносцировке мест для возведения надстроек на зданиях и сооружениях необходимо учитывать следующие требования:

здание или сооружение для надстройки нужно выбирать высокое, каменное, прочное и удобное, без трещин и заметной осадки фундамента, чтобы при возведении постройки не причинять повреждений стропилам, балкам и другим чердачным креплениям и сооружениям;

вблизи триангуляционных пунктов, с которых намечена передача координат, следует выбирать два базиса в местах, наиболее удобных для линейных измерений. Длина стороны от тригонометрического пункта до пункта полигонометрии, а также длина стороны полигонометрии, на которую намечена передача дирекционного угла с триангуляционного пункта, должна выбираться в пределах 200 м (в исключительных случаях не менее 100 м);

надстройки на строениях располагают с таким расчетом, чтобы визирные лучи проходили не ближе 1 м от дымовых и вентиляционных труб;

возможность передачи координат с этих пунктов на центры полигонометрии (предпочтительнее — на стенные знаки).

На основе составленного и одобренного предварительного проекта полигонометрической сети на местности производится детальная рекогносцировка ходов полигонометрии. Определяют наиболее благоприятные условия прокладки полигонометрических ходов и намечают места для постановки полигонометрических знаков (грунтовых и стенных).

При рекогносцировке руководствуются следующими правилами:

1. Линии полигонометрической сети должны проходить по улицам или дорогам, наиболее благоприятным как для линейных, так и для угловых измерений; не рекомендуется выбирать направления, совпадающие с интенсивным пешеходным и транспортным движением. Линии с углами наклона 5° в полигонометрических ходах 1 разряда не допускаются.

2. Прохождение визирного луча между двумя смежными знаками должно быть не ниже 0,5 м от поверхности земли и местных препятствий и не ближе 0,5 м от вертикальной поверхности предметов.

3. Для постановки полигонометрических знаков нужно намечать места, обеспечивающие их сохранность и долговечность. Нельзя намечать знаки в свеженасыпанном грунте, на болотах, оползнях, осыпях и т. п. В этом случае следует ограничиться постановкой временных знаков (деревянных столбов). Не следует проектировать установку знаков на проезжих частях улиц

и дорог, а также на землях, занятых сельскохозяйственными культурами.

4. Полигонометрические знаки рекомендуется намечать на равных расстояниях один от другого, так как в противном случае при измерении углов придется изменять фокусировку трубы, что снижает точность измерения углов.

5. Места, намеченные для постановки полигонометрических знаков, должны обеспечить удобную установку теодолита над знаками и подход к ним с мерными приборами.

6. При выборе мест постановки знаков следует избегать участков, где может ощущаться влияние вибрации зданий промышленных предприятий на приборы при производстве измерений.

7. Необходимо учитывать возможность использования полигонометрических знаков 2 разряда в качестве съемочных точек, а в застроенных частях — возможность использования сторон полигонометрических ходов в качестве съемочных линий.

8. Полигонометрические ходы должны пересекаться только в точках поворота, а не на линиях.

9. На застроенных территориях пункты полигонометрии следует закреплять стенными знаками.

Выбранные в натуре места постановки знаков полигонометрии закрепляют временными знаками (кольями или кованными гвоздями) и привязывают не менее чем к трем устойчивым предметам местности с зарисовкой в специальном абрисе. Зарисовки выполняют в условных знаках или в перспективном изображении в сочетании с условными знаками. В незастроенных частях города делают более подробную зарисовку места, выбранного для постановки знака. Там, где отсутствуют постоянные предметы местности, полигонометрические знаки привязывают створами.

В полигонометрии число сторон между узловыми пунктами или между узловым и исходным не должно быть более 16. На каждом узловом пункте необходимо предусматривать возможность передачи угла на сторону либо с тригонометрического пункта, либо определение его из астрономических наблюдений. В том случае, когда в запроектированном полигонометрическом ходе окажется линия, которую по условиям местности невозможно измерить, измерение производят с помощью вспомогательной точки, либо параллактическим методом.

В городах, где существуют подземные коммуникации (водопровод, канализация и др.), знаки следует намечать по одной стороне улицы и закладывать стенные нивелирные репера в угловые здания, расположенные на перекрестках улиц.

Постановка полигонометрических центров типа стенных реперов упрощается тем, что не требуется согласование с учреждениями, ведающими подземными коммуникациями в городе (как при закладке грунтовых полигонометрических центров и знаков).

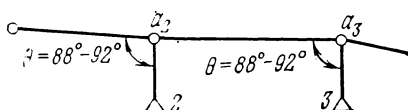


Рис. 7. Схема полигонометрического хода со стенными знаками и вспомогательными точками

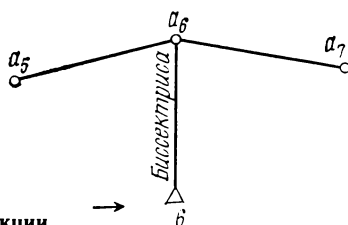


Рис. 8. Схема продления линейной редукции

Длины сторон в полигонометрии 1 разряда рекомендуется намечать порядка 300 м, а 2 разряда — 200 м, что способствует проведению дальнейших съемочных и разбивочных работ.

При рекогносцировке нужно предусматривать, чтобы угол θ между направлениями на репер и вспомогательную точку был порядка 88° — 92° (рис. 7), а расстояние от точки до полигонометрического знака должно быть 5—12 м, чтобы иметь возможность измерить теодолитом угол θ с небольшой точностью и одним промером получить расстояние с помощью стальной рулетки с предельной ошибкой ± 2 мм. Измерение угла θ производится на большую сторону полигонометрии. Можно линейную редукцию намечать по биссектрисе поворотного угла, в этом случае угол θ измеряется точнее (рис. 8).

Измерение сторон и углов θ рекомендуется производить при постановке стенных знаков, а контролировать измерения при проложении ходов.

В зависимости от величины линейного элемента редукции и точности его измерения (± 2 мм) определяют необходимую точность измерения угла θ (табл. 9).

По результатам детальной рекогносцировки составляют окончательный проект полигонометрической сети с пояснительной запиской и абрисами зарисовок пунктов.

На схему ходов полигонометрии наносят все рекогносцировочные номера знаков с указанием их типов. В пояснительной

Таблица 9

| Угол θ , угл. градус | Величина линейного элемента редукции, м | | | |
|--------------------------------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|
| | 2 | 4 | 10 | 20 |
| | Требуемая точность измерения угла, угл. с | | | |
| 88—92 | 1180 | 600 | 230 | 120 |
| 84—96 | 390 | 200 | 70 | 39 |
| 80—100 | 230 | 117 | 46 | 23 |
| 75—105 | 150 | 77 | 30 | 15 |
| 70—110 | 113 | 56 | 22 | 11 |
| 60—120 | 71 | 35 | 14 | 7 |
| 50—130 | 50 | 25 | 10 | 5 |

записке указывают методику измерения углов и описывают все исключительные случаи: неприступные расстояния, параллактические звенья, азимутальные центры, вспомогательные центры для передачи дирекционных углов вблизи коротких линий хода, спрямление участков хода, передача дирекционных углов и др.

Особенности вставок в существующую сеть. При реконструкции и благоустройстве городов и в результате инженерно-строительных работ **бывают** частично повреждены или уничтожены полигонометрические знаки и отдельные звенья ходов. Утраченные или поврежденные полигонометрические знаки надо своевременно восстанавливать. Для обеспечения геодезической основой съемок крупного масштаба иногда необходимо сгущать существующую сеть отдельными ходами и целыми системами. Вставки в существующую сеть при возобновлении или сгущении имеют некоторые особенности при производстве полевых работ.

Производство земляных работ в непосредственной близости от грунтовых полигонометрических знаков и подземные выработки вызывают выпучивание и смещение положения грунтовых полигонометрических знаков. Чтобы убедиться в том, что знаки, к которым производится привязка, не имеют смещений, необходимо с них измерить не менее двух примычных углов и линий. Сравнение результатов измерений при вставке с прежними измерениями даст основание принять эти полигонометрические знаки за исходные.

При возобновлении и сгущении сетей различных разрядов исходными данными для вставок служат координаты пунктов и дирекционные углы сторон существующей полигонометрической сети. Методы измерений и приборы при вставках ничем не отличаются от методов измерений и приборов, применяющихся при создании новых полигонометрических сетей.

При восстановлении хода полигонометрии 1 разряда, стороны которого были не менее 200 м, точки, вставляемые вместо утраченных, должны быть отнесены к полигонометрии 1 разряда, если при этом получена относительная ошибка менее $1/10\,000$.

Кроме того, зачастую по техническим условиям требуется сохранение разрядности нарушенного полигонометрического хода. Такое требование возникает, в частности, при сгущении сетей, когда при измерении примычных углов и линий окажется, что знак, к которому произведена привязка вставляемого хода, изменил свое положение. В этом случае измерение линий и углов по ходу продолжают до тех пор, пока результаты новых измерений совпадут с данными прежних измерений. В указанном случае необходимо сохранить разрядность восстанавливаемого хода, чтобы в дальнейшем произвести сгущение сети.

Разрядность вставки легко сохранится, если невязка прежнего полигонометрического хода была меньше предельной. В таком случае измерение производится с точностью того разряда, к которому отнесен весь ход. Если же невязка старого хода

близка к предельной, то в этом случае необходимо перемерить весь ход, а при уравнивании этого хода оставить в нем прежними координаты тех знаков, которые в новом ходе получают значения, близкие к прежним, в пределах 1 см.

Рекогносцировка пунктов нивелирования II класса на городских территориях должна осуществляться с соблюдением следующих требований:

1. Нивелирные ходы должны проходить по шоссейным, железным и грунтовым дорогам.

2. При выборе мест для постановки грунтовых реперов следует консультироваться с геологом для выявления грунтов, наиболее благоприятных для их закладки.

3. На территории города необходимо обследовать рабочие морские водомерные посты и футштоки.

4. Марки и стенные реперы закладываются в прочные каменные, кирпичные, бетонные и железобетонные здания и сооружения, построенные не менее чем за 3 года до закладки.

5. Здания для закладки знаков не должны располагаться вблизи оврагов, откосов, оползней и т. п.

6. На линиях железных дорог стенные знаки закладываются в зданиях вокзала, депо и в устоях мостов; не рекомендуется закладывать знаки в здания, расположенные среди железнодорожных путей.

7. Стенной репер закладывается в том же здании под маркой, несколько сбоку от нее. Высота марки не должна быть менее 1 м, а репера — 0,5 м от поверхности земли.

При определении мест закладки стенного репера необходимо предусмотреть возможность вертикальной установки на него трехметровой нивелирной рейки.

Рекогносцировка ходов нивелирования III и IV классов осуществляется с таким условием, что места для закладки стенных и грунтовых реперов выбираются с учетом тех требований, что и при рекогносцировке ходов нивелирования II класса; марки при этом не закладываются.

При выборе мест для закладки марок и реперов нивелирных сетей II, III и IV классов производится зарисовка их и дается краткое описание, а также зарисовка мест существующих водомерных постов.

§ 4. ПОСТРОЙКА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗНАКОВ И НАДСТРОЕК НА ЗДАНИЯХ И СООРУЖЕНИЯХ

Над пунктами опорной геодезической сети в городах, поселках и на территориях промышленных предприятий сооружаются металлические геодезические знаки следующих типов: пирамиды, простые и сложные сигналы, устанавливаемые непосредственно на поверхности земли; надстройки, возводимые на зданиях и сооружениях, а также вехи, мачты.

Все металлические знаки имеют четырехгранную форму.

Металлические пирамиды, простые и сложные сигналы строят на пунктах всех классов и разрядов и на незастроенных городских территориях.

Надстройки на зданиях и сооружениях возводятся в застроенных районах города или поселка, а также на отдельных сооружениях, расположенных на незастроенной части городских территорий. Высота металлических геодезических знаков: пирамид — 6 и 8 м; простых сигналов — 5 и 12 м; сложных сигналов — 16, 20, 25 и 30 м.

Надстройки на зданиях и сооружениях по своим конструкциям разделяются на два типа:

Надстройка I типа представляет собой кирпичный или бетонный столб или металлическую ферму, сооружаемую на верхней части каменной стены или свода, и служит столиком для установки прибора. На том же основании строится площадка (пол) для наблюдателя, огражденная перилами. Металлический визирный цилиндр укрепляется на столбе и во время наблюдений снимается. Высота надстроек не превышает 2 м над крышей здания.

Надстройка II типа — простой металлический сигнал с крышей, с которой скреплен визирный цилиндр. Внутренняя пирамида может быть заменена бетонным или кирпичным столбом или четырехгранной металлической фермой. Надстройки II типа возводятся высотой от 3 до 5 м.

Общие требования, предъявляемые к металлическим геодезическим знакам

Металлические геодезические знаки и надстройки должны удовлетворять следующим требованиям:

- конструкция геодезических знаков должна быть простой;
- знаки должны быть устойчивыми и способными противостоять ураганным ветрам;

- обладать жесткостью, позволяющей выполнять наблюдения при ветре средней силы (4—5 м/с), быть прочными и долговечными;

- иметь правильную форму относительно вертикальной оси знака;

- ось визирного цилиндра, центр столика для прибора и центр пункта должны находиться на одной вертикальной оси;

- столлик для прибора и внутренняя пирамида должны быть изолированы от лестницы и площадки (пола) для наблюдателя;

- основание знака должно быть ориентировано так, чтобы визирные лучи по всем запроектированным направлениям проходили не ближе 5 см от угловых стоек (ног) и частей знака;

- подъем наблюдателя и прибора на знак и спуск с него должны быть удобны и безопасны;

- надстройки на зданиях должны быть красивыми и окрашены в цвет, гармонирующий со зданием;

на геодезическом знаке должна быть прикреплена металлическая таблица с указанием на ней названия знака, года постройки и наименования учреждения, построившего знак, и что он охраняется государством;

места, выбранные для постройки пирамид, простых и сложных сигналов и надстроек, должны быть согласованы с главным архитектором города.

Постройка металлических пирамид

Металлические пирамиды принято строить высотой 6 и 8 м с основанием пирамиды соответственно 2 и 2,81 м. Основным материалом для постройки пирамид служит уголковое железо, а при его отсутствии разрешается использовать трубы. Длина ног шестиметровой пирамиды равна 5,80 м, а восьмиметровой — 7,90 м (рис. 9). В верхней части пирамиды ноги крепятся коробкой (рис. 10), сделанной из котельной стали толщиной 6 мм, с которой скрепляется визирный цилиндр. Ноги пирамиды с прикрепленными к нижней их части пластинами или якорями опускаются в землю на 0,7 м и бетонируются, при этом бетонное основание ног должно выступать на 0,10 м над поверхностью земли.

Визирные цилиндры обычно бывают двух видов, из которых первый представляет собой цилиндр диаметром 20 см и высотой 50 см, надетый на отрезок трубы длиной 105 см диаметром 50—70 мм (рис. 11, а), а второй состоит из двух взаимно перпендикулярных пластин, приваренных к трубе (рис. 11, б). Устройство визирного цилиндра второго вида проще в изготовлении и меньше весом.

Скрепление визирного цилиндра с коробкой производится четырьмя болтами, а для более жесткого соединения с его основанием к нижней части трубы и к основанию привариваются ребра треугольной формы из котельной стали (см. рис. 10). Визирный цилиндр снизу окрашивается белой краской, а сверху — черной или красной.

Большая жесткость восьмиметровой пирамиды создается венцами, расположенными на высоте от земли 0,5; 2,5 и 4,7 м, а на шестиметровой пирамиде венцы расположены на высоте 0,3 и 2,6 м от земли. Крепление венцов показано на рис. 9.

Расход стали для пирамид высотой 6 и 8 м приводится в табл. 10.

При изготовлении металлических пирамид необходимо придерживаться следующих технических условий:

расстояния между центрами крайних монтажных отверстий — ног, венцов и крестовин — не должны уклоняться от размеров, показанных в рабочих чертежах, более чем на ± 3 мм;

взаимное расположение отверстий в ногах для их сопряжения необходимо выдерживать в пределах ± 1 мм;

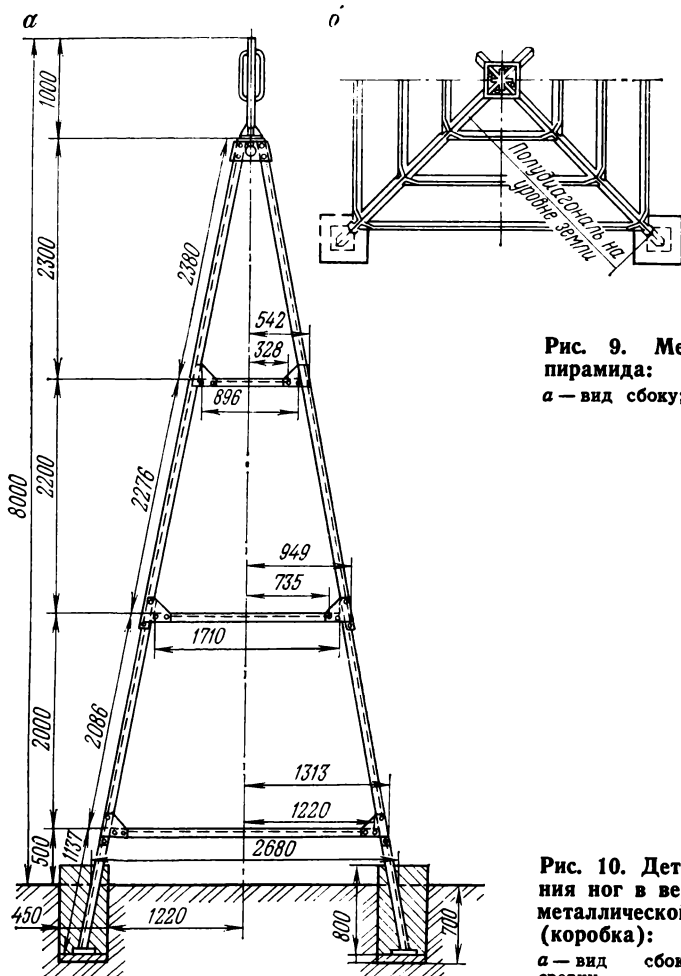


Рис. 9. Металлическая пирамида:
а — вид сбоку; б — в плане

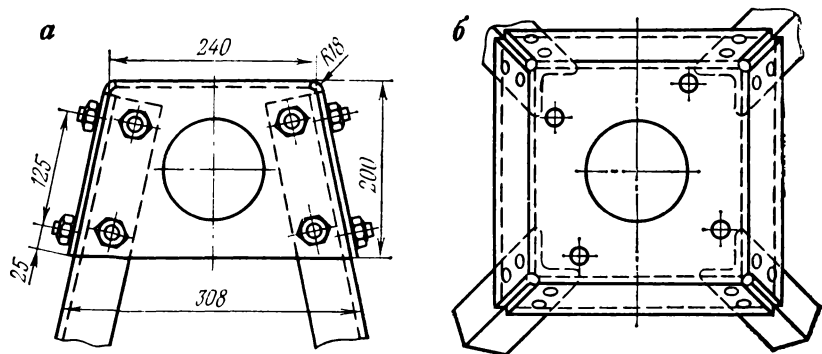


Рис. 10. Деталь крепления ног в верхней части металлической пирамиды (коробка):
а — вид сбоку; б — вид сверху

Таблица 10

| Размеры сечения стали, применяемой для постройки пирамиды, мм | Пирамида | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | шестиметровая | | | восьмиметровая | | |
| | Расход стали, кг | | | | | |
| | на постройку пирамиды | 5 % на разрезку стали | всего на постройку | на постройку пирамиды | 5 % на разрезку стали | всего на постройку |
| Угловая, 60×60×6 Полосовая, 6×150 Круглая, 10 | 189,8 | 9,50 | 199,30 | 293,80 | 14,70 | 308,50 |
| | 62,17 | 3,11 | 65,28 | 74,82 | 3,74 | 78,56 |
| | 3,26 | 0,16 | 3,42 | 3,42 | 0,16 | 3,42 |
| | 255,23 | 12,77 | 268,00 | 371,88 | 18,60 | 390,48 |
| Расход болтов и гаек | 4,12 | — | 4,12 | 8,00 | — | 8,00 |

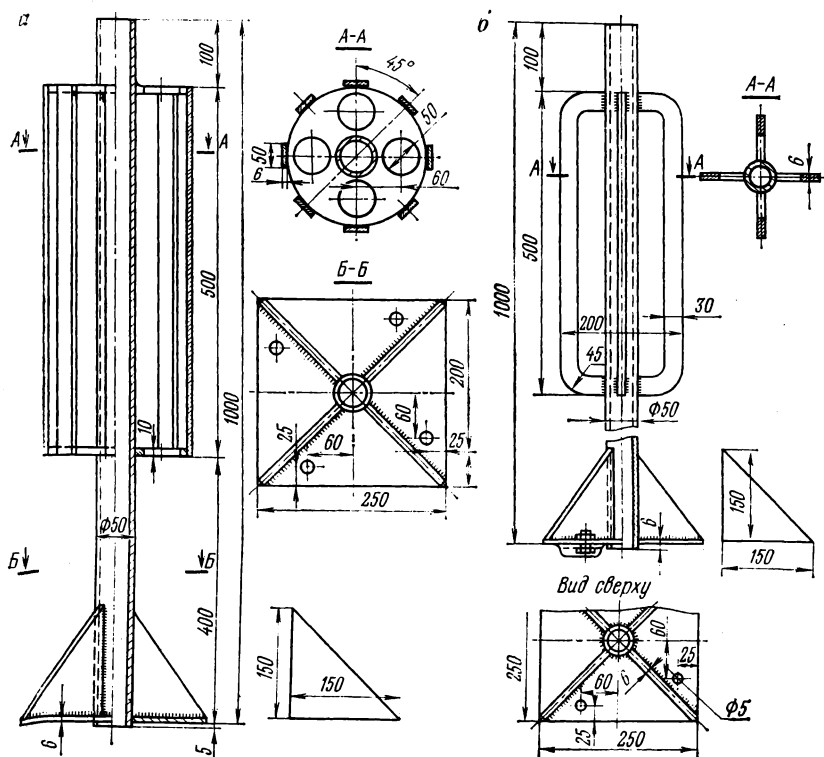


Рис. 11. Схемы визирных цилиндров металлической пирамиды или сигнала

расположение отверстий в косынках и венцах — в пределах ± 1 мм;

приварка косынок в местах, указанных на чертежах, должна быть произведена с точностью ± 1 мм, причем наружная основная боковая сторона косынки должна быть параллельна оси стойки;

перпендикулярность оси визирного цилиндра к его основанию должна быть выдержана на всю длину в пределах ± 5 мм;

уголковая сталь и трубы должны быть пригодны для сварных работ;

косынки для пирамид, при невозможности применять автогенный способ или электросварку, прикрепляются к ногам пирамиды двумя болтами или четырьмя заклепками;

расположение заклепок в конструкциях пирамид может быть однорядное и многорядное;

плотность соединения деталей болтами, заклепкой и сваркой проверяется при сборке щупом толщиной 0,4 мм, который не должен проходить между соприкасающимися поверхностями на глубину более чем 15—20 мм;

заусенцы, получаемые при рассверловке отверстий, перед завинчиванием болтов и клепкой удаляются;

все детали пирамиды должны быть прошпаклеваны, загрунтованы и окрашены в соответствии с указанием по окраске знаков, изложенным ниже;

для разметки частей пирамид стеллажи должны иметь горизонтальное положение, выверяемое уровнем;

разметку следует начинать с нанесения основных линий заготовки, затем наносить осевые линии косынок и на ногах разметить места приварки косынок. Дальнейшая разметка центров монтажных отверстий для стыка ног между собой и с венцами и крестовинами производится от этих осевых линий.

Для установки пирамиды на местности разбивается пикетаж основания, при этом необходимо, чтобы визирные лучи из центра знака на наблюдаемые с нее пункты проходили не ближе 5 см от частей знака.

Порядок работ по разбивке пикетажа следующий: вначале в направлении, намеченном при ориентировании знака на местности, с помощью рулетки откладывают величину диагонали, равную для шестиметровой пирамиды 2,83 м, а для восьмиметровой — 3,98 м, отмечаемую кольями.

В середине диагонали забивают кол — центр знака. Нуль рулетки прикладывают к одному из колеи диагонали, а штрих, обозначающий длину, равную двойной длине основания, — к другому концу диагонали. Затем натягивают рулетку и на ее середине устанавливают четвертый кол; таким же способом устанавливают и пятый кол.

Расстояние между четвертым и пятым кольями контролируется величиной диагонали.

В местах, отмеченных кольями, роют ямы квадратной формы размером $0,6 \times 0,6$ м и глубиной 0,7 м.

Дно ям бетонируют, создают бетонную подушку толщиной 20—25 см. Бетонные подушки должны иметь одну и ту же отметку.

Одновременно с рытьем ям производится сварка пирамиды, если она не была доставлена в собранном виде.

Нижние части двух ног упираются в доски, установленные вертикально в стенку ямы, и производят подъем вручную. Сначала вручную поднимают верх пирамиды и подпирают его козлами, а затем производят подъем с помощью автомашины, лебедки или ворота, удаляют из ям доски, проверяют вертикальность и бетонируют. В зависимости от наличия материалов бетонирование может быть заменено кирпичной или бутовой кладкой.

Затем пирамиду красят и прикрепляют к верхнему венцу металлический трафарет с названием пункта и предприятия, установившего ее.

Постройка вех-мачт

Металлические вехи-мачты дают возможность избежать постройки высоких сигналов.

В Московском городском тресте геолого-геодезических и картографических работ (Мосгоргеотресте) применяются металлические разборные вехи высотой 32 м (рис. 12) конструкции инж. И. А. Анисимова.

Металлическая разборная вежа изготавливается из уголкового стали сечением $50 \times 50 \times 5$ мм и состоит из трех восьмиметровых ферм и трубы диаметром 0,76 м с визирным цилиндром длиной 8 м (узлы 1 и 2). Боковые грани ферм скрепляются сваркой венцами и крестовинами из уголкового стали $35 \times 35 \times 5$ мм (узел 3), после чего фермы окрашиваются шашками через 0,5 м белилами и черной краской или суриком. Фермы соединяются между собой и скрепляются болтами (узел 4).

Для создания упора при подъеме вехи к нижней ферме приваривается труба (узел 5), в которую продевается лом, упирающийся в забитые на дне канавы трубы. В каждом из трех мест соединения ферм привязываются четыре оттяжных троса.

Перед подъемом вехи намечают теодолитом места установки восьми столбов для оттяжных тросов по двум взаимно перпендикулярным направлениям на расстоянии от центра 20 и 40 м для удержания вехи в вертикальном положении. Подъем вехи производят при помощи 12-метровой мачты-стрелы и лебедки, регулируя оттяжными тросами.

На расстоянии от вехи 20—50 м закладывают центр пункта триангуляции, над которым устанавливают металлическую пирамиду высотой 6—8 м.

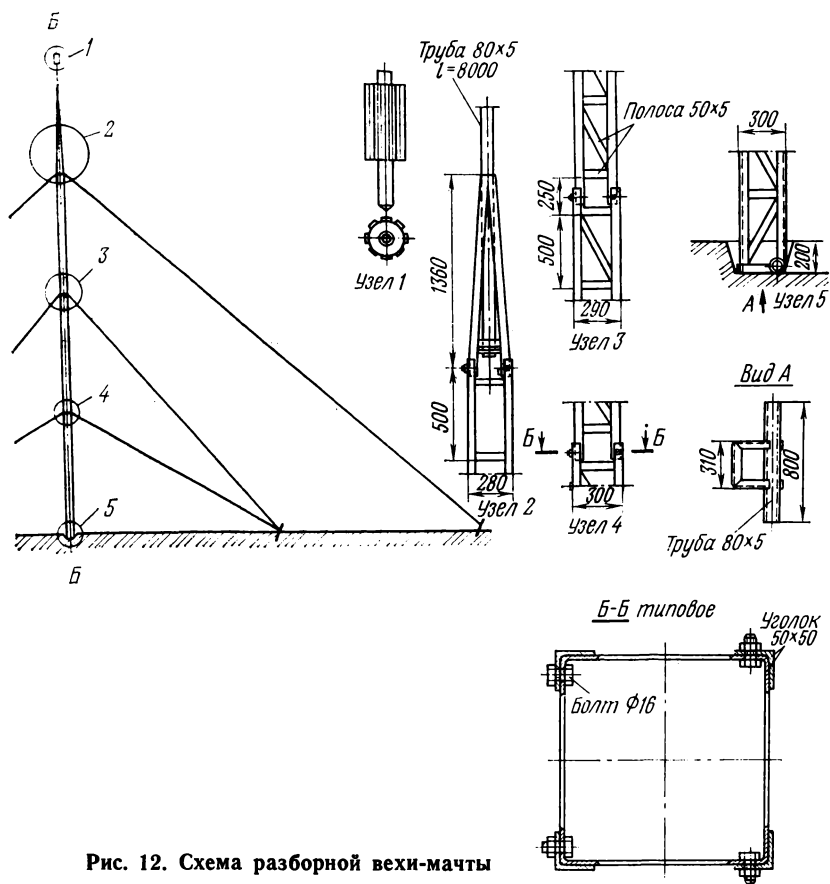


Рис. 12. Схема разборной вехи-мачты

Проекцию вехи (визирного цилиндра) определяют при помощи трех постановок теодолита (аналогично определению центровки и редукции на сигналах), при этом допускают отклонение верха вехи от вертикали до 0,5 м. Измеряют расстояние между проекцией визирного цилиндра вехи и центром установленной вблизи пирамиды.

На расстоянии 200—300 м от пирамиды устанавливают один-два азимутальных центра, на которые с центра пирамиды передается дирекционный угол, определенный по Полярной звезде со средней квадратической ошибкой 2".

В тех случаях, когда с места, намечаемого для установки пункта триангуляции (вехи-мачты), виден хотя бы один пункт триангуляции, мачта не устанавливается, а строится простая пирамида; в этом случае расстояние до видимого пункта определяется светодальномером и передается дирекционный угол на эту сторону.

Постройка металлических сигналов

В зависимости от высоты и конструкции сигналы разделяются на простые и сложные.

Металлические сигналы изготавливаются из уголковой стали или труб.

Простой сигнал состоит из двух четырехгранных пирамид, полностью изолированных друг от друга.

Внутренняя пирамида предназначена для установки на ней прибора для производства наблюдений, а наружная служит объектом для визирования и имеет площадку для работы наблюдателя.

Ноги каждой пирамиды скрепляются венцами и крестовинами посредством приваренных косынок толщиной 6 мм. Концы венцов и крестовин скрепляются с косынками болтом диаметром 14 мм или привариваются к ним.

Простые сигналы строят высотой от 5 до 12 м до столика.

На рис. 13 изображена схема простого сигнала высотой 11,6 м. Основание внутренней пирамиды сигнала равно 3,432 м, наружной пирамиды — 4,559.

На одной из ног наружной пирамиды приварены металлические ступеньки, которые используются при постройке сигнала и для подъема наблюдателя на сигнал.

Ноги сигнала состоят из отдельных секций длиной не более 4,3 м, соединенных между собой болтами или приваренных. Верхняя часть внутренней пирамиды делается цельносварной. Размер площадки для наблюдателя — 2×2 м, высота перил 1,2 м. Пространство между перилами и венцом под полом перекрывается двумя крестовинами со всех четырех сторон. Пол настилается из досок толщиной не менее 4 см с промежутками между ними 1—2 см. Во избежание сотрясений столика от передвижения наблюдателя доски настилаются так, чтобы они не доходили до фермы столика на 2—4 см.

Столик для прибора изготавливается из котельного железа толщиной 8 мм и представляет собой круг диаметром 500 мм, скрепляемый с верхней частью внутренней пирамиды.

Столик имеет два взаимно перпендикулярных выреза, что позволяет передвигать его в горизонтальной плоскости на 80—100 мм для установки прибора над центром знака, после чего столик закрепляется четырьмя болтами.

К ногам внутренней и наружной пирамид прикрепляют якорные стойки длиной 1,54 м, которые бетонируются на глубину 1 м. Перед установкой сигнала на местности производят разбивку центров ям для ног сигнала.

Разбивка ям на местности производится с помощью рулетки и теодолита. В центре сигнала забивают кол, над которым центрируют теодолит, и при помощи рулетки откладывают величину полудиagonalей квадратного основания наруж-

Таблица 11

| Размеры сечения стали, применяемой для постройки сигнала, мм | | Расход стали, кг | | |
|--------------------------------------------------------------------|---------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| | | на постройку сигнала | 5 % на разрезку стали | всего на постройку |
| Угловая | 75×75×6 | 1000,00 | 5,00 | 105,00 |
| То же | 60×60×5 | 692,60 | 34,60 | 727,20 |
| » | 50×50×5 | 369,00 | 18,45 | 387,45 |
| » | 45×45×5 | 174,40 | 8,70 | 183,10 |
| » | 40×40×5 | 102,16 | 5,10 | 107,26 |
| » | 35×35×5 | 563,00 | 28,15 | 591,15 |
| » | 20×20×4 | 23,12 | 1,15 | 24,27 |
| Круглая | 10 | 10,00 | 0,50 | 10,50 |
| Полосовая | 6×150 | 215,00 | 10,75 | 225,75 |
| | | 2249,28 | 112,40 | 2361,68 |

ного сигнала, измеряя при этом углы между ними, которые должны быть равны 90°.

Ориентирование основания сигнала производится так, чтобы ноги наружного сигнала не располагались вблизи направлений на наблюдаемые с него пункты. Затем так же, как и для ног наружного сигнала, намечают места для ног внутренней пирамиды. Основание ног пирамиды должно быть параллельно основанию наружного сигнала. Расстояние между стенкой ямы внутренней пирамиды и стенкой ямы для одной ноги наружного сигнала не должно быть менее 40 см. Затем роют ямы глубиной 1 м. Дно ям нивелируют, делают бетонные подушки толщиной 20—25 см с таким расчетом, чтобы верх бетонных подушек имел одну и ту же отметку.

Внутренняя пирамида простого сигнала доставляется на место постройки в смонтированном виде и устанавливается при помощи козел и автомашины или лебедки.

Наружные грани сигнала доставляются в виде смонтированных рам. Подъем рам производится с помощью блоков и автомашин, после чего рамы скрепляют при помощи венцов и крестовин; устанавливают визирный цилиндр, пол, перила, лестницу и красят сигнал.

Расход стали для постройки простого сигнала высотой 11,6 м (до столика) приводится в табл. 11.

Постройка металлических надстроек на зданиях и сооружениях

Надстройка I типа (рис. 14) изготавливается из угловой стали и представляет собой площадку для наблюдателя со столиком для прибора и визирным цилиндром, который

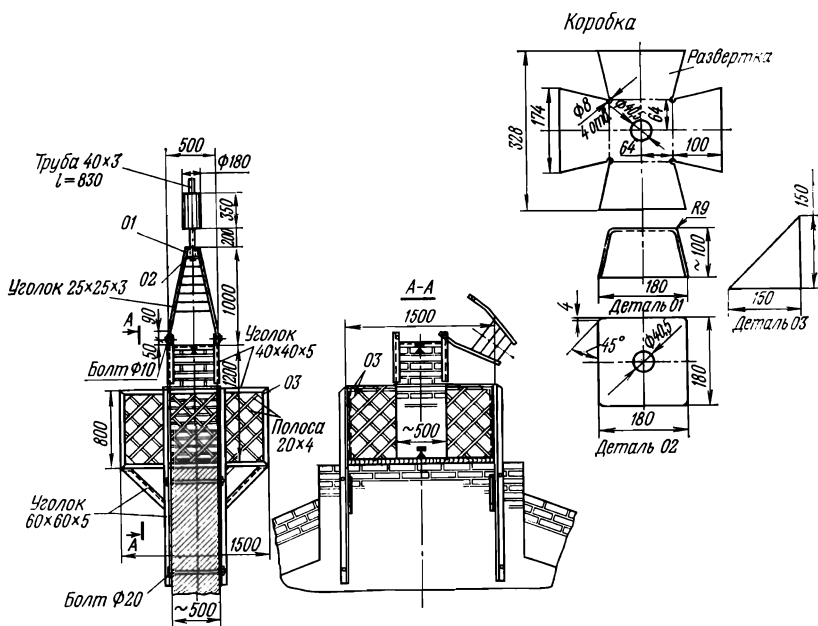


Рис. 14. Схема металлической надстройки I типа



Рис. 15. Металлическая надстройка II типа

устанавливается над столиком. Площадка для наблюдателя крепится на одной капитальной стене, возвышающейся над крышей здания, на так называемом брандмауэре, при помощи двух пар стоек из уголкового стали, охватывающих стену с двух сторон. Стойки попарно стягиваются болтами, пропущенными через стену, и прикрепляются к граням площадки наблюдателя.

Для более надежного крепления площадки служат две пары укосов, один конец которых скреплен с углом площадки, а другой — со стойкой надстройки. Центром знака служат марки, одна из которых закладывается под нижнее основание столба, а другая бетонируется с обратной стороны верхней площадки столика в том случае, когда столиком служит кирпичный или бетонный столб.

Когда в качестве столика используется металлическая ферма, в стену закладывается марка, а верхним центром служит круглое отверстие в металлической пластине, прикрывающей верх железной фермы.

Визирные цилиндры для надстроек I типа показаны на рис. 11. Нижней частью визирный цилиндр крепится со столиком наблюдателя при помощи четырех болтов.

Надстройка II типа (рис. 15) представляет собой металлический сигнал, опирающийся на капитальные стены, выходящие на чердак или возвышающиеся над крышей здания, изготавливается из уголкового стали или труб. Столиком для прибора служат металлическая пирамида, кирпичный или бетонный столб, четырехгранная металлическая ферма. Центры закрепляются так же, как у надстроек I типа. Визирный цилиндр, укрепленный над крышей сигнала, имеет приспособление для совмещения его оси с центром пункта.

Случаи расположения опор для надстройки II типа под крышей здания могут быть следующие:

1. Все четыре опоры находятся под крышей здания (рис. 16). AB — внутренняя капитальная стена, возвышающаяся

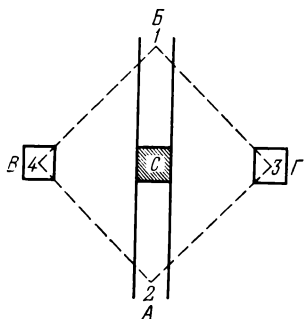


Рис. 16. Схема расположения четырех опор надстройки под крышей здания

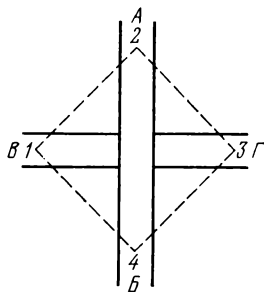


Рис. 17. Схема расположения двух опор наружной пирамиды под крышей и двух — над крышей здания

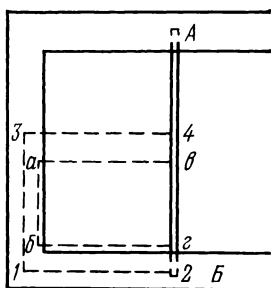


Рис. 18. Схема расположения опор надстройки II типа на стенах лестничной клетки

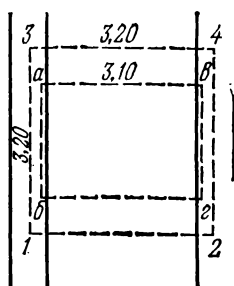


Рис. 19. Схема расположения опор надстройки II типа на стенах коридора

над потолком на 0,5 м, является опорой для ног 1 и 2 наружной пирамиды. В точках *В* и *Г* находится прочный кирпичный сводчатый потолок, который может служить опорой для ног 3 и 4 наружной пирамиды. *С* — кирпичный столб на внутренней капитальной стене, доходящий до конька крыши, на котором укреплены стропила.

2. Две опоры наружной пирамиды находятся под крышей, а две другие — над крышей (рис. 17). Основные ноги 1 и 3 устанавливаются на внутреннюю капитальную стену *ВГ*, находящуюся под крышей. Ноги 2 и 4 закладываются в брандмауэр. Столиком для прибора служит кирпичный столб или железная четырехгранная ферма. В этом случае, в зависимости от условий видимости, может быть построена надстройка I или II типа.

3. Использование для опор надстройки II типа стены лестничной клетки, выходящей на чердак здания (рис. 18). Три ноги наружной пирамиды опираются на капитальные стены, а четвертая — на рельс *АБ*, зацементированный в капитальных стенах. Внутренняя пирамида двумя ногами *a* и *б* устанавливается на капитальную стену, а другими ногами *в* и *г* — на этот же рельс *АБ*. Основанием внутренней пирамиды является прямоугольник.

4. На чердак выходят две стены коридора (рис. 19), на которые и опираются ноги наружной (1, 2, 3 и 4) и внутренней (*a*, *б*, *в*, *г*) пирамид надстройки II типа, причем внутренняя пирамида имеет основанием четырехугольник. Крепление ног пирамид на капитальных стенах производится путем установки их в кирпичные столбы высотой до 40 см. В некоторых случаях необходимо разбирать наклонные ряды кирпичей в местах установки для того, чтобы ноги опирались на кирпичи, лежащие горизонтально.

В табл. 12 приведены размеры отдельных частей надстроек I и II типов, которые являются общими, независимо от высоты и конструкции надстроек.

Таблица 12

| Показатели частей надстройки | Тип надстройки | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|
| | I | II |
| Наклон основных ног наружной части знака к плоскости диагонального сечения, угл. градус | — | 13—14 |
| Диаметр визирного цилиндра, см | 30 | 15 |
| Длина образующих визирного цилиндра, см | 60 | 35 |
| Длина стержня визирного цилиндра, см | 100 | 60 |
| Длина шейки визирного цилиндра, см | 15 | 10 |
| Длина стороны поля площадки наблюдателя, см | 150 | 150—160 |
| Расстояние между перилами и основанием крыши, см | — | 90 |
| Высота перил под полом, см | 80 | 80 |
| Длина стороны основания крыши знака, см | — | 100 |
| Длина укусов крыши, см | 70 | 90 |
| Длина штанг, охватывающих брандмауэр, см | 230 | — |
| Длина укусов, см | 70 | — |
| Расстояние между полом и болтами стоек, см | 40—125 | — |
| Высота столика над полом, см | 120 | — |
| Длина стойки железного столика, см | 200 | — |

Постройка сложного металлического сигнала

Сигналы высотой от 12 до 40 м конструкции И. А. Анисимова строят из труб диаметром 50—100 мм (рис. 20). Для строительства цельносварного сигнала подготавливают ровную площадку, на которой разбивают стальной (50-метровой) рулеткой расположение ног и точек пересечения их с венцами. Точки пересечения отмечают в натуре кольями с забитыми в них гвоздями. Разбивку контролируют измерением диагоналей всех ярусов и производят заготовку всех частей сигнала в соответствии с чертежом, затем укладывают трубы ног для их сварки.

При одинаковом диаметре труб соединение их производят сваркой впритык, соблюдая их прямолинейность, причем сварку верхней части сигнала производят отдельно от нижней. После сварки ног верхней части сигнала берут две из них, которые укладывают на монтажную площадку по разбитым меткам, и прикрепляют коваными гвоздями для обеспечения неизменности их положения при сварке.

Заготовленные венцы приваривают к ногам в порядке, указанном на рис. 21, а затем приваривают крестовины. После сварки первой рамы сигнала на нее укладывают через 3—4 м обрезки уголкового стали, слегка приваривая их к ногам. К этим уголкам укладывают две другие ноги и сваривают вторую раму в том же порядке, что и первую. Сваренную верхнюю раму ставят на ребро с помощью подъемной мачты («стрелы»), состоящей из двух труб диаметром 63,5 мм и длиной 4 м, подъемного троса сечением 10 мм и длиной 50 м, шести

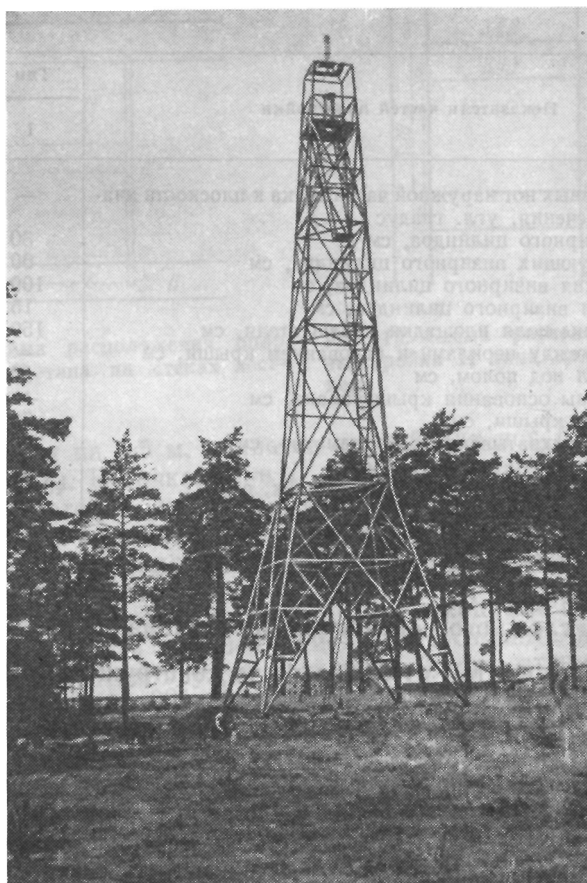


Рис. 20. Сложный металлический сигнал

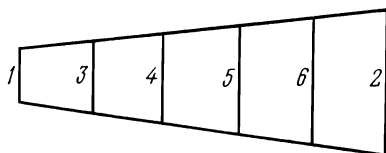


Рис. 21. Порядок приваривания венцов

оттяжек длиной по 8 м и шести ухватов, изготовленных из труб диаметром 127 мм, устанавливаемых с той же стороны, что и оттяжные канаты (рис. 22).

Рамы устанавливают на земле по разбитым кольям, контролируют по диагоналям, затем сваривают третью и четвертую стороны сигнала.

После сварки верхней части сигнала приваривают внутреннюю пирамиду, которую заготавливают одновременно с дру-

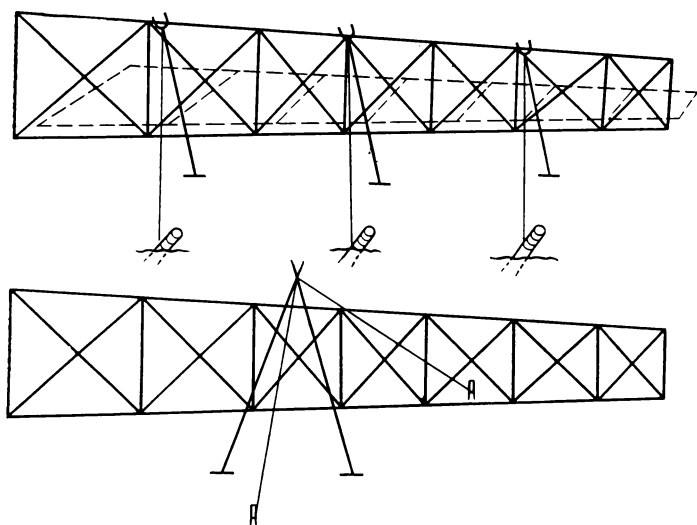


Рис. 22. Два варианта установки приваренной рамы на ребро

гими частями сигнала. Затем приваривают горизонтальные кресты, состоящие из трех отрезков труб, оси которых должны лежать в одной горизонтальной плоскости, а также два перевода для пола площадки наблюдателя, лестницы, лестничные площадки и визирный цилиндр с крышей. Готовая верхняя часть сигнала длиной в 15 м перевозится на автомашине, при этом кузов машины должен быть загружен материалом и оборудованением массой не менее 1 т. Нижняя часть сигнала собирается и сваривается на месте его установки. При высоте сигнала более 20 м верхняя часть его разрезается. Для перевозки сигнала на место установки рекомендуется использовать автомашину ГАЗ-63 с двумя прицепами. Габариты сигналов, перевозимых на машинах, не должны превышать норм, установленных Государственной автоинспекцией; необходимо также учитывать высоту подвесных проводов троллейбусов, трамваев, линий связи и пр. Перевозку сигнала следует осуществлять в ночное время при минимальном движении транспорта.

На месте постройки сигнал устанавливают в соответствии с заранее разработанным планом расположения сигнала и подъемных средств. Затем начинают монтаж нижней части сигнала, для этого поднимают верхнюю часть сигнала на два металлических козла.

Нижний венец сигнала, опирающийся на козлы, должен быть горизонтальным. От середины этого конца отмеряют расстояние, равное высоте нижней грани сигнала строго по линии оси, и забивают кол. В обе стороны от этого кола под прямым углом к оси откладывают по 4 м (половина основания) и закрепляют эти точки кольями.

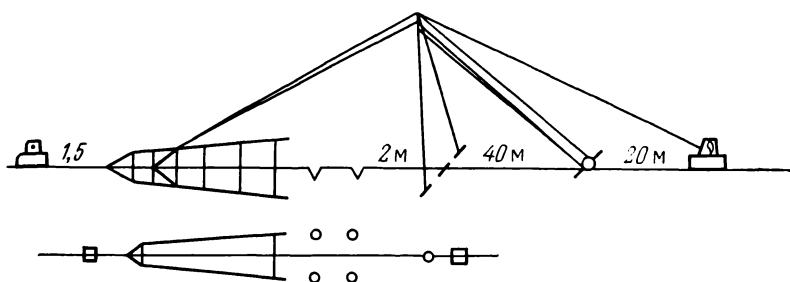


Рис. 23. Схема разбивки на местности расположения ям для ног сигнала, подъемной мачты и лебедок

Сваривают ноги нижней части сигнала из труб диаметром 76,2 и 103,6 мм и соединяют их с ногами верхней части знака, лежащими на козлах, а нижние концы ног укладывают на забитые ранее колья. Линия, соединяющая нижние концы ног, должна быть горизонтальна и параллельна линии, соединяющей верхние концы. Контроль осуществляется нивелированием.

Нижние концы ног выравнивают при необходимости подкладкой кирпича или досок, контролируют измерением диагоналей, после чего производят сварку.

Одновременно с монтажом сигнала производится подготовка к подъему сигнала. Для этого разбивают и закрепляют кольями места расположения ям для ног сигнала, подъемной мачты, лебедок (рис. 23).

Ямы для ног сигнала роют размером 1,2×1,2 м и глубиной 2 м за 10—12 дней до подъема сигнала. Дно ям нивелируют и на всю площадь ямы закладывают бетонные подушки толщиной 30—40 см, которые после закладки нивелируют, чтобы высотные отметки подушек были одни и те же. Подушки необходимо периодически поливать водой, а ямы закрывать от солнечных лучей досками для лучшего схватывания бетона.

Таблица 13

| Диаметр труб, см (при толщине стенок 4 мм) | Высота сигнала, м | | | | |
|-----------------------------------------------|-------------------|------|------|------|------|
| | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 |
| | Масса сигнала, кг | | | | |
| 103,6 | 244 | 291 | 374 | 466 | 498 |
| 76,2 | 277 | 358 | 418 | 517 | 642 |
| 63,5 | 632 | 776 | 1540 | 1810 | 3347 |
| 51,8 | 1757 | 1976 | 1508 | 1767 | 1975 |
| 38,1 | 44 | 166 | 209 | 223 | 131 |
| | 2954 | 3567 | 4049 | 4783 | 6593 |

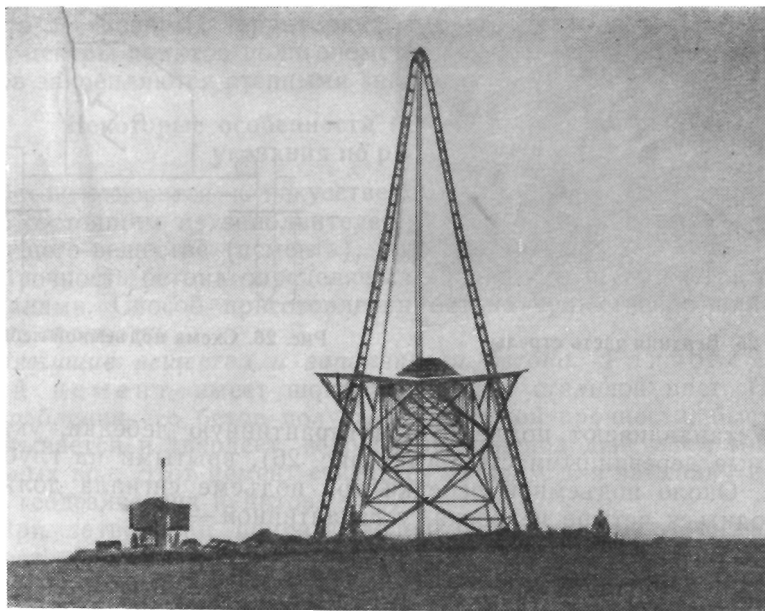


Рис. 24. Подъем сигнала с помощью стрелы

Расход труб на сигналы разной высоты (по расчетам инженера И. А. Анисимова) приводится в табл. 13.

Подъем сигнала осуществляется при помощи стрелы (рис. 24). Стрела состоит из двух ферм, соединенных вместе в верхней части шкворнем, позволяющим изменять угол между ними (рис. 25). Каждая ферма сваривается из уголкового стали сечением $50 \times 50 \times 50$ мм и пластин полосовой стали сечением 100×12 мм и имеет квадратное сечение. К нижней части фермы стрелы приваривается четыре обрезка уголкового стали. Каждая ферма стрелы в зависимости от высоты сигнала бывает длиной до 18 м. Ферма состоит из трех частей по 6 м при высоте сигнала 30 м и из двух частей — при меньшей высоте сигнала.

Подъем мачты производится при помощи лебедок и крана, при этом стрела устанавливается в слегка наклонном положении в сторону сигнала с расстоянием между фермами у земли около 5 м. Поднимают верх сигнала на козлы высотой 1 м, устанавливаемые под места сварки ног внутренней пирамиды. В ямах устанавливают два упора для ног длиной 2,5 м, к упорам прикрепляют швеллер, смазываемый маслом для лучшего скольжения ног сигнала. Под ногами сигнала по направлению к яме выкапывают траншею для упора ноги сигнала в швеллер ниже поверхности земли.

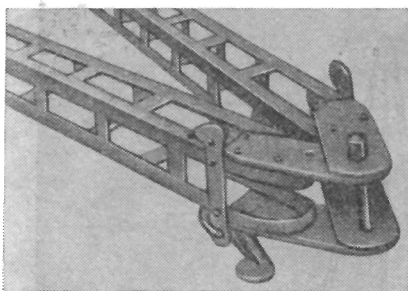


Рис. 25. Верхняя часть стрелы

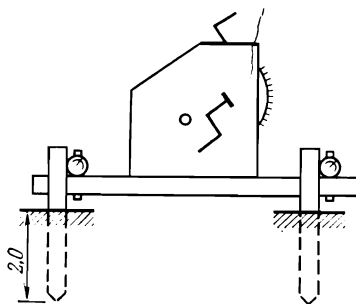


Рис. 26. Схема подъемной лебедки

Устанавливают подъемную и гарантийную лебедки, укрепляемые деревянными столбами (рис. 26), врытыми на глубину 2 м. Около подъемной лебедки при подъеме сигнала должны находиться четыре человека, у гарантийной — два.

§ 5. ЗАКЛАДКА ЦЕНТРОВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПУНКТОВ

Центры пунктов опорной геодезической сети 4 класса, 1 и 2 разрядов должны закладываться в соответствии с руководством [38], утвержденным Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР и являющимся обязательным для всех ведомств и учреждений СССР.

Центры пунктов опорной геодезической сети разделяются на грунтовые и стенные. Грунтовые центры закладываются на незастроенных территориях городов, поселков и промышленных площадок; на застроенных территориях, где это возможно, центры пунктов полигонометрии 2, 3, 4 классов, 1 и 2 разрядов закрепляют стенными знаками.

Стенные знаки. В настоящее время при насыщенности улиц подземными коммуникациями (газ, водопровод, канализация, теплофикация и различные кабельные прокладки), когда каждый участок в городе время от времени подвергается разрыву, проводимому для ремонта старых или прокладки новых подземных коммуникаций, а также при дорожном строительстве, грунтовые полигонометрические знаки либо попадают под бетон, асфальт, либо уничтожаются. Кроме того, снежный покров и обледенение в зимнее время значительно затрудняют поиск и использование грунтовых знаков. Закладка грунтовых знаков особенно усложняется на территории крупных городов из-за постоянно растущего подземного хозяйства и усовершенствованных дорожных покрытий, требуется много времени на согласование мест постановки грунтовых знаков. Наиболее устойчивы и долговечны знаки, закрепленные не в грунте, а в стенах капитальных зданий.

На застроенных территориях, где это оказывается возможным, центры пунктов полигонометрии 2, 3, 4 классов, 1 и 2 рядов закрепляются стенными знаками.

Некоторые особенности бетона и практические указания по работе с ним

Бетон относится к искусственным строительным материалам, состоящим из заполнителей (песок, гравий и щебень) и вяжущего вещества (цемента).

Прочность бетона определяется входящими в его состав материалами. Способ приготовления бетона существенно влияет на его прочность.

Вяжущие вещества и заполнители бетона. Глиноземистый цемент имеет шоколадный или стальной цвет. При употреблении его бетон получается высокой прочности, быстро схватывается и твердеет, не разрушается под действием минеральных вод. Этот цемент считается лучшим для закладки центров геодезических пунктов.

При затворении цемента водой цементное тесто вначале густеет, а затем начинает твердеть. Твердению цементного теста предшествует схватывание. Срок схватывания цемента — важный качественный показатель. Начало схватывания не должно наступать ранее 30 мин с момента затворения, а конец — не позднее 12 ч. Большинство отечественных сортов цемента полностью удовлетворяют этим требованиям. Процесс твердения бетона продолжается годами.

Сроки схватывания цемента зависят от температуры, окружающей среды и количества воды, на которой затворяется цемент. Ускорение схватывания достигается нагреванием воды или применением химических ускорителей, например хлористого кальция, который добавляется в воду, идущую на приготовление бетона, в количестве от 1,5 до 3 % от массы цемента. Замедлителем схватывания цемента является серная кислота, она добавляется в количестве 0,25—0,50 % от массы цемента.

Для изготовления центров геодезических пунктов не рекомендуется применять романцемент и силикатцемент.

Для бетона и железобетона применяется речной, морской и овражный (горный) песок. Применяется также искусственный песок, получаемый дроблением камней. Песок называется крупным при размерах зерен от 2 до 5 мм, средним — при размерах от 1 до 2 мм и мелким — от 0,15 до 1,00 мм. Песок не должен иметь илистых, земляных и глинистых примесей более 4 % веса. Примеси сернистых, сернокислых (гипс) соединений, серного колчедана (легко замечен по блеску) в песке должны совершенно отсутствовать. Органические вещества, такие как торф и перегной, являются наиболее опасными, так как присутствие гуминовых кислот совершенно исключает твердение цемента. При закладке центров геодезических пунктов применяют главным образом речной песок.

Щебень получается путем дробления горных пород или обожженного кирпича и имеет неправильную форму и острые грани. Прочность щебня из обожженного кирпича ниже прочности щебня из горных пород.

Гравий бывает овражный, речной или морской. Овражный гравий состоит из остроугольных зерен и часто бывает загрязнен примесями. Речной и морской гравий имеет округлую форму с гладкой поверхностью и обычно чище овражного. При отсутствии органических или илистых примесей его можно употреблять без промывки. Для лучшей связи между заполнителями в бетоне необходимо, чтобы зерна обладали неправильной угловатой формой и достаточно шероховатой поверхностью.

Вода является одной из составных частей бетона. Вступая в химическое соединение с цементом, она выявляет его активные вяжущие свойства. Вода должна быть чистой и не содержать органических и сернокислых соединений. Такова вода колодезная, водопроводная, дождевая, озерная. Для приготовления бетона не допускается использование сточных вод. Загрязненная вода не только замедляет схватывание раствора, но вызывает и понижение его прочности.

Свойства и качество бетона. В зависимости от количества воды бетонная смесь бывает разной густоты. С малым количеством воды бетон наиболее прочный, так называемый жесткий. Сжатый в руке комок смеси не оставляет на ней следов.

Жесткий бетон требует сильного трамбования вручную или специальными вибраторами, поэтому бетонирование конструкций с густорасположенной арматурой жестким бетоном затруднительно. Пластичный бетон содержит несколько больше воды, чем жесткий, и имеет вид густой массы, слегка расплывающейся. Иногда применяется бетон с повышенным содержанием воды, который легко расплывается и стекает с лопаты. Такой бетон называют литым. Увеличение воды в смеси влияет на скорость схватывания и нарастания прочности бетона. Потеря прочности пластичного или литого бетона предотвращается увеличением расхода цемента.

Для закладки центров и изготовления монолитов можно применять жесткий бетон. В этом случае достигается ускорение срока схватывания, увеличиваются скорость нарастания прочности и экономия цемента.

Качество бетона зависит от свойств составляющих бетонную смесь материалов, от количества, в котором они взяты, а также от тщательности приготовления и укладки бетона. При одинаковом количестве цемента бетон получается тем большей прочности, чем выше марка цемента. Чистота заполнителей, правильный подбор зерен гравия и песка по крупности, форме и поверхности зерен оказывают большое влияние на качество бетона.

Прочность бетона зависит также от тщательности перемешивания материалов, входящих в смесь. Бетон достигает наибольшей прочности, когда он твердеет во влажной среде. В первые дни, когда бетон, отвердевая, набирает прочность, следует тщательно предохранять его от высыхания, поливая водой и закрывая влажным войлоком, соломой, брезентом и пр. Значительно влияет на твердение и нарастание прочности бетона температура окружающей среды. Низкая температура приводит к замедлению твердения бетона. При температуре ниже 0° твердение бетона практически прекращается. Вскоре после приготовления бетон начинает терять подвижность. К потерявшему подвижность бетону нельзя прибавлять воду. Свежеуложенный бетон нельзя подвергать каким-либо сотрясениям. Полное затвердение бетона происходит в летний период через 2—3 недели, а осенью через 4—5 недель.

Прочность бетона уменьшается на 35 % от замены щебня гравием и на 20 % от замены твердого щебня слабым. При загрязненности щебня, гравия или песка (в пределах нормы) прочность бетона уменьшается на 10 %. На такой же процент уменьшается прочность бетона от замены песка с остроугольными краями на песок с зернами округлой формы.

Приготовление бетона. Количество материалов, которое требуется израсходовать на приготовление 1 м^3 бетона, вычисляют из соотношения количества цемента, песка и гравия или щебня между собой в общей смеси. Количество цемента при этом всегда принимают за единицу. Если бетон имеет состав 1:3:6, то это означает, что на 1 весовую единицу приходится 3 единицы песка и 6 единиц гравия.

Зимой закладка центров обычно не производится. Но если в виде исключения приходится производить указанные работы на открытом воздухе при температуре ниже $+3^{\circ}$, то необходимо подогревать строительные материалы (заполнители) и воду. После заливки и трамбования бетона формы следует покрыть войлоком, засыпать опилками и покрыть деревянными щитами. Кроме физических методов согревания бетона, следует использовать и химические ускорители для сокращения сроков схватывания и нарастания прочности бетона.

При массовой закладке центров геодезических пунктов на территории городов, поселков и промышленных предприятий их целесообразно изготовлять по чертежам на бетонных заводах или домостроительных комбинатах.

ГЛАВА 2

ТРИАНГУЛЯЦИЯ

Сети триангуляции 4 класса, 1 и 2 разрядов, развиваемые на территории городов, поселков, промышленных объектов и сельских населенных мест, должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 14.

Таблица 14

| Наименование элементов сети | Триангуляция | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-----------|
| | 4 класса | 1 разряда | 2 разряда |
| Длина стороны треугольника (наименьшая и наибольшая), км | 2—5 | 0,5—5 | 0,25—3 |
| Относительная ошибка исходной (базисной) стороны | 1/200 000 | 1/50 000 | 1/20 000 |
| Относительная ошибка определяемой стороны в наиболее слабом месте | 1/70 000 | 1/20 000 | 1/10 000 |
| Наименьшее значение угла треугольника между направлениями данного класса (разряда), угл. градус: | | | |
| в сплошной сети | 20 | 20 | 20 |
| связующего в цепочке треугольников | 30 | 30 | 30 |
| во вставке | 30 | 30 | 20 |
| Предельное значение невязки в треугольнике не должно превышать, угл. с | 8 | 20 | 40 |
| Средняя квадратическая ошибка угла (по невязкам треугольника), угл. с | 2 | 5 | 10 |
| Число треугольников между исходным пунктом и исходной стороной | 10 | 10 | 10 |

§ 6. ИЗМЕРЕНИЕ БАЗИСОВ И ВЫХОДНЫХ СТОРОН

Приборами для измерения базисов и сторон в сетях триангуляции 4 класса, 1 и 2 разрядов служат различные светодальномеры или 24-метровые инварные проволоки (базисный прибор

Таблица 15

| Обозначение вершин | Измеренные левые углы и поправки к ним | Исправленные левые углы | Условные азимуты α | Длины отрезков s , м |
|--------------------|----------------------------------------|-------------------------|---------------------------|------------------------|
| Теректы | 352°31'09,66" | 352°31'10,27" | 0°00'00,00" | |
| № 2 | +0,61 190 59 18,43 | 190 59 19,03 | 352 31 10,27 | 7 370,362 |
| № 1 | +0 60 179 48 38,57 | 179 48 39,17 | 3 30 29,30 | 9 721,670 |
| Керере — ТЭС | +0,60 356 40 50,93 | 356 40 51 53 | 3 19 08,47 | 6 295,978 |
| | +0 60 | | 0 00 00,00 | |
| | 1079°59'57,59" | 1080°00'00,00" | | 23 388,010 |

$$f_{\beta} = -2,41''; m_{\beta} = 2''; [m_s^2 \cos^2 \alpha] = 6,84; [y^2] = 1,06; \frac{[y]^2}{4} = 0,45;$$

$$23,5 \cdot m_{\beta}^2 \cdot \left([y^2] - \frac{[y]^2}{4} \right) = 57,34;$$

типа БП-2). Длина измеряемой стороны должна быть не менее: 2 км для триангуляции 4 класса; 1 км для 1 разряда и 0,5 км для 2 разряда. В условиях сложной местности измерение выходных сторон может производиться по ломаной линии, при этом число изломов должно быть не более двух.

При измерении ломаного базиса или выходной стороны обработка отрезков ломаной ничем не отличается от обработки базисов. Таким образом определяют длину каждого отрезка ломаной, спроектированную на эллипсоид. После этого вычисляют длину замыкающей, т. е. определяют длину базиса или выходной стороны.

Длину замыкающей ломаного базиса (или выходной стороны) вычисляют по формуле

$$S = [s \cos \alpha],$$

где S — длина замыкающей, s — длины отдельных отрезков ломаной; α — углы между отрезками ломаной и замыкающей или условные азимуты отрезков, считаемые от замыкающей, принятой за нулевой азимут.

До вычисления длины замыкающей необходимо проверить обработку журнала угловых наблюдений, выписать значения измеренных углов, подсчитать невязку в сумме углов сомкнутой фигуры и распределить ее поровну на все углы. По исправленным углам вычисляют условные азимуты.

Вычисление длины замыкающей с оценкой точности стороны приводится в табл. 15. Схема рассчитана на применение семи-

| $\cos \alpha$ | $\sin \alpha$ | $s \cos \alpha, \text{ м}$ | $s \sin \alpha, \text{ м}$ | $y, \text{ км}$ | $m_s, \text{ мм}$ | $m_s \cos \alpha, \text{ мм}$ |
|---------------|---------------|----------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| 0,991 4893 | —0,130 1884 | +7307,6351 | —959,536 | 0,00 | 1,92 | 1,90 |
| 0,998 1261 | +0,061 1903 | +9703,4526 | +594,972 | —0,96 | 1,28 | 1,28 |
| 0,998 3227 | +0,057 8954 | +6285,4178 | +364,508 | —0,37 | 1,26 | 1,26 |
| | | | | 0,00 | | |
| | | 23 296,506 | —0,156 | —1,33 | | |

$$\sigma = E_3^2 + E_4^2 + E_5^2 + E_6^2 = 3,21^2 + 3,89^2 + 18,61^2 + 4,13^2 = 388,9 \text{ мм};$$

$$m_s^2 = 6,8 + 57,3 + 388,9 = 453,0;$$

$$m_s \sqrt{453,0} = 21,3 \text{ мм}; \quad S = 23296,506 \text{ м} \pm 21,3 \text{ мм}$$

значных таблиц натуральных значений тригонометрических функций проф. Л. С. Хренова.

В последующем производят оценку точности замыкающей по формуле, разработанной проф. В. В. Поповым:

$$m_s^2 = [m_s^2 \cos^2 \alpha] + 23,5 \cdot 10^{-6} m_\beta^2 \left([y^2] - \frac{[y]^2}{n} \right) + \sigma^2,$$

в которой m_s — средняя квадратическая ошибка длины замыкающей, мм; m_s — средние квадратические случайные ошибки в длинах отдельных отрезков, представляющие суммарное влияние ошибок E_1 и E_2 , выраженные в мм; m_β — средняя квадратическая ошибка измеренного угла, угл. с; y — расстояние от вершины ломаной до замыкающей, км; n — число вершин ломаной, включая начальную и конечную точки; σ — абсолютное значение суммарной систематической ошибки (мм), полученной в результате учета элементарных систематических ошибок E_3 , E_4 , E_5 и E_6 , рассчитанных на длину замыкающей. Ошибку m_β вычисляют по формуле

$$m_\beta = \sqrt{\frac{[f_\beta^2/n]}{r}},$$

где f_β — угловые невязки всех ломаных базисов, для которых углы измерялись одинаковым способом; n — число углов в соответствующих ломаных, включая примычные углы; r — число ломаных.

При наличии одного ломаного базиса для подстановки в формулу оценки точности замыкающей следует взять среднюю квадратическую ошибку, соответствующую данному способу измерения углов.

В том случае, когда измеряется вспомогательная прямая для последующего редуцирования ее к центрам базиса C_1C_2 , вычисления производят по формулам проф. В. В. Попова.

Измерение сторон светодальномерами производится соответствующим числом приемов в зависимости от класса и разряда триангуляции и типа приборов.

| | Число приемов в триангуляции | | |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|
| | 4 класса | 1 разряда | 2 разряда |
| Светодальномеры: с фотоэлектрической регистрацией светового потока | 6 | 4 | 3 |
| Светодальномеры: с визуальной фиксацией светового потока | 12 | 8 | 6 |

Приемом считается необходимое число отсчетов, позволяющих однозначно определить измеренное расстояние.

Предельное отклонение вычисленного значения N (числа длин волн в измеряемом расстоянии) от целого числа не должно превышать 0,3 при визуальной фиксации светового потока.

Температуру и давление воздуха при измерении выходной стороны длиной более 2 км определяют на обоих концах изме-

ряемой линии, в остальных случаях определение делают на станции, где установлен светодальномер.

Предельные расхождения в длинах сторон, определенных на различных частотах, в зависимости от расстояний имеют значения:

| | | | |
|---------------------------------------|--------|---------|-----------|
| Определяемое расстояние, км | до 1,0 | 1,0—2,0 | свыше 2,0 |
| Предельное расхождение, см | 4 | 5 | 6 |

Компарирование приборов. При измерении выходных сторон инварными проволоками их эталонируют на стационарных компараторах, имеющихся в Москве, Ленинграде и других городах, не ранее чем за 2 месяца до измерения сторон и не позднее чем через 2 месяца после измерения.

В результате компарирования на каждую проволоку выдается уравнение (свидетельство), определяющее ее длину на данное время и термические коэффициенты, если они были неизвестны ранее (не даны заводом-изготовителем).

Для инварной ленточки, служащей для измерения коротких пролетов базисов, определение термических коэффициентов не обязательно, но эталонирование производится совместно с инварными проволоками.

При измерении выходных сторон (базисов) инварными проволоками для контроля устойчивости их длины устраивается полевой компаратор длиной 120—240 м (кратной 24 м). Длина компаратора закрепляется центрами и определяется всеми имеющимися проволоками в прямом и обратном направлениях. Измерения эти производятся до и после измерения выходной (базисной) стороны.

При измерении базисов светодальномерами для всех светодальномеров в начале и конце полевого сезона (не реже одного раза в 6 мес) следует производить контроль масштабных частот на специальном компараторе ЦНИИГАиК. Перед началом полевого сезона частоты выставляются в номинал с точностью 10 Гц.

Не менее трех раз в год в полевых условиях определяется постоянная поправка светодальномера на полевом компараторе длиной 400—600 м, измеренном инварными проволоками с погрешностью не более 2 мм.

Измерение базисов и сторон выполняется согласно действующим инструкциям и в зависимости от местных условий. Методы измерения базисов могут быть объединены в следующие группы:

- измерение по секциям с чередованием проволок;
- измерение по секциям без чередования проволок;
- измерение сквозными ходами;
- измерение ломаного базиса или выходной стороны;
- измерение вспомогательной прямой, с последующим редуцированием к центрам базиса.

Для метода измерения по секциям с чередованием проволок базис делят на части, и каждую часть измеряют в прямом и обратном направлениях, чередуя номера проволок:

| | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|
| Части базиса (стороны) | I | II | III |
| № проволок в ходе прямо | 1, 2 | 5, 6 | 3, 4 |
| » » » » обратно | 3, 4 | 1, 2 | 5, 6 |

Для измерений в прямом и обратном направлениях желательно иметь проволоки с разными температурными коэффициентами.

Расхождения (в мм) в длинах секций по каждой проволоке (с учетом поправок за длину проволок и температуру) не должны превышать $4\sqrt{K}$, где K — длина секции в км.

Измерения выходных сторон сквозными ходами должны производиться независимо друг от друга. Измерять выходные стороны (базисы) рекомендуется при температуре выше нуля. При необходимости производят измерения при температурах ниже нуля. В этом случае применяют проволоки с температурными коэффициентами, рассчитанными для отрицательных температур.

При измерениях проволоками применяются блочные станки конструкций Э. К. Хускевадзе и ЦНИИГАиК.

Нулевые концы шкал проволок всегда должны быть сзади по ходу измерения. Измерение длины каждого пролета производится с точностью 0,1 мм при трех сдвигах шкалы. Колебания разностей (п—з) должны быть в пределах 0,3 мм, а отклонение разностей средних значений (п—з) между проволоками не более $\pm 0,2$ мм.

Температура воздуха определяется через каждые 5 пролетов. Их расположение нумеруют и зарисовывают в журнале.

Измерение базисных сторон в триангуляции 1 и 2 разрядов выполняется с соблюдением требований, предъявляемых к измерению длин сторон полигонометрии соответственно 4 класса и 1 разряда.

Нивелирование производится при помощи легкой двусторонней рейки длиной не более 1,8 м, которая устанавливается на целике при помощи круглого уровня. Нивелирование должно предшествовать измерению базиса в прямом направлении и незначительно отставать от него при измерении базиса в обратном направлении. Нивелирование целиков производится геодезическими приборами с точностью IV класса.

Расстановка штативов производится при помощи теодолита вешением на себя так, чтобы расстояния между ними отличались от 24 м не более чем на 3—4 см. Теодолит переносится дальше на расстояние не более 300 м по створу, который заранее закреплен кольями.

Обработка результатов измерений базисов и сторон сводится к обработке журналов: поштативной нивелировки базиса, привязки базиса к нивелирной сети и измерения базиса.

Обработка журналов поштативной нивелировки базисов состоит из проверки исправленных отсчетов по красной стороне рейки путем умножения его на 1,1. Вычисляют превышения по черной и красной сторонам рейки, округляют до десятых долей

Таблица 16

| Наименование точки | Число штативов | Превышение, м | Высота над уровнем Балтийского моря, м | Примечание |
|--------------------------------------------|----------------|---------------|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Марка № 18 044 | +92 | —9,683 +3 | +122,530 | Сумма условных отметок штативов — 1 597 127,9 мм от пункта Нехотово Число штативов — 342 |
| Центр сигнала Зимняк | 1 | +1,450 +0 | +112,850 | |
| Оптический центрир над центром п. Зимняк | 342 | +14,513 +9 | +114,300 | Среднее превышение —1 597 127,9/342= —4670,0 мм |
| Оптический центрир над центром п. Нехотово | 1 | —1,378 +0 | +128,822 | Средняя высота базиса над уровнем Балтийского моря $H_m = 127,444$ — |
| Центр сигнала Нехотово | 39 | +12,317 +3 | +127,444 | —4,670 = 122,774 м |
| Марка № 18 040 | | | —139,764 | |

миллиметра и берут среднее значение для прямого и обратного ходов.

Для контроля вычисления превышений (главным образом знаков) следует подсчитать (во вторую руку) на каждой станции превышение между крайними штативами, которое должно быть равно сумме всех отдельно вычисленных превышений для каждого пролета. Такой контроль достаточно провести по отсчетам одной из сторон рейки в прямом и обратном направлениях. В такой же последовательности производят обработку журналов привязки к нивелирной сети. По формуле $\Sigma h = (\Sigma z - \Sigma p)/2$ получают суммарное превышение по всему ходу.

Вычисление отметок базисных пунктов представлено в табл. 16.

В дальнейшем вычисляют поправки за нивелирование (до сотых долей мм) как полных пролетов, так и остатков по формуле

$$\Delta_h = -\frac{h^2}{2l} - \frac{h^4}{8l^3},$$

если $h^2/2l = \Delta_1$, то $\Delta_h = -\Delta_1 - (\Delta_1^2/2l)$.

Согласно принятому в СССР стандарту, исходные длины мерных приборов даются для температуры +20 °С. Перед началом работы определяют длину проволок в необходимом диапазоне температур. Поправки за температуру проволоки определяют по формуле (например, для проволоки 19):

$$\Delta_{t_i} = 6,1 (t_i - 20) - 0,015 (t_i^2 - 400) + 0,00175 (t_i^3 - 8000).$$

Для этой проволоки поправка за температуру +10 °С $\Delta_{t_{10}} = -68,7$ мкм, $\Delta_{t_{11}} = -62,4$ мкм и т. д.

Таблица 17

| Обозначение величин | Логарифмы |
|------------------------|--------------------------------|
| 1 | 3.19481 |
| R_{α} | |
| H_m | 2.08920 |
| D_0' | 3.90976 |
| Δ_H | 9.19377 |
| | $\Delta_H = 0,15623 \text{ м}$ |

Опыт работы с проволоками показал, что для базиса 1 класса следует считать величину изменения в длинах проволок между первым и вторым эталонированиями допустимой до ± 30 мкм, для базиса 2 класса до ± 50 мкм и для базиса 3 класса до ± 100 мкм. Более значительные изменения указывают либо на плохое качество проволок, либо на недостаточно бережное обращение с ними в процессе работы. Интерполирование результатов эталонирования проволок на период измерения базиса, как не имеющие достаточных оснований, не допускается.

Кроме поправок за компарирование, температуру и нивелирование вводится поправка за приведение к уровню моря (переход на поверхность эллипсоида Красовского). В базисы триангуляции 1 и 2 классов вводятся еще поправки за несимметрию цепной линии, за наклон шкал, за изменение силы тяжести. Последняя поправка для базисов, расположенных севернее места компарирования проволок, всегда положительна, а для базисов, расположенных южнее, всегда отрицательна.

Вычисление поправки за приведение к уровню моря выполняют по формуле

$$\lg \Delta_H = \lg \frac{1}{R_{\alpha}} + \lg H_m + \lg D_0'$$

где $\varphi_m = 58^{\circ}31'$; $\alpha = 37^{\circ}08'$; $H_m = +122,8$ м; $D_0' = 8123,8$ м. Вычисление выполнено в табл. 17.

Пример окончательного вычисления длины базиса приведен в табл. 18.

При производстве работ в городах или на территориях промышленных объектов, высота которых более 200 м, поправки за приведение базисов к уровню моря не определяются, а приводятся к средней высоте, на которой расположен данный пункт.

Оценка точности измерения базисов и сторон. На результаты измерения базиса, кроме случайных ошибок, существенное влияние оказывают и систематические ошибки. При правильной организации измерений (подбор проволок с различными коэффициентами расширения, измерение в прямом и обратном направлениях, перемена мест наблюдателей) влияние систематических ошибок может быть сведено к минимуму.

Случайной ошибкой собственно измерения базиса служит величина E_1 , определяемая формулой

$$E_1 = \sqrt{\frac{\Sigma \delta_1^2}{12} + \frac{\Sigma \delta_2^2}{12} + \dots + \frac{\Sigma \delta_n^2}{12}} = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{12}},$$

Таблица 18

| Наименование величины | Значение величины, мм |
|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| I треть из 116 целых пролетов, не приведенных к горизонту | 2 784 573,79 |
| II треть из 113 » » » » » » | 2 713 101,29 |
| III треть из 109 » » « » » » | 2 616 678,14 |
| из 338 » » » » » » | 8 114 353,22 |
| Поправка за приведение к горизонту ($\Sigma \Delta_h$) | —487,53 |
| Остаток (короткие пролеты), приведенный к горизонту | +9942,69 |
| Длина базиса, не приведенная к уровню моря (D'_0) | 8 123 808,38 |
| Поправка за приведение к уровню моря (Δ_H) | —156,23 |
| Длина базиса, приведенная к уровню моря (D_0) | 8 123 652,15 |
| Суммарная поправка за несимметрию цепной линии, наклон лекал и изменение силы тяжести | +0,12 |
| Окончательная длина базиса (D) | 8 123 652,27 |
| | 8 123 652±6 мм |
| lg окончательной длины базиса | 39 097 513 |

где δ — уклонения результатов измерений каждой проволоки от среднего значения для секции по всем проволокам.

Эта формула справедлива для всех базисов, измеряемых по секциям четырьмя разными проволоками. Для данного примера $E_1=3,75$ мм. К категории случайных ошибок относится также ошибка от погрешностей в нивелировании целиков штативов E_2 , вычисляемая по формуле $E_2=0,0137\sqrt{\Sigma\Delta_h}$ (для 24-метровых проволок), где $\Sigma\Delta_h$ — поправка за приведение базиса к горизонту, мм.

К случайным ошибкам относится также ошибка E_3 , обусловленная погрешностями в определении термических коэффициентов. Лабораторные определения дают для нее величину 0,5 на 1 °C на 24 м. Так как средняя температура при измерении базиса $t_m=12,4$ °C, а при компарировании $t_k=16,8$ °C, то $E_3=0,5(12,4-16,8)=-2,2$ мм. Ежегодные сравнения жезла № 541 во ВНИИМ показывают, что длина его определяется с ошибкой, не превышающей 0,5 мкм.

Несогласие между результатами первого и второго эталонирования проволок указывает на источник ошибок из-за изменения их длин. В том случае, если для вычисления базиса взяты средние арифметические из длин, полученные при первом и втором эталонированиях, и проволоки использовались при измере-

нии базиса равномерно, то среднее значение указанной ошибки будет

$$E_s = \sqrt{\frac{[d^2]}{4n}},$$

где d — разность между значениями длин каждой проволоки, полученная при первом и втором эталонированиях; n — число проволок.

Для базиса на каждые 24 м имеем ошибку

$$E_s = \sqrt{(1^2 + 53^2 + 21^2 + 14^2 + 12^2 + 34^2)/24} = 14,1 \text{ мм.}$$

Совокупное влияние всех перечисленных случайных ошибок определяют по формуле

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2 + E_4^2 + E_5^2} = 8\,124\,000/1\,300\,000 = 6,25 \text{ мм.}$$

Для ломаных базисов оценка точности производится по формуле

$$m_s^2 = [m_s^2 \cos^2 \alpha] + 23,5 \cdot 10^{-6} m_p^2 \left([y^2] - \frac{[y]^2}{n} \right) + \sigma^2,$$

разработанной проф. В. В. Поповым,
где

$$\sigma^2 = E_3^2 + E_4^2 + E_5^2 = (2,54)^2 + (3,95)^2 + (12,20)^2 = 170,9;$$

$$[m_s^2 \cos^2 \alpha] = 39,7; [y^2] = 5,23 \frac{[y]^2}{9} = 0,03; m_p = 2'';$$

$$23,5 m_p^2 \left([y^2] - \frac{[y]^2}{n} \right) = 489.$$

Тогда $m_s^2 = 39,7 + 489 + 170,9 = 699,6$ или $m_s = \sqrt{699,6} = 26,4 \text{ мм}$
и $S = 24\,393, 0,82 \text{ м} \pm 26,4 \text{ мм.}$

$$E_2^2 = \eta^2 \frac{2}{l} \Sigma \frac{h^2}{2l}; \quad E_2 = 0,0137 \sqrt{\Sigma \Delta_h}.$$

Пример вычисления для $E_1 = 3,75 \text{ мм}$ приведен в табл. 19.

Таким же способом определяют ошибки $m_{II} = 3,63$; $M_{II} = 1,81$; $m_{III} = 5,39$; $M_{III} = 2,70$ для остальных третей базиса. Тогда средняя квадратическая ошибка

$$m = \sqrt{m_I^2 + m_{II}^2 + m_{III}^2} = 7,51$$

и

$$E_1 = \sqrt{M_I^2 + M_{II}^2 + M_{III}^2} = \sqrt{(1,88)^2 + (1,81)^2 + (2,70)^2} = 3,75.$$

Таблица 19

| № секции | n×24, м | Прямой ход | | Обратный ход | | № проволоки | L, мм | δ |
|----------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|----------------|---------------------------|
| | | Проволока № 835 | Проволока № 836 | Проволока № 143 | Проволока № 144 | | | |
| 1 | 960 | +332,51 | +334,17 | +331,33 | +334,48 | 835 | 2784 572,66 | —1,13 |
| 2 | 912 | —253,20 | —251,91 | —254,25 | —251,07 | 836 | 576,19 | —2,40 |
| 3 | 912 | +493,35 | +493,93 | +491,89 | +493,92 | 143 | 568,97 | —4,82 |
| | 2784 | +572,66 | +576,19 | +568,97 | +577,33 | 144 | 577,33 | +3,54 |
| Среднее: | | | | | | | 573,79 | $\Sigma \delta^2 = 42,80$ |

$$m_1 = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}} = \sqrt{\frac{42,80}{3}} = 3,77 \text{ мм}; \quad M_1 = \frac{m_1}{\sqrt{4}} = 1,88 \text{ мм}$$

§ 7. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Теодолиты, их устройство и поверки

Теодолит Т2 (рис. 27), точный оптический неповторительный, предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции и полигонометрии 3 и 4 классов, а также для астрономических наблюдений. Зрительная труба — астрономическая, прямая, центральная, через зенит переводится обоими концами. Уровень при алидаде вертикального круга расположен внутри корпуса теодолита. Наблюдение за совмещением концов пузырька уровня производят через поворотную призму-лупу, расположенную на боковой крышке теодолита.

Центрирование теодолита осуществляется при помощи оптического центрира, помещенного внутри алидадной части, благодаря чему поверка его центрирования значительно упрощается. В теодолите Т2 за основное положение принят круг слева от наблюдателя. Для получения отсчетов по горизонтальному и вертикальному кругам служит оптический микрометр.

На рис. 28 изображено поле зрения отсчетного микроскопа теодолита. В левом большом окне изображения штрихов разделены горизонтальной чертой. Верхняя часть дает прямое изображение одной стороны круга, а нижняя часть дает изображение диаметрально противоположной стороны круга. В правом малом окне видны шкала микрометра и горизонтальный неподвижный индекс, число целых единиц отсчитывают по левому ряду чисел, а по правому — десятки секунд.

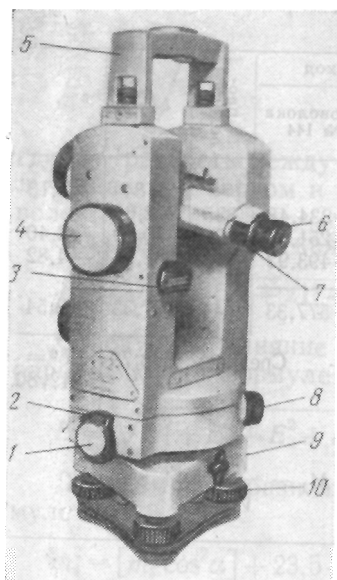


Рис. 27. Теодолит Т2:

1 — наводящий винт алидады горизонтального круга; 2 — рукоятка переключателя лимба; 3 — ручка переключателя; 4 — рукоятка микрометра; 5 — ручка для переноса; 6 — окуляр; 7 — окуляр оптического микрометра; 8 — рукоятка перевода горизонтального круга; 9 — корпус подставки; 10 — подъемный винт

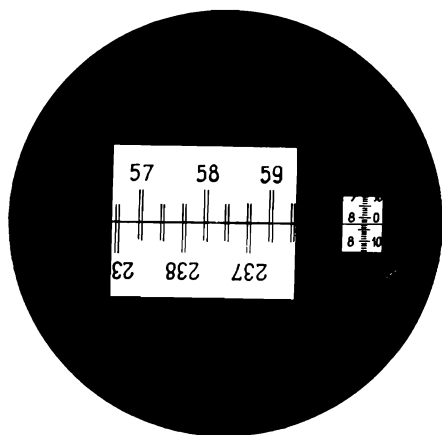


Рис. 28. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т2 с отсчетом по горизонтальному кругу

Перед отсчетом по горизонтальному кругу рукоятку переключателя устанавливают горизонтально, при этом поле зрения микроскопа будет иметь белый фон, а видимые штрихи горизонтального круга будут двойными. Вращением микрометра тщательно совмещают штрихи верхнего и нижнего изображений частей круга в большом окне.

Отсчет числа градусов производится по верхнему правому изображению. Число десятков минут равно числу интервалов, заключенных между верхним и нижним оцифрованными штрихами, отличающимися между собой на 180° ; при этом нижний оцифрованный штрих всегда будет располагаться вправо от верхнего или может быть совмещен с ним. Единицы минут отсчитывают в малом окошке по левому ряду цифр, десятки секунд — по правому ряду цифр. Отсчет по горизонтальному кругу $57^\circ 58' 02,4''$ (см. рис. 28).

При вертикальном круге теодолита имеется контактный уровень. Для отсчета по вертикальному кругу рукоятку переключателя поворачивают до щелчка в вертикальное положение, при этом поле зрения микроскопа будет иметь желто-зеленый фон, а видимые штрихи лимба будут одинарными. Перед отсчетом по вертикальному кругу необходимо совместить концы пузырька контактного уровня, наблюдая их через лупу-призму. Отсчеты

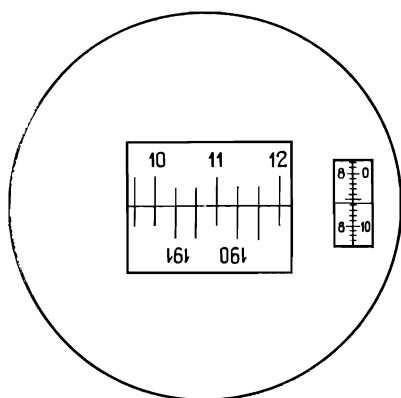


Рис. 29. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Т2 с отсчетом по вертикальному кругу

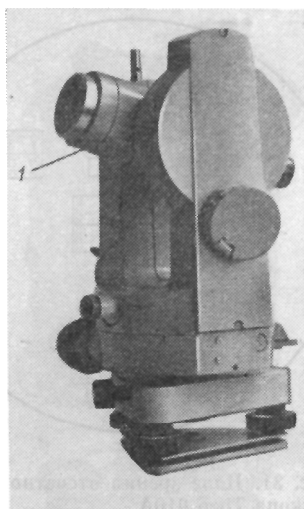


Рис. 30. Теодолит Theo 010A

по вертикальному кругу производят аналогично ($10^{\circ}48'05,8''$ — см. рис. 29). Место зенита MZ вычисляют по формуле $MZ = (KP + KL - 360^{\circ})/2$.

При использовании уровня на зрительной трубе теодолитом Т2 можно выполнять нивелирование IV класса горизонтальным лучом. Для выполнения работ по трехштативной системе имеются комплект визирных целей (КВЦ), марки, оптические центры. С помощью дальномерной насадки типа ДНР-06 и двухметровой базисной рейки измеряют расстояния параллактическим методом. Теодолитом можно работать при температуре от -40 до $+50^{\circ}C$.

Теодолит Theo 010A (рис. 30), оптический, изготавливаемый Народным предприятием «Карл Цейс» (Йена, ГДР), по точности и назначению аналогичен теодолиту Т2, применяется для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции 4 класса и полигонометрии 1 и 2 разрядов.

Зрительная труба 1 дает прямое изображение визирных целей, переводится через зенит обоими концами. Сетка нитей, кроме креста с одинарными и двойными горизонтальными и вертикальными штрихами, имеет дальномерные штрихи ($K=100$) для измерения расстояний по горизонтальной и вертикальной рейкам.

Уровень при вертикальном круге заменен компенсатором. Отсчитывание по лимбу (рис. 31) сводится к четырем действиям: совмещение диаметрально противоположных штрихов, отсчет градусов, отсчет десятков минут непосредственно в одном из окошек, отсчет минут и секунд по шкале микрометра ($112^{\circ}27'35,0''$). Поле зрения при отсчете по горизонтальному кругу имеет синюю окраску, а по вертикальному — желтую. Это

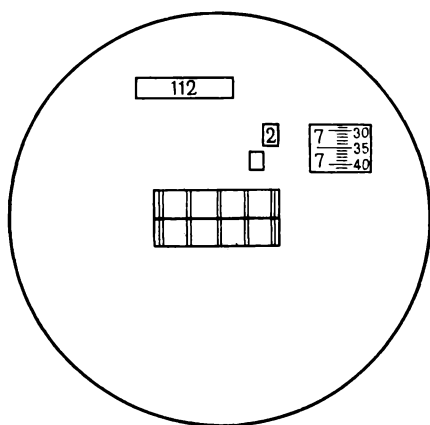


Рис. 31. Поле зрения отсчетного микроскопа Theo 010А

создает возможность не только различать круги, но и повышает контрастность изображения штрихов.

Центрирование теодолита осуществляется при помощи оптического центрира.

Теодолит приспособлен для астрономических наблюдений, для этого на окуляр трубы надевают призму. Для наблюдения на Солнце используют светофильтр. Прибор позволяет применять трехштативную систему, а компенсационное устройство позволяет выполнять нивелирование IV класса.

Теодолит Т5 (рис. 32), оптический, повторительного типа, применяется для измерения горизонтальных и вертикальных углов в триангуляции и полигонометрии 1 и 2 разрядов, в теодолитных ходах при различного рода инженерных изысканиях.

Модификацией теодолита Т5 является Т5К с компенсатором при вертикальном круге (рис. 33).

Зрительные трубы теодолитов Т5 и Т5К прямые, центральные, с внутренней фокусировкой, переводятся через зенит обоими концами. Компенсационное устройство вертикального круга дает возможность производить техническое нивелирование горизонтальным лучом. Оптический центрир вмонтирован в алидадную часть горизонтального круга теодолита. За основное положение при измерении углов принят вертикальный круг справа от наблюдателя.

Для снятия отсчетов служит оптический микрометр, расположенный рядом с окуляром зрительной трубы. В поле зрения отсчетного микроскопа (рис. 34) отсчет по горизонтальному кругу $11^{\circ}57,6'$, отсчет по вертикальному — $4^{\circ}02,5'$.

Теодолиты Т5 и Т5К приспособлены для работы по трехштативной системе и для измерения расстояний дальномерными насадками ДНР-06, ДН-08 и квантовыми насадками типа СМН5.

Место нуля вертикального круга определяют по формуле $МО = (КЛ + КП + 180)/2$, вертикальные углы вычисляют по формулам $\nu = КП - МО = МО - КЛ - 180^{\circ}$ или $(КП - КЛ - 180^{\circ})/2$.

Нитяным дальномером расстояния измеряют по вертикальной рейке с сантиметровыми делениями, используя формулы: $S = KB + \delta s_{\nu}$ или $S = KB \cos \nu$, где K — коэффициент дальномера; B — разность отсчетов по рейке; δs_{ν} — поправка за наклон линии визирования; s — горизонтальное проложение.

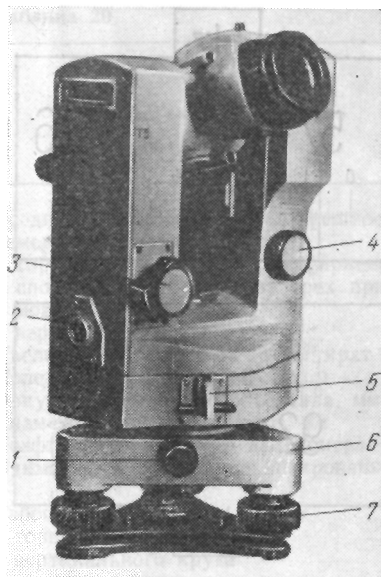


Рис. 32. Теодолит Т5:

1 — закрепительный винт подставки теодолита; 2 — оптический центрир; 3 — наводящий винт; 4 — установочный винт уровня; 5 — клавиша; 6 — корпус подставки; 7 — подъемный винт

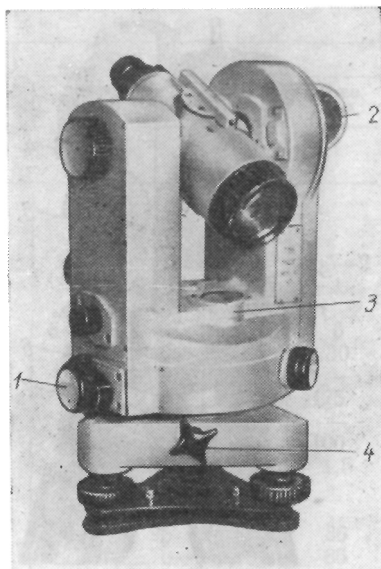


Рис. 33. Теодолит Т5К:

1 — закрепительный винт лимба; 2 — ил-люминатор; 3 — круглый уровень; 4 — за-крепительный винт подставки

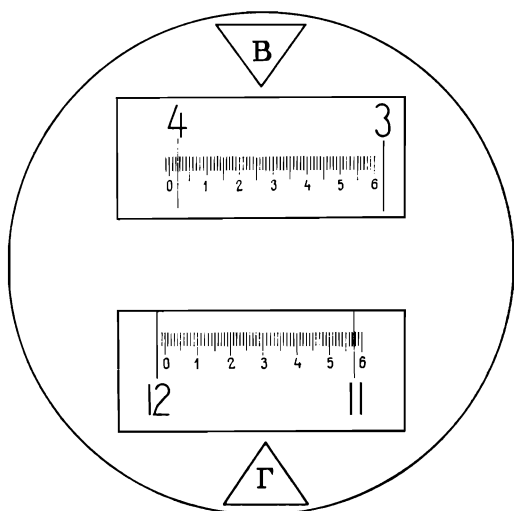


Рис. 34. Поле зрения от-счетного микроскопа тео-долита Т5К

Теодолит Theo 020A, оптический, шкаловой, повторительного типа, выпускается Народным предприятием «Карл Цейс» (Йена, ГДР) (рис. 35), по точности и назначению аналогичен

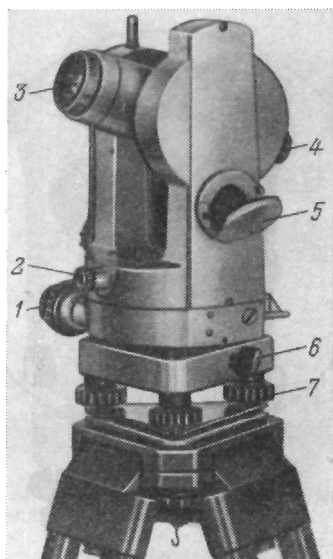


Рис. 35. Теодолит Theo 020A:

1 — наводящий винт алидады горизонтального круга; 2 — оптический центрир; 3 — объектив; 4 — окуляр; 5 — зеркало; 6 — закрепительный винт подставки; 7 — подъемный винт

Рис. 37. Веха с круглым уровнем →

теодолитам Т5 и Т5К. За основное положение принят круг слева от наблюдателя.

В поле зрения отсчетного микроскопа видны одновременно изображения штрихов горизонтального и вертикального кругов (рис. 36). Уровень при вертикальном круге заменен самоустанавливающимся компенсатором, который при измерении вертикальных углов не требует от наблюдателя приведения пузырька уровня в нуль-пункт перед снятием отсчетов.

С помощью теодолита Theo 020A можно выполнять нивелирование горизонтальным лучом, для этого необходимо установить отсчет по микроскопу, равный месту нуля.

Теодолит приспособлен для работы по трехштативной системе. При отсутствии приборов для измерения углов по трехштативной системе используют вехи с круглым уровнем (рис. 37).

Технические характеристики теодолитов Т2, Т5, Т5К, Theo 010А, Theo 020А приведены в табл. 20.

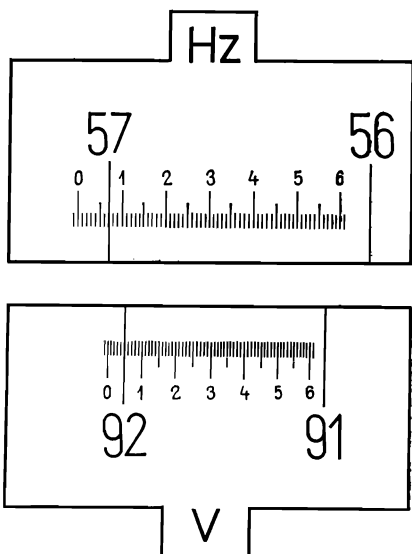


Рис. 36. Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита Theo 020A

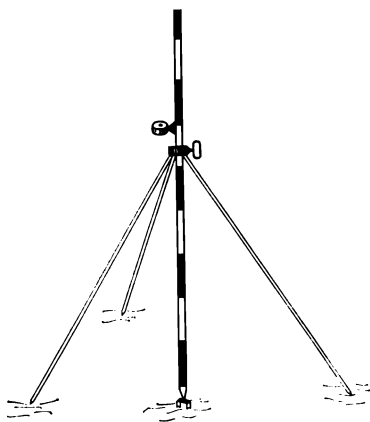


Таблица 20

| Техническая характеристика | Тип теодолита | | | | |
|----------------------------------------------------------------|---------------|---------|--------|-----------|-----------|
| | T2 | T5 | T5K | Theo 020A | Theo 010A |
| | СССР | | | ГДР | |
| Средняя квадратическая погрешность измерения, угл. с: | | | | | |
| горизонтального угла одним приемом | 2—3 | 5—7 | 5 | 3 | 1,5—2 |
| способом повторений из трех приемов | — | 3—4 | 3—4 | 1 | 1 |
| вертикального угла | 2,9 | 8—10 | 8 | 6—8 | 6 |
| Увеличение зрительной трубы, крат | 25 | 25 | 27 | 25 | 30 |
| Поле зрения зрительной трубы | 1°30' | 1°30' | 1°30' | — | — |
| Фокусное расстояние объектива, мм | 250 | 250 | 218,5 | 175 | 175 |
| Диаметр выходного зрачка, мм | 1,4 | 1,4 | 1,4 | — | — |
| Коэффициент нитяного дальномера | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Наименьшее расстояние визирования, м | 1,5 | 1,5 | 2 | 1,5 | 1,5 |
| Рабочий диаметр, мм: | | | | | |
| горизонтального круга | 90 | 90 | 95 | 86 | 86 |
| вертикального круга | 65 | 70 | 70 | 86 | 86 |
| Цена деления кругов | 20' | 1° | 1° | 1° | 1° |
| Увеличение микроскопа, крат | 45,6 | 65 | 70 | — | — |
| Цена наименьшего деления шкалы микроскопа | 1" | 1' | 1' | 1' | 1" |
| Точность отсчета | 0,1" | 0,1' | 0,1' | 0,1" | 0,1" |
| Цена деления уровня при алидаде, угл. с: | | | | | |
| горизонтального круга | 15 | 45 | 30 | 30 | 20 |
| вертикального круга | 15 | 15 | — | — | — |
| Цена деления круглого уровня | — | — | 10' | 8' | 8" |
| Диапазон действия компенсатора, угл. мин | — | — | 3,5 | 4 | 4 |
| Точность компенсации, угл. с | — | — | 2 | 1 | 1 |
| Оптический центрир: | | | | | |
| увеличение, крат | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,1 | 2,1 |
| поле зрения | 4°30' | 4°30' | 4°30' | — | — |
| пределы фокусирования, м | От 0,3 | От 0,35 | От 0,3 | 0,5 | 0,5 |
| Масса, кг: | | | | | |
| теодолита | 5,2 | 3,5 | 3,5 | 4,0 | 4,5 |
| фуляра | 9,5 | 3,5 | 3,0 | 4,4 | 4,3 |
| штатива | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,6 | 5,8 |
| Размеры, мм: | | | | | |
| высота теодолита | 363 | 280 | 265 | 295 | 290 |
| расстояние от головки штатива до оси вращения зрительной трубы | 225 | 230 | 220 | 224 | 234 |

Поверки, юстировки и исследования теодолитов

Поверки и юстировки теодолитов производят для выявления и устранения ошибок, вызванных отступлением от геометрических и оптико-механических требований, заложенных в конструкцию прибора.

В задачу исследования входит определение отступлений от требований, которые невозможно устранить и которые компенсируются соответствующими поправками. В исследования входит также определение постоянных прибора: цены деления уровней, цены деления микрометров, исследование диаметров лимбов и т. п.

Проверки теодолитов производятся в следующем порядке:

1. *Ход подъемных винтов должен быть плавным без люфта и заеданий.* Регулируют ход винта, вращая при помощи шпильки регулировочную гайку в ту или другую сторону, до тех пор, пока не будет достигнут равномерный ход винтов.

2. *Азимутальная устойчивость штатива и треножника должна быть обеспечена при вращении алидады горизонтального круга.* Закрепляют теодолит на штативе, приводят вертикальную ось прибора в отвесное положение, наводят перекрестие сетки нитей зрительной трубы на резко выделяемую точку предмета. При приложении слабых вращательных усилий к головке штатива сетка нитей не должна отклоняться от предмета. В противном случае следует ту же затянуть винты шарнира (барашки) ножек штатива.

Добившись устойчивости штатива, аналогично проверяют устойчивость треножника теодолита, при обнаружении отклонения сетки от изображения предмета следует подтянуть гайки, регулирующие ход подъемных винтов треножника.

3. *Ось цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.* Устанавливают уровень параллельно линии, соединяющей два подъемных винта, и, вращая их в противоположных направлениях, приводят пузырек уровня в нуль-пункт. Затем устанавливают уровень по направлению третьего подъемного винта и, действуя им, приводят пузырек в нуль-пункт (для приведения вертикальной оси теодолита примерно в отвесное положение). Затем берут отсчет по горизонтальному кругу и поворачивают алидаду точно на 180° , проверяя точность установки отсчетом по горизонтальному кругу. Если пузырек уровня отклонится от нуль-пункта, то его перемещают на половину дуги отклонения исправительным (юстировочным) винтом уровня, а на вторую половину — подъемным винтом, по направлению которого стоит уровень.

Проверку и исправление следует выполнять до тех пор, пока после поворота алидады на 180° пузырек цилиндрического уровня будет либо оставаться в нуль-пункте, либо отклоняться от него не более чем на 0,5 деления.

4. *Ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси теодолита.* Ось вращения теодолита устанавливают в отвесное положение при помощи исправленного цилиндрического уровня на алидаде горизонтального круга. Затем пузырек круглого уровня устанавливают в нуль-пункт при помощи трех винтов, крепящих оправу круглого уровня.

5. *Визирная ось зрительной трубы теодолита должна быть перпендикулярна к оси ее вращения.* Приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение и наводят пересечение сетки нитей зрительной трубы на удаленный, хорошо видимый предмет. Затем берут отсчет по горизонтальному кругу (например при $КП_1$), переводят зрительную трубу через зенит и вновь наводят пересечение сетки нитей на тот же предмет, берут отсчет по горизонтальному кругу (при $КЛ_1$) и вычисляют разность $КП_1 - КЛ_1$. Полученная разность отсчетов может содержать ошибку, вызванную не только влиянием коллимационной ошибки C , но и эксцентриситетом алидады, величина которого в отдельных экземплярах теодолитов может достигать $1'$. С целью исключения влияния эксцентриситета алидады в теодолитах с односторонним отсчитыванием берут отсчет по горизонтальному кругу, например $КЛ_2$. Открепляют винт треножника, поворачивают теодолит на 180° , приводят вертикальную ось теодолита в отвесное положение. Вновь наводят на тот же предмет, берут отсчет $КП_2$ и вычисляют разность $КЛ_2 - КП_2$. В этом случае величина двойной коллимационной ошибки

$$2C = \frac{(КП_1 - КЛ_1 \pm 180^\circ) + (КП_2 - КЛ_2 \pm 180^\circ)}{2}.$$

Для исправления следует установить по горизонтальному кругу отсчет $КЛ - C$ или $КП + C$. Затем слегка открепляют вертикальные исправительные винты сетки и шпилькой перемещают оправу боковыми исправительными винтами до совмещения пересечения сетки нитей с изображением наблюдаемого предмета. Устранение коллимационной ошибки достигается в несколько приемов.

6. *Вертикальная нить сетки (или биссектор) должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы (т. е. лежать в коллимационной плоскости трубы).* Закрепляют теодолит на штативе и тщательно приводят по выверенному цилиндрическому уровню вертикальную ось прибора в отвесное положение. Выбирают отчетливо видимую точку (например на стене), вращая алидаду горизонтального круга смотрят, не сходит ли изображение точки со средней горизонтальной нити сетки. Если изображение точки отходит от горизонтальной нити сетки не более чем на три толщины штриха или на треть биссектора (если будет двигаться в середине между штрихами биссектора), то сетка установлена правильно. В противном случае следует отвернуть колпачок, закрывающий исправительные винты сетки, слегка отпустить винты, скрепляющие окулярную часть с корпусом трубы, и повернуть окулярную часть так, чтобы при вращении алидады горизонтального круга изображение точки не сходило с горизонтальной нити сетки. После установки сетки нитей закрепляют винты и закрывают их колпачком.

7. *Ось вращения зрительной трубы должна быть перпендикулярна к вертикальной оси теодолита.* Приводят вертикальную

ось теодолита в отвесное положение и, закрепив лимб, наводят центр пересечения сетки нитей на точку, расположенную в 20—30 м от теодолита под углом 30—50° к горизонту, закрепляют алидаду. После этого опускают зрительную трубу теодолита примерно до горизонтального положения и отмечают на стене проекцию точки пересечения сетки нитей a_1 . Поворачивают алидаду на 180°, переводят трубу через зенит и вновь наводят пересечение сетки нитей на ту же точку, затем опускают трубу (как и в первом случае) и отмечают на стене проекцию точки пересечения сетки нитей a_2 . Если отмеченные на стене точки a_1 и a_2 не выходят за пределы биссектора, то такой наклон оси вращения трубы теодолита допустим. Устранение несоблюдения поверяемого условия производится только в мастерской.

8. *Место нуля вертикального круга должно быть близким к нулю.* Устанавливают в рабочее положение теодолит. Пересечение сетки нитей зрительной трубы теодолита наводят на хорошо видимую, удаленную на 150—200 м точку и приводят пузырек уровня при вертикальном круге в нуль-пункт. (В теодолитах, где нет уровня при вертикальном круге, его роль выполняет самоустанавливающаяся система оптического компенсатора). Берут отсчет по вертикальному кругу. Переводят трубу через зенит и вновь наводят пересечение сетки нитей на ту же точку, приводят пузырек уровня в нуль-пункт и берут отсчет по вертикальному кругу.

Место нуля, место зенита и угол наклона вычисляют по формулам:

$$MO = \frac{KP + KL \pm 180^\circ}{2}; \quad v = KP - MO = MO - KL;$$

$$MZ = \frac{KP + KL - 360^\circ}{2}; \quad Z = KL - MO = MO - KP.$$

Если MO отличается от нуля более чем на двойную точность оптического микрометра, его исправляют следующим образом: устанавливают пузырек уровня при вертикальном круге в нуль-пункт и берут отсчет по вертикальному кругу. Затем наводящим винтом уровня уменьшают отсчет на величину места нуля (в случае необходимости прибавляют 360°) и ставят индекс отсчетного устройства на этот отсчет на вертикальном круге, а юстировочными винтами уровня вертикального круга приводят пузырек в нуль-пункт. Поверку повторяют до тех пор, пока MO будет близким к нулю.

9. *Одно деление горизонтального или вертикального круга должно быть равно длине шкалы отсчетного микроскопа.* Совмещают любой штрих горизонтального или вертикального круга с нулевым штрихом шкалы микроскопа. Отсчет снимают по следующему штриху круга. Разность между отсчитанным и номи-

нальным его значением называют *реном*. Величину рена определяют не менее чем по 12 совмещениям на разных участках каждого круга.

Для исправления рена микроскопа горизонтального круга теодолита необходимо снять боковую крышку подсветки и слегка ослабить винты нижнего блока. Затем, перемещая эти винты, а вместе с ними и оправу с линзами вдоль оси, следует изменить увеличение микроскопа, т. е. добиться совмещения штрихов горизонтального круга со штрихами шкалы микроскопа. Исправление начинают с перемещения верхней линзы, при этом нарушится резкость изображения и появится параллакс. Затем, перемещая нижнюю линзу, устанавливают резкость изображения штрихов без заметного на глаз параллакса. По окончании установки следует закрепить винты и снова проверить рен.

Исправление рена вертикального круга производится аналогично изложенному для горизонтального круга путем перемещения линз объектива, закрепленных винтами верхнего блока.

10. *Компенсатор теодолита должен обеспечивать неизменный отсчет по вертикальному кругу при наклоне вертикальной оси прибора в пределах, указанных в паспорте.* Для проверки этого условия выбирают какую-либо визирную цель и устанавливают теодолит на штативе так, чтобы один из подъемных винтов был расположен в направлении визирной цели. Приводят пузырек уровня при алидаде горизонтального круга в нуль-пункт и производят отсчет по вертикальному кругу при круге вправо или круге лево. Затем наклоняют теодолит подъемным винтом в направлении визирной цели на угол, ограничивающий диапазон действия компенсатора (определяя величину наклона по числу делений уровня), проверяют правильность установивши теодолита по двум другим подъемным винтам, для этого наводят зрительную трубу на ту же цель и производят отсчет по вертикальному кругу. То же самое выполняют при наклоне теодолита на такой же угол в другую сторону, т. е. в сторону наблюдателя.

Отсчеты по вертикальному кругу, полученные при наклонах теодолита в двух противоположных направлениях (при положении пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункте), должны находиться в пределах точности отсчета по этому кругу. Кроме того, следует убедиться, что наклон теодолита в боковых направлениях не влияет на точность измерения вертикальных углов. Для этого наклоняют теодолит на такой же угол вправо и влево от наблюдателя, наводят зрительную трубу на ту же цель и производят отсчеты по вертикальному кругу. Полученные отсчеты также должны находиться в пределах точности отсчитывания по кругу.

11. *Визирная ось оптического центрира, размещенного в алидадной части теодолита, должна совпадать с его вертикальной осью.* Для выполнения этой проверки наблюдают за положением изображения точки местности относительно центра сетки нитей при вращении алидады вокруг вертикальной оси.

Если изображение точки уходит с центра сетки оптического центрира, отвинчивают два винта и отсоединяют крышку оптического центрира от боковой крышки теодолита. Ослабив слегка винты, скрепляющие окулярное колено оптического центрира, перемещают его в плоскости боковой крышки, добиваются совмещения изображения точки с центром сетки центрира.

Измерение направлений и предварительная обработка результатов измерений

Измерение направлений на пунктах триангуляции производится способом круговых приемов с числом приемов, приведенным в табл. 21.

Измерение направлений на пунктах триангуляции 3 класса производится по программе, в которую не входят направления на пункты 4 класса, 1 и 2 разрядов, а входят лишь два направления высшего класса, имеющих хорошую видимость.

Аналогично ведутся измерения и на пунктах триангуляции 4 класса, 1 и 2 разрядов. Направления измеряют с соблюдением требований, указанных в табл. 22.

Приемы, не удовлетворяющие указанным допускам, следует повторять после измерения всех приемов. При большом количестве направлений одного класса или разряда измерения выполняют группами, причем в каждую из них включают не более 8 направлений при обязательном общем начальном направлении.

Таблица 21

| Тип теодолита | Число приемов | | | |
|--------------------------------------------|---------------|----------|-----------|-----------|
| | Триангуляция | | | |
| | 3 класса | 4 класса | 1 разряда | 2 разряда |
| T2, Theo 010 и равноточные им при- боры | 12 | 6 | 3 | 2 |
| T5 и равноточные ему приборы | — | — | 4 | 3 |

Таблица 22

| Элементы наблюдений, к которым относятся допуски | Тип теодолита | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| | T2, Theo 010 и равноточ- ные им приборы | T5 и равноточ- ные ему приборы |
| Расхождение между результатами наблюдений на на- чальный предмет в начале и в конце полуприема, не более | 8" | 0,2' |
| Колесание направлений в отдельных приемах, при- веденных к общему нулю, не более | 8" | 0,2' |

Таблица 23

| Значение элемента линейной редукции, м | Необходимая точность определения угла, угл. мин |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 0,1 | 38 |
| 0,2 | 19 |
| 0,3 | 13 |
| 0,4 | 10 |
| 0,5 | 8 |
| 1,0 | 4 |

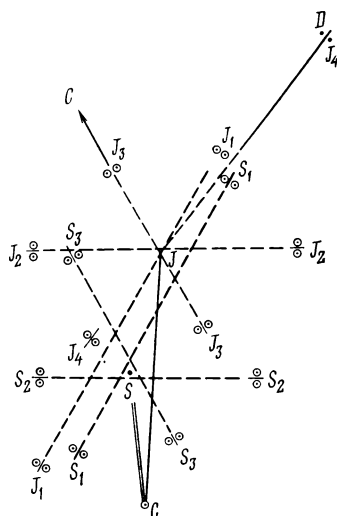


Рис. 38. Графическое определение элементов центрировки и редукции

В жаркие летние дни наблюдения на пунктах триангуляции 3 класса следует производить утром не ранее чем через час после восхода Солнца и продолжать не более двух часов, а вечером начинать наблюдения в 15—16 ч и прекращать не позднее чем за час до захода Солнца.

Наблюдения на пунктах триангуляции 3 класса рекомендуется производить ранней весной и осенью, когда изменения температур внутри города заметно сглажены. Осенью при температуре $+15^{\circ}\text{C}$ целесообразно сочетать дневные измерения с ночными. Во время измерений прибор должен быть защищен от непосредственного воздействия солнца и ветра, а в зимнее время его не рекомендуется вносить в теплое помещение.

Центрировки и редукции должны определяться дважды, до и после наблюдений на пункте. В тех случаях, когда измерения ведутся более трех месяцев, а также после ураганов, бурь и ливней, необходимо произвести третье определение на тех же пунктах. Расхождение между двумя смежными элементами измерений не должны превышать 7 мм.

Необходимая точность определения угла θ зависит от линейной величины редукции и может быть определена по табл. 23, рассчитанной для триангуляции 4 класса.

Определение угла θ , если линейная величина редукции и центрировки больше 2,5 м, производится угломерным путем удлинения линейного элемента центрировки или редукции при помощи натянутой нити.

Определение элементов центрировки и редукции, когда их линейная величина больше 0,4 м, производится графически. Для этого над центром знака устанавливают на штативе теодолит, точно центрируя его при помощи оптического центрира. Под

теодолитом устанавливается центрировочный столик с закрепленным листом белой бумаги, горизонтальность верхней плоскости которого определяют на глаз. На лист белой бумаги переносят центр C (рис. 38). Затем при помощи выверенного теодолита, устанавливаемого на расстоянии, равном примерно высоте сигнала, проектируют на этот лист вертикальную ось прибора и геометрическую ось визирного цилиндра при двух положениях вертикального круга с трех установок теодолита так, чтобы проектирующие плоскости пересекались под углами 120° и 60° .

Каждая плоскость, проходящая через любую из указанных точек, фиксируется помощником наблюдателя на прикрепленном листе бумаги двумя парами карандашных точек на краю листа. Точность определения направления между одноименными парами точек тем выше, чем больше между ними расстояние.

Треугольник погрешности, образовавшийся в результате проведения трех линий, должен иметь стороны не более 1 см. В этом случае определяемая точка намечается в пересечении медиан треугольника погрешности. Если стороны получаются более 1 см, наблюдения повторяют.

Из точек на листе бумаги, определяющих вертикальную ось прибора I и геометрическую ось визирного цилиндра S , проводят направления на два пункта триангуляции, а точки I и S соединяют с точкой C и расстояния между ними e_c и e_s измеряют с точностью до 1 мм. При помощи большого транспортира в точках I и S измеряют соответственно углы θ_c и θ_s , отсчитываемые от направления на центр знака до направления на пункт.

Контролем правильности проведения направлений на пункты триангуляции служит сходимость значений углов, полученных графическим методом на центрировочном листе и путем измерений при помощи теодолита.

Отсчеты по горизонтальному кругу для направлений на пункты триангуляции записывают карандашом в журнал установленной формы. Цифры должны быть четко написаны, неправильную запись зачеркивают, наверху подписывая новый результат (подчистки не допускаются). В журнале записывают дату, время наблюдения и условия видимости для каждого приема, а также сведения о ходе и условиях работы на каждом пункте.

Во время наблюдений на пункте в полевом журнале производится полная обработка результатов измерений, а именно: вывод средних значений направлений из отсчетов при КП и КЛ, вычисление значения $2c$, делается сводка результатов наблюдений. Все вычисления ведутся с округлением до $0,1''$.

Наблюдения в приеме, не удовлетворяющие установленным допускам, повторяют полностью по основной программе. Окончательная обработка журнала и составление сводок результатов наблюдений для контроля производятся двумя исполнителями.

Страницы в полевом журнале перед наблюдением должны быть пронумерованы и подписаны наблюдателем или начальни-

Таблица 24

| Число приемов n | $\frac{1,25}{\sqrt{n(n-1)}}$ | Число приемов n | $\frac{1,25}{\sqrt{n(n-1)}}$ |
|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------------------|
| 2 | 0,887 | 6 | 0,229 |
| 3 | 0,511 | 7 | 0,193 |
| 4 | 0,362 | 8 | 0,167 |
| 5 | 0,280 | 9 | 0,148 |

ком партии. Все полевые материалы (журналы, центрировочные листы и др.) должны быть в таком состоянии, чтобы выборка данных из них для обработки могла производиться без участия наблюдателя. После обработки полевых журналов производится оценка точности результатов наблюдений.

По формуле Петерса определяют среднюю квадратическую ошибку каждого направления на станции

$$m = \frac{1,25 \Sigma [v]}{\sqrt{n(n-1)}},$$

где n — число приемов; $\Sigma[v]$ — сумма абсолютных величин отклонений каждого приема от среднего.

Средняя квадратическая ошибка направления для станции из одного приема

$$\mu = \frac{\Sigma m}{k},$$

где k — число направлений на станции.

Средняя квадратическая ошибка направления из n приемов

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

Для упрощения вычислений значение величин $1,25/\sqrt{n(n-1)}$ приведено в табл. 24.

По измеренным средним направлениям на станции можно образовать ряд треугольников, по которым производят вычисление сторон с контролем. Длина сторон необходима будет для вычислений координат пунктов, поправок за центрировки и редукции, а также поправок за переход на плоскость. Длины сторон вычисляют, пользуясь пятизначными таблицами натуральных значений синусов либо их логарифмами. Сферические избытки вычисляют по формуле

$$e = \frac{ab \sin C}{2R^2} \rho = f ab \sin C,$$

где a и b — длины сторон, км; C — угол между сторонами; f — значение постоянной величины для данной триангуляции (табл. 25).

Таблица 25

| Ф, угл. градус | <i>f</i> | Ф, угл. градус | <i>f</i> | Ф, угл. градус | <i>f</i> |
|-------------------|----------|-------------------|----------|-------------------|----------|
| 30 | 0,002544 | 50 | 0,002532 | 70 | 0,002522 |
| 35 | 2541 | 55 | 2529 | 75 | 2520 |
| 40 | 2538 | 60 | 2527 | 80 | 2519 |
| 45 | 2535 | 65 | 2524 | | |

Таблица 26

Пункт В ($\theta_C = 147^\circ 52'$; $e_C = 0,1473$) на пункт С

| Порядок вычислений | Наблюдаемые пункты | | | |
|----------------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------------------------|
| | <i>C</i> | <i>D</i> | <i>A</i> | |
| <i>M</i> $M + \theta_C$ | 0°00' 147 52 | 67°34' 215 26 | 134°28' 282 20 | $k = e_C : \sin 1'' =$ = 30,383 |
| <i>D</i> , км $\sin (M + \theta_C)$ | 3,1415 +0,5319 | 2,5635 —0,5798 | 3,8539 —0,9769 | $c = k \sin (M + \theta) : D$ |
| <i>c</i> , угл. с | +5,14 | —6,87 | —7,70 | |

На основании вычисленных длин сторон, определенных дважды из разных треугольников, приступают к определению поправок за центрировку и редукцию. Пусть расстояние между пунктами *A* и *B* равно *D*. Расстояние между точкой *J*, где устанавливается прибор и центром знака, взятое с центрировочного листа, определяется величиной e_C , а угол между начальным направлением и линейным элементом e_C на точке *J* — величиной θ . Поправка за центрировку

$$c_0 = \frac{e_C \sin \theta}{D \sin 1''}.$$

Величина c_0 имеет положительное значение при угле θ между 0 и 180° и отрицательное, когда угол θ больше 180° . Очевидно, что для других направлений будут справедливы равенства

$$c_1 = \frac{e_C \sin (\theta + M_1)}{D_1 \sin 1''}; \quad c_2 = \frac{e_C \sin (\theta + M_2)}{D_2 \sin 1''}, \quad (5)$$

где M_1 и M_2 — измеренные направления на пункты 1 и 2; D_i — расстояние до пункта, м.

Вычисление поправок за центрировку производится двумя исполнителями. Пример вычисления поправок за центрировку приведен в табл. 26.

После вычисления величин $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$ находят поправки за редукцию, когда наблюдение производилось на визирную

Таблица 27

| Обозначение вершин тре- угольников | Угол | α | $s, м$ | $\Delta x, м$ | $\Delta y, м$ | $x, м$ | $y, м$ |
|------------------------------------------|----------|-----------|--------|---------------|---------------|---------|-----------|
| A | | 180°00,0' | 2861,5 | —2861,5 | 0,0 | +2861,5 | +48 437,0 |
| B | 47°13,7' | 312 46,2 | 4095,4 | +2781,0 | —3006,3 | 0,0 | +48 437,0 |
| C | 44°18,2' | 88 28,0 | 3007,4 | +80,5 | +3006,3 | +2781,0 | +45 430,0 |
| A | | | | | | +2861,5 | +48 437,0 |

Таблица 28

| Обозначение вершин тре- угольника | Угол | sin угла | Длина сторон, м | δ | Контроль |
|-----------------------------------------|----------|----------|-----------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| A | 88°28,0' | 0,99964 | 4095,4 | —0,34 | $\varepsilon = fab \sin C = 0,00253 \times$ $\times ab \times \sin C = 0,02''$ |
| B | 47°13,8 | 0,73411 | 3007,4 | —0,02 | |
| C | 44°18,2 | 0,69845 | 2861,5 | +0,34 | |
| | | | 4096,9 | —0,02'' | |

цель, не совмещенную с центром знака на величину e_r . Вычисление поправок за редукцию производится по формулам, аналогичным формулам (5).

Ввиду того, что значения s и r небольшие, их можно вычислить на логарифмической линейке или определить по специальному графику (номограмме).

Одновременно с вычислением редукций и центрировок производится определение поправок за кривизну Земли по формуле

$$\delta_{1,2} = \frac{1}{3} f_m (x_2 - x_1) (2y_1 + y_2), \quad (6)$$

где f_m выбирают из табл. 25 по средней широте места работ.

Для определения поправок за кривизну Земли необходимо вычислить координаты, пунктов триангуляции. Пример вычисления координат для треугольника ABC приведен в табл. 27.

Вычисление поправок δ производится с обязательным контролем по сферическим избыткам треугольников

$$(\delta_{1,3} - \delta_{1,2}) + (\delta_{2,1} - \delta_{2,3}) + (\delta_{3,2} - \delta_{3,1}) = -\varepsilon. \quad (7)$$

Пример вычисления δ при $\varphi = 55^\circ 00'$ приведен в табл. 28.

Вычисление δ для всех направлений приведено в табл. 29.

Таблица 29

| Обозначение сторон треугольника | $x_i - x_k$ | $2y_1 + y_k$ | $(x_i - x_k)(2y_1 - y_k)$ | Поправка в измеренное направление δ |
|---------------------------------------|-------------|--------------|---------------------------|--------------------------------------------------|
| <i>AB</i> | +2861,5 | 145 311 | 415,81 | +0,35 |
| <i>BA</i> | -2861,5 | 145 311 | 415,81 | -0,35 |
| <i>BC</i> | -2781,0 | 142 305 | 395,75 | -0,33 |
| <i>CB</i> | +2781,0 | 139 199 | 387,39 | +0,33 |
| <i>CA</i> | -80,5 | 139 299 | 11,21 | -0,01 |
| <i>AC</i> | +80,5 | 142 305 | 11,46 | +0,01 |

§ 8. УРАВНИВАНИЕ ТРИАНГУЛЯЦИИ С ПРАКТИЧЕСКИМИ ПРИМЕРАМИ И ОЦЕНКОЙ ТОЧНОСТИ СЛАБОЙ (УДАЛЕННОЙ) СТОРОНЫ

Уравнивание триангуляции способом условий. В соответствии с рис. 39 напомним условные уравнения для треугольников и выполним вычисления в табл. 30

$$(3-1) + (6-5) + (11-10) + 8,8'' = 0;$$

$$(9-7) + (5-4) + (12-11) - 2,9'' = 0;$$

$$(2-1) + (6-4) + (9-8) - 4,3'' = 0.$$

Приняв за полюс O точку пересечения диагоналей, получим уравнение полюса

$$\frac{OA}{OB} \cdot \frac{OB}{OC} \cdot \frac{OC}{OD} \cdot \frac{OD}{OA} = 1$$

или

$$\frac{\sin(6-5) \sin(9-8) \sin(12-11) \sin(3-2)}{\sin(2-1) \sin(5-4) \sin(8-7) \sin(11-10)} = 1.$$

Подсчитаем невязку для этого уравнения в логарифмическом виде (табл. 31).

После этого подсчитаем весовую функцию для стороны CA , зная длину AB , двумя способами (для контроля) в табл. 32.

В результате получим условные уравнения (табл. 33).

Решая нормальные уравнения, получают коррелаты (табл. 34) $k_1 = -2,3672$, $k_2 = -0,9132$, $k_3 = +1,8147$, $k_4 = 0,000268$ и ве-

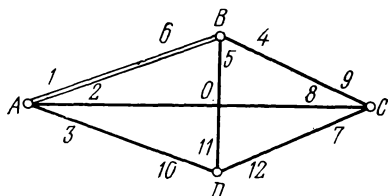


Рис. 39. Схема триангуляции

Таблица 30

| Обозначение углов треуголь- ников | Обозначение пункта | Измеренный угол | Sin угла | Длина стороны s_l м | Редуцирован- ный угол | Уравненное значение угла | Sin угла | Длина стороны s_l м |
|--------------------------------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------|-----------------------------|
| (11—10) (6—5) (3—1) | <i>D</i> | 73°29,1' | 0,95874 | 3853,9 | 73°29'04,6" | 73°29'00,75" | 0,9587381 | 3853,8950 |
| | <i>B</i> | 66 54,7 | 0,91990 | 3697,8 | 66 53 38,8 | 66 53 36,80 | 0,9197774 | 3697,2824 |
| | <i>A</i> | 39 37,3 | 0,63772 | 2563,5 | 39 37 25,4 | 39 37 22,45 | 0,6377319 | 2563,5278 |
| | | | $\frac{s_l}{\sin i}$ | 4019,8 | 180 00 08,8 | 180 00 00,00 | | 4019,7578 |
| (9—7) (5—4) (12—11) | <i>C</i> | 47 36,3 | 0,73852 | 2563,5 | 47 36 18,7 | 47 36 18,68 | 0,7385164 | 2563,5278 |
| | <i>B</i> | 67 33,9 | 0,92431 | 3208,4 | 67 33 51,7 | 67 33 54,07 | 0,9243132 | 3208,4630 |
| | <i>D</i> | 64 49,8 | 0,90505 | 3141,5 | 64 49 46,7 | 64 49 47,26 | 0,0950484 | 3141,5913 |
| | | | $\frac{s_l}{\sin i}$ | 3471,1 | 179 59 57,1 | 180 00 00,01 | | 3471,1860 |
| (2—1) (6—4) (9—8) | <i>A</i> | 20 19,3 | 0,34730 | 3141,5 | 20 19 22,7 | 20 19 23,89 | 0,3473171 | 3141,5913 |
| | <i>B</i> | 134 28,6 | 0,71354 | 6454,3 | 134 27 30,5 | 134 27 30,87 | 0,7137570 | 6456,1543 |
| | <i>C</i> | 25 13,0 | 0,42604 | 3853,7 | 25 13 04,5 | 25 13 05,25 | 0,4260655 | 3853,8951 |
| | | | $\frac{s_l}{\sin i}$ | 9045,5 | 179 59 55,7 | 180 00 00,01 | | 9045,3113 |

Таблица 31

| Обозначение угла | Измеренный угол | lg sin | d | Обозначение угла | Измеренный угол | lg sin | d |
|------------------|-----------------|-----------|-------|------------------|-----------------|-----------|-------|
| (6—5) | 66°53'38,8" | 9,9636845 | +9,0 | (2—1) | 20°19'22,7" | 9,5407193 | +56,8 |
| (9—8) | 25 13 02,5 | 9,6294641 | +44,7 | (5—4) | 67 33 51,7 | 9,9658171 | +8,7 |
| (12—11) | 64 49 46,7 | 9,9566712 | +9,9 | (8—7) | 22 23 16,2 | 9,5807814 | +51,1 |
| (3—2) | 19 18 02,7 | 9,5192066 | +60,1 | (11—10) | 73 29 04,6 | 9,9817024 | +6,3 |

Σ 9,0690264

Σ 9,0690202

$$w = +62$$

Таблица 32

| Обозначение угла | Измеренный угол | lg sin | Изменение lg sin углов на 1" d | Обозначение угла | Измеренный угол | lg sin | Изменение lg sin углов на 1" d |
|------------------|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------------|-------------------------------------------|--------------------------------|
| (6—4) | 134°27'30,5" | 9,8535510 | —20,7 | (6—5) | 66°53'38,8" | 9,9636845 | +9,0 |
| (9—8) | 25 13 02,0 | 9,6294641 — 0,2240869 (разность) | —44,7 | (12—10) | 138 18 51,3 | 9,8228505 | —23,7 |
| | | | | (11—10) | 73 29 04,6 | 9,9817024 | —6,3 |
| | | | | (8—7) | 22 23 16,2 | 9,5807814 — 0,2240512 (разность) | —51,1 |

Таблица 33

| Обозначение направления | a | b | c | d | f_1 | f_2 | s | ak_1 | bk_2 | ck_3 | dk_4 | v |
|-------------------------|------|------|------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------|
| 1 | -1 | | -1 | +56,8 | | | +54,8 | +2,38 | | -1,81 | +0,02 | +0,59 |
| 2 | | | +1 | -116,9 | | | -115,9 | | | +1,81 | -0,03 | +1,78 |
| 3 | +1 | | | +60,1 | | | +61,1 | -2,38 | | | +0,02 | -2,36 |
| 4 | | -1 | -1 | +8,7 | +20,7 | | +27,4 | | +0,91 | -1,81 | 0,00 | -0,90 |
| 5 | -1 | +1 | | -17,7 | | -9,0 | -26,7 | +2,38 | -0,91 | | 0,00 | +1,47 |
| 6 | +1 | | +1 | +9,0 | -20,7 | +9,0 | -0,7 | -2,38 | | +1,81 | 0,00 | -0,57 |
| 7 | | -1 | | +51,1 | | +51,1 | +101,2 | | +0,91 | | +0,02 | +0,93 |
| 8 | | | -1 | -95,7 | +44,7 | -51,1 | -103,2 | | | -1,81 | -0,03 | -1,84 |
| 9 | | +1 | +1 | +44,7 | -44,7 | | +2,0 | | -0,91 | +1,81 | +0,01 | +0,91 |
| 10 | -1 | | | +6,3 | | +30,0 | +35,3 | +2,38 | | | 0,00 | +2,38 |
| 11 | +1 | -1 | | -16,2 | | -6,3 | -22,5 | -2,38 | +0,91 | | 0,00 | -1,47 |
| 12 | +1 | | | +9,9 | | -23,7 | -12,8 | | -0,91 | | 0,00 | -0,91 |
| w | +8,8 | -2,9 | -4,3 | +62,0 | | | | | | | | $\sum v^2 = 26,11$ |

Таблица 34

| k_1 | k_2 | k_3 | k_4 | f_1 | f_2 | w | v |
|------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------|
| +6 -1,4667 | -2 -0,3333 | +2 +0,3333 | +7,5 +1,2500 | -20,7 -3,4500 | -18,3 -3,0500 | +8,8 1,4667 | -16,7 -2,7834 |
| -0,0003 -0,6048 -0,3044 -2,3672 | +6 +0,667 +5,333 -0,0060 | +2 -0,667 +2,667 +0,5000 | -6,7 -2,500 -4,200 -0,7876 | -65,4 +6,900 -72,300 -13,5571 | -77,5 +6,100 -83,600 -15,6760 | -2,9 -2,933 +0,033 0,0060 | -146,5 +5,567 -152,067 -28,5144 |
| | +0,0002 -0,9074 -0,9132 | +6 +2,000 +4,000 +1,8125 | -32,900 +0,400 -33,300 -8,3250 | -130,800 -43,050 -87,750 -21,9375 | +60,100 -47,900 +108,000 -27,0000 | -4,300 22,950 -7,250 -1,8125 | -97,900 -81,600 -16,300 -4,075 |
| | | +0,0022 +1,8147 | 35 160,92 +289,905 | -6286,56 +761,587 | +7803,32 -856,132 | +62,00 +71,330 | +36 707,58 +234,591 |
| | | | 34 871,015 +0,000268 | -7048,147 -0,20212 | +8659,452 +0,24833 | -9,330 -0,000268 | +36 472,989 +1,04594 |
| | | | | +4853,16 +4401,13 +452,03 | +6885,80 +6432,73 +453,07 | | |

личины весовых функций 452,03 и 453,07, которые дают возможность оценить определяемую сторону, а также получить поправки (см. табл. 33) и окончательные значения сторон (см. табл. 30),

$$\mu_{\text{напр}} = \sqrt{\frac{26,11}{4}} = \sqrt{6,53} = 2,56'';$$

$$m = 2,56 \sqrt{452,55} = 2,56 \times 21,27 = 54,5 \text{ един. 7-го знака логарифма.}$$

Относительная ошибка

$$F = \frac{\Delta S}{S} = \frac{m_{lg}}{M 10^7} = \frac{54,5}{0,434 \times 10^7} = \frac{1}{79\,600}.$$

Абсолютная ошибка $6,456/79\,600 = 81 \text{ мм.}$

Уравнивание триангуляции способом необходимых неизвестных. Несвободные сети, как правило, уравнивают способом посредственных измерений путем получения поправок к приближенно вычисленным координатам.

Этот способ имеет большое практическое значение, так как позволяет составлять уравнение по общим правилам для каждого направления для любой сети триангуляции, не составляя уравнений фигур, полюса, базиса и исходных дирекционных углов.

Уравнение погрешности при вычислении по способу посредственных измерений в общем виде, когда пункты 1 и 2 определяемые,

$$v_{1,2} = -\xi_1 + a\xi_2 + b\eta_2 - a\xi_1 - b\eta_1 + w.$$

Отсюда вытекают следующие правила:

1. Если наблюдаемое направление считают с исходной точки 1 на исходную точку 2, то поправка в направление 1—2

$$v_{1,2} = -\xi_1 + w,$$

где ξ_1 — поправка ориентирования; w — невязка, так как

$$\xi_2 = \eta_2 = \xi_1 = \eta_1 = 0,$$

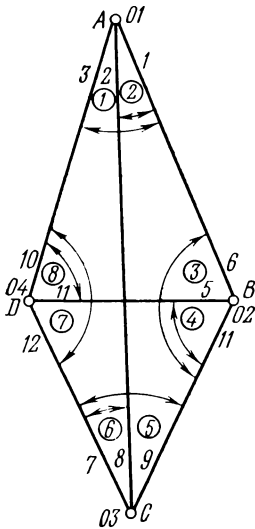
где ξ_1 и ξ_2 — поправки в приближенные координаты x точек 1 и 2; η_1 и η_2 — поправки в приближенные координаты y точек 1 и 2.

2. Если наблюдаемое направление считают с исходной точки 1 на определяемую точку 2, то, так как $\xi = \eta = 0$,

$$v_{1,2} = -\xi_2 + a\xi_2 + b\eta_2 + w,$$

где a и b — коэффициенты, выбранные из таблиц по дирекционному углу и длине стороны.

Рис. 40. Схема геодезического четырехугольника



3. Если наблюдаемое направление считают с определяемой точки 1 на исходную 2, то

$$v_{1,2} = \xi_1 - a\xi_1 - b\eta_1 + w.$$

Кроме этих уравнений, для каждой станции обязательно будет уравнение с отрицательным весом $-1/n$

$$-n\xi_1 + \Sigma a\xi_2 + \Sigma b\eta_1 - \Sigma a\xi_1 - \Sigma b\eta_1 + \\ + \dots + \Sigma w = 0,$$

если каждому уравнению, составленному по одному из вышеперечисленных правил, приписывается вес, равный единице.

В сети могут иметь место также азимутальное условие и условие базиса.

Такие добавочные условия позволяют уменьшить количество определяемых поправок к координатам данной сети.

Уравнивание начинается с определения приближенных координат всех пунктов сети, исходными являются пункты *B* и *D* (рис. 40, табл. 35). Затем составляют таблицу измеренных направлений с учетом редукиций, центрировок и перехода на плоскость, вычисляют приближенные дирекционные углы и определяют коэффициенты *a* и *b* для этих направлений (табл. 36).

Уравнивание производится в табл. 37, 38, 39. Наблюдаемые направления и дирекционные углы, вычисленные с необходимой точностью по приближенным координатам, записывают в табл. 37 и вычисляют свободные члены уравнений. При составлении табл. 38 свободные члены выбирают из табл. 37.

Затем составляется таблица нормальных уравнений для каждой станции (табл. 39). Суммируя эти уравнения, получают нормальное уравнение для всей данной системы триангуляции. Решая нормальные уравнения, получают поправки к приближенным координатам $\xi_a = 0,5819$, $\eta_a = 0,4208$, $\xi_c = 0,8878$, $\eta_c = 0,1784$ и поправки в направления (табл. 40).

Для уравнивания геодезических сетей, в которых точность измерения углов различна, а стороны измерены проволокой или светодальномерами, применяются ЭВМ.

Снесение координат с пунктов триангуляции (трилатерации), расположенных на зданиях и сооружениях, на центры полигонометрии (предпочтительнее на стенные знаки) осуществляется, как правило, при помощи двух треугольников, общая сторона которых должна быть определена из двух самостоятельно измеренных базисов, при этом расхождение в ее длине не должно превышать 2 см.

Таблица 35

| Обозначение пункта | Измеренный угол | Дирекционный угол α | Длина стороны, м | $\sin \alpha, \cos \alpha$ | $\Delta x, \text{ м}$ | $\Delta y, \text{ м}$ | $x, \text{ м}$ | $y, \text{ м}$ |
|--------------------|-----------------|----------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|----------------|
| B | | | 2861,500 | | +2861,500 | | 0,000 | 0,000 |
| A | 88°28'00,2" | 0°00'00,0" | 3007,400 | 0,9996419 0,0267575 | -80,471 | | 2861,500 | 0,000 |
| C | 94 32 03,1 | 268 28 00,2 | 2603,200 | 0,0523520 0,9986287 | -2599,630 | | 2781,029 | -3006,323 |
| D | 90 18 14,5 | 183 00 03,3 | | | | -136,283 | +181,473 | -3142,608 |
| | | 93 18 17,8 | 3147,843 | 0,9983368 0,0576501 | -181,473 | | 0,000 +2861,500 | 0,000 0,000 |
| B | 86 41 47,0 | 0 00 04,8 | | | | | | |
| A | | 229 32 32,42 | 4130,197 | 0,7608857 1,1726031* | -2680,027 | | +181,473 | -3142,608 |
| D | | | | 0,6488860 | | | 0,000 | 0,000 |
| B | | 312 46 14,43 | 4092,375 | 1,0810110* | +2781,029 | | +2781,029 | -3006,323 |
| C | | 183 00 03,81 | 2603,124 | 0,0523544 0,0524263 | -2599,556 | | | |
| D | | | | 0,9986285 | | -136,285 | +181,473 | -3142,608 |

* Для контроля вычисляют $\operatorname{tg} \alpha$.

Таблица 36

| Обозначение станции | Обозначение направления | № направления | Значение направления | Приближенный дирекционный угол | Длина стороны, км | Значение коэффициента | | | |
|---------------------|-------------------------|---------------|----------------------|--------------------------------|-------------------|-----------------------|--------|--------|---------------|
| | | | | | | из таблицы | | | из вычисления |
| | | | | | | a^2 | b^2 | a | |
| B | D | 1 | 0°00'00,00" | 273°18'17,80" | 3,147 | +20,59 | +1,19 | +6,543 | +0,378 |
| | C | 2 | 39 28 01,50 | 312 46 14,43 | 4,095 | +15,15 | +14,00 | +3,700 | +3,41~ |
| | A | 3 | 86 41 47,00 | 0 00 00,00 | 2,862 | 0,00 | +20,63 | 0,000 | +7,208 |
| A | B | 4 | 0 00 00,00 | 180 00 00,00 | 2,862 | 0,00 | +20,63 | 0,000 | -7,208 |
| | D | 5 | 49 32 29,50 | 229 32 32,42 | 4,130 | +15,69 | -13,39 | +3,800 | -3,242 |
| | C | 6 | 88 28 00,20 | 268 28 00,18 | 3,007 | +20,62 | -0,55 | +6,857 | -0,183 |
| C | A | 7 | 0 00 00,00 | 88 28 00,18 | 3,007 | -20,62 | +0,55 | -6,857 | +0,183 |
| | B | 8 | 44 18 15,40 | 132 46 14,43 | 4,095 | -15,15 | -14,00 | -3,700 | -3,415 |
| | D | 9 | 94 32 03,10 | 183 00 03,81 | 2,603 | +1,08 | -20,60 | +0,415 | -7,914 |
| | C | 10 | 0 00 00,00 | 3 00 03,81 | 2,603 | -1,08 | +20,60 | -0,415 | +7,914 |
| | A | 11 | 46 32 26,20 | 49 32 32,42 | 4,130 | +15,69 | +13,39 | -3,800 | +3,242 |
| | B | 12 | 90 18 14,50 | 93 18 17,80 | 3,148 | -20,59 | -1,19 | -6,543 | -0,378 |

Таблица 37

| Обозначение станции | № направления | Пункт | Наблюдаемое направление | Приближенный дирекционный угол α_0 | Ориентировочный угол $\alpha_0 - N$ | Наблюдаемый дирекционный угол $N + Z_0$ | w | Уравненный дирекционный угол |
|---------------------|---------------|-------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------------|
| B | 1 | C A | 0°00'00,00" 39 28 01,50 86 41 47,00 | 273°18'17,80" 312 46 14,43 0 00 00,00 | 273°18'17,80" 12,93 13,00 | 273°18'14,58" 312 46 16,08 0 00 01,58 | +3,22 -1,65 -1,58 | 273°18'17,80" 312 46 18,33 0 00 03,04 |
| | 2 | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | |
| | | | | $z_0 = 273^\circ 18' 14,58''$ | | | -0,01 | |
| A | 4 | B C | 0 00 00,00 49 32 29,50 88 28 00,20 | 180 00 00,00 229 32 32,42 268 28 00,18 | 180 00 00,00 02,92 59 59,98 | 180 00 00,97 229 32 30,47 268 28 01,17 | -0,97 +1,95 -0,99 | 180 00 03,03 229 32 31,57 268 28 02,32 |
| | 5 | | | | | | | |
| | 6 | | | | | | | |
| | | | | $z_0 = 180^\circ 00' 00,97''$ | | | -0,01 | |
| C | 7 | A B | 0 00 00,00 44 18 15,40 94 32 03,10 | 88 28 00,18 132 46 14,43 183 00 03,81 | 88 28 00,18 27 59,03 28 00,71 | 88 27 59,97 132 46 15,37 183 00 03,07 | +0,21 -0,96 +0,74 | 88 28 02,32 132 46 18,31 183 00 04,86 |
| | 8 | | | | | | | |
| | 9 | | | | | | | |
| | | | | $z_0 = 88^\circ 27' 59,97''$ | | | -0,01 | |
| | 10 | C A B | 0 00 00,00 46 32 26,20 90 18 14,50 | 3 00 03,81 49 32 32,42 93 18 17,80 | 3 00 03,81 06,22 03,30 | 3 00 04,44 49 32 30,64 93 18 18,94 | -0,63 +1,78 -1,14 | 3 00 04,86 49 32 31,59 93 18 17,80 |
| | 11 | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | |
| | | | | $z_0 = 3^\circ 00' 04,44''$ | | | +0,01 | |

Таблица 38

| Обозначение пункта | Наблюдаемый пункт | № направления | ξ_a^a | η_a^b | ξ_c^d | η_c^d | w | z |
|--------------------|----------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| <i>B</i> | <i>D</i> <i>C</i> <i>A</i> | <i>1</i> | | | | | +3,220 | +3,220 |
| | | <i>2</i> | | | | | -1,650 | +5,469 |
| | | <i>3</i> | 0,000 | +7,208 | +3,700 | +3,419 | | |
| | | Σ $-\frac{\Sigma}{3}$ | 0,000 0,000 | +7,208 -2,403 | +3,700 -1,233 | +3,419 -1,140 | -0,010 +0,003 | +14,317 -4,772 |
| <i>A</i> | <i>B</i> <i>D</i> <i>C</i> | <i>4</i> | 0,000 | -7,208 | | | -0,970 | +6,238 |
| | | <i>5</i> | -3,800 | +3,242 | | | +1,950 | +1,392 |
| | | <i>6</i> | -6,857 | +0,183 | +6,857 | -0,183 | -0,990 | -0,990 |
| | | Σ $-\frac{\Sigma}{3}$ | -10,657 +3,552 | +10,633 -3,544 | +6,857 -2,286 | -0,183 +0,061 | -0,010 +0,003 | +6,640 -2,213 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---------------------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| C | A | 7 | —6,857 | +0,183 | +6,857 | —0,183 | +0,210 | +0,210 |
| | B | 8 | | | +3,700 | +3,419 | —0,960 | +6,159 |
| | D | 9 | | | —0,415 | +7,914 | +0,740 | +8,239 |
| | | Σ $-\frac{\Sigma}{3}$ | —6,857 +2,286 | +0,183 —0,071 | +10,142 —3,381 | +11,150 —3,717 | —0,010 —0,003 | +14,608 —4,869 |
| | C | 10 | | | —0,415 | +7,914 | —0,630 | +6,869 |
| | A | 11 | —3,800 | +3,242 | | | +1,780 | +1,222 |
| | B | 12 | | | | | —1,140 | —1,140 |
| | | Σ $-\frac{\Sigma}{3}$ | —3,800 +1,267 | +3,242 —1,081 | —0,415 +0,138 | +7,914 —2,638 | +0,010 —0,003 | +6,951 —2,317 |

Таблица 39

| <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>w</i> | <i>s</i> |
|----------|--------------------|-------------------------------|------------------------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 0,000 | 0,000 +34,634 | 0,000 —8,887 +9,128 | 0,000 —8,217 +8,432 +7,792 | 0,000 —11,367 —6,094 —5,631 +15,587 | 0,000 +6,170 +2,559 +2,383 —7,500 +3,632 |
| 23,604 | —24,193 +24,816 | —22,656 +23,052 +31,344 | +0,605 +0,616 —0,836 —0,022 | —0,654 —0,819 —6,768 +0,181 +5,723 | +25,083 +25,764 —21,963 +0,586 —2,334 +27,136 |
| 31,343 | —0,837 +0,022 | —23,835 +0,636 +26,591 | +26,742 —0,714 —29,587 +32,909 | —1,461 +0,039 —2,389 +2,569 +1,513 | +31,947 —0,853 —28,572 +31,933 +0,277 +34,732 |
| +9,625 | —8,212 +7,006 | —0,524 +0,447 +0,115 | +10,024 —8,552 —2,190 —41,754 | —26,753 +5,761 +0,263 —5,010 +4,865 | +4,161 —3,550 +1,889 +36,025 —0,876 +33,871 |
| +66,572 | +15,144 +66,478 | —47,015 —30,856 +67,178 | +37,371 —16,867 —24,181 +82,477 | —8,869 —6,386 —14,988 —7,891 +27,688 | +61,191 +27,531 —49,865 +70,927 —10,433 +99,371 |

Базисы могут быть измерены при помощи светодальномера или проволоками со средней квадратической ошибкой, не превышающей 1 см, а углы — с точностью соответствующего класса или разряда триангуляции с тем, чтобы снесенный пункт соответствовал по точности пункту, расположенному на здании или сооружении.

Углы при снесении координат часто приходится измерять в неблагоприятных условиях, поэтому при наблюдении с пункта триангуляции на знаки полигонометрии и наоборот необходимо измерять углы наклона и отсчитывать концы пузырька уровня при алидаде горизонтального круга теодолита.

Таблица 40

| № на- правления | $a\xi_a$ | $b\eta_a$ | $c\xi_c$ | $d\eta_d$ | w | v |
|---------------------|----------|-----------|----------|-----------|--------|--------|
| 1 | | | | | +3,220 | +0,914 |
| 2 | | | +3,285 | +0,610 | -1,650 | -0,061 |
| 3 | 0,000 | +3,033 | | | -1,580 | -0,853 |
| $-\frac{\Sigma}{3}$ | | -1,011 | -1,095 | -0,203 | +0,003 | -2,306 |
| 4 | 0,000 | +3,033 | | | | |
| 5 | -2,211 | +1,364 | | | | |
| 6 | -3,990 | +0,007 | +6,088 | -0,033 | +1,950 | -0,337 |
| | | | | | -0,990 | -0,288 |
| $-\frac{\Sigma}{3}$ | +2,067 | -1,491 | -2,030 | +0,011 | +0,003 | -1,440 |
| 7 | -3,990 | +0,077 | +6,088 | -0,033 | | -0,006 |
| 8 | | | +3,285 | +0,610 | +0,210 | +0,577 |
| 9 | | | -0,368 | +1,412 | -0,960 | -0,574 |
| | | | | | +0,740 | |
| $-\frac{\Sigma}{3}$ | +1,330 | -0,026 | -3,002 | -0,663 | +0,003 | -2,358 |
| 10 | | | -0,368 | +1,412 | -0,630 | +0,345 |
| 11 | -2,211 | +1,364 | | | +1,780 | +0,864 |
| 12 | | | | | -1,140 | -1,209 |
| $-\frac{\Sigma}{3}$ | +0,737 | -0,455 | +0,123 | -0,471 | -0,003 | -0,069 |

Практика работ по триангуляции в городах показала, что пункты, расположенные на здании, часто по различным причинам могут терять видимость на соседние пункты. Поэтому необходимо в короткий срок произвести определение элементов центрировки и редукции в период наблюдения триангуляции на этом пункте. В противном случае придется засекать этот пункт с земли без наблюдений на этом пункте триангуляции, а исходный дирекционный угол получать из астрономических наблюдений, что гораздо сложнее.

Уравнивание редукционной задачи по определению координат и исходных дирекционных углов производят способом условий. Составляют систему уравнений для угловых измерений

$$\alpha_1 + \beta_1 + \gamma_1 + w_1 = 0;$$

$$\alpha_2 + \beta_2 + \gamma_2 + w_2 = 0;$$

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \delta_1 + \delta_2 + w_3 = 0.$$

Таблица 41

| Обозначение угла | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>ak</i> ₁ | <i>bk</i> ₂ | <i>ck</i> ₃ | <i>v</i> | <i>v</i> ² |
|------------------|----------|----------|----------|------------------------|------------------------|------------------------|----------|-----------------------|
| α_1 | +1 | | | -1,867 | | | -1,867 | 3,485 |
| β_1 | +1 | | | -1,867 | | | -1,867 | 3,485 |
| γ_1 | +1 | | +1 | -1,867 | | +0,600 | -1,267 | 1,648 |
| α_2 | | +1 | | | +2,467 | | +2,467 | 6,086 |
| β_2 | | +1 | | | +2,467 | | +2,467 | 6,086 |
| γ_2 | | +1 | +1 | | +2,467 | +0,600 | +3,067 | 9,406 |
| δ_1 | | | +1 | | | +0,600 | +0,600 | 0,360 |
| δ_2 | | | +1 | | | +0,600 | +0,600 | 0,360 |
| | | | | | | | | $\Sigma 30,916$ |

$$m = \sqrt{\frac{30,9}{3}} = \sqrt{10,3} = 3,2''$$

Таблица 42

| <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>w</i> | <i>s</i> | <i>kv</i> |
|----------------|----------------|----------------|----------|----------|------------------|
| +3 | 0 | +1 | +5 | +9 | 8,33 |
| -1,667 | 0 | +0,333 | +1,667 | +2 | |
| -0,200 | 3 | +1 | -8 | -4 | 21,34 |
| $k_1 = -1,867$ | +2,667 | +0,333 | -2,667 | -1,333 | +1,20 |
| | -0,200 | 4 | -3 | | |
| | $k_2 = +2,467$ | +0,667 | -1 | | |
| | | +3,333 | -2 | +1,333 | |
| | | $k_3 = +0,600$ | -0,600 | +0,400 | |
| | | | | | $\Sigma = 30,87$ |

Свободный член w_3 получается как разность между суммой углов на пункте и разностью исходных дирекционных углов *DE* и *DF*. Эти уравнения записывают в табличной форме (табл. 41). Решение нормальных уравнений дано в табл. 42.

После решения нормальных уравнений и определения поправок к измеренным углам производят контрольные вычисления

Таблица 43

| Обозначение пункта | Уравненный угол | \sin угла | Длина стороны, м |
|-----------------------|--------------------|-------------|------------------|
| <i>A</i> | 26°56'22" | 0,453 049 | 130,414 |
| <i>C</i> | 91 54 29 | 0,999 446 | 287,698 |
| <i>D</i> | 61 09 09 | 0,875 907 | 252,137 |
| <i>B</i> | 26 56 22 | 0,453 049 | 130,413 |
| <i>C</i> | 92 17 11 | 0,999 204 | 287,627 |
| <i>D</i> | 60 46 27 | 0,872 702 | 251,213 |
| <i>A</i> | 29 01 58 | 0,485 309 | 287,627 |
| <i>B</i> | 29 02 26 | 0,485 429 | 287,698 |
| <i>D</i> | 121 55 36 | 0,848 726 | 503,013 |

по формуле $[kw]=[v^2]$, вводят эти поправки в измеренные углы и решают треугольники (табл. 43).

После определения поправок к углам α_1 и α_2 выполняют решение последнего треугольника по формуле

$$\operatorname{tg} B' = \frac{\sin C}{\frac{a}{b} \cos C}.$$

$\angle C = \beta_1 + \beta_2 = 91^\circ 54' 29'' + 92^\circ 17' 11'' = 184^\circ 11' 40''$; $a/b = 251,213 : 252,137 = 0,9963355$; $(a/b) - \cos C = 0,9973216 + 0,9963355 = 1,9936571$. Зная, что $\sin C = 0,0731415$, определяют $\operatorname{tg} B' = 0,0366871$; $B' = 2^\circ 06' 04''$; $A' = 2^\circ 05' 36''$. Следовательно, $\angle A = \alpha_1 + 2^\circ 05' 36'' = 29^\circ 01' 58''$; $\angle B = \alpha_2 + 2^\circ 06' 04'' = 29^\circ 02' 26''$. $AB = c_1 \cos A + c_2 \cos B = 252,137 \cos 2^\circ 05' 36'' + 251,213 \cos 2^\circ 06' 04'' = 251,044 + 251,969 = 503,013$. Контролем вычислений служит равенство: $252,137 \sin 2^\circ 05' 36'' = 251,213 \sin 2^\circ 06' 04'' = 9,210$. Так как в данном случае углы при точке *C* примерно одинаковые, то $CD = AD \sin A - 9,210 = BD \sin B - 9,210 = 139,623 - 9,210 = 130,413$. Как правило, расхождения в определении длины стороны из смежных треугольников не превышают 1 см, по средним значениям определяют координаты пункта *C*.

ГЛАВА 3

ТРИЛАТЕРАЦИЯ

Способ трилатерации заключается в том, что в системе треугольников, образующих сети, производятся только линейные измерения сторон, а углы в треугольниках находят путем вычислений. Наличие современных светодальномеров позволяет измерять стороны треугольников с необходимой точностью. Трилатерацию целесообразно применять в местности, открытой и удобной для линейных измерений.

Таблица 44

| Показатели | Трилатерация | | |
|----------------------------------------------------------------|--------------|----------|----------|
| | 4 класс | 1 разряд | 2 разряд |
| Длина стороны треугольника (наименьшая — наибольшая), км | 2—5 | 0,5—5 | 0,25—3 |
| Относительная ошибка измерения сторон по внутренней сходимости | 1/100 000 | 1/50 000 | 1/20 000 |
| Наименьшее значение угла треугольника*, угл. градус | 20 | 20 | 20 |
| Число треугольников между исходным пунктом и исходной стороной | 10 | 10 | 10 |

* При меньших значениях углов треугольников применяется линейно-угловая триангуляция, обоснованная проектом.

Трилатерация 4 класса, 1 и 2 разрядов, развиваемая на территориях городов, поселков и промышленных площадках, должна удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 44.

§ 9. ИЗМЕРЕНИЕ СТОРОН

Измерение сторон в сетях трилатерации выполняется в зависимости от класса или разряда светодальномерами СТ-66, 2МС-2, МСД1М, ЕОК 2000, ЕОТ 2000 и др.

Прежде чем приступить к измерению сторон трилатерации, необходимо выполнить работу по предварительной оценке точности линейных измерений. Здесь необходимо иметь в виду, что результаты не только двукратных, но и многократных измерений сторон могут лишь незначительно уменьшить ошибки измерений. Если светодальномер предназначен для измерения больших расстояний, то им необходимо измерить ряд сторон триангуляции и, таким образом, выявить его возможности для построения трилатерации. В том случае, если он предназначен для средних расстояний порядка 200—400 м, то его следует применить для измерения ряда вытянутых ходов, в которых об ошибках линейных измерений можно знать по полученным продольным невязкам.

Рассмотрим точность определения угла по трем измеренным сторонам треугольника a , b и c , лежащим соответственно против углов α , β , γ (рис. 41). Угол α вычисляют по формуле

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{(p-b)(p-c)}{bc}}, \quad (8)$$

где полупериметр $P = (a + b + c)/2$.

С учетом формулы (8)

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{a^2 - c^2 - b^2 + 2bc}{2bc},$$

откуда

$$\sin^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{a^2}{2bc} - \frac{c}{2b} - \frac{b}{2c} + 1. \quad (9)$$

Продифференцировав выражение (9), получим

$$\sin \alpha \frac{d\alpha}{2} = \frac{a}{bc} da + \left(\frac{c}{2b^2} - \frac{a^2}{2b^2c} - \frac{1}{2c} \right) db + \left(\frac{b}{2c} - \frac{a^2}{2bc^2} + \frac{1}{2b} \right) dc. \quad (10)$$

При $a = b = c$

$$\sin \alpha \frac{d\alpha}{2} = \frac{1}{a} da - \frac{1}{2a} db - \frac{1}{2a} dc.$$

Отсюда для определения средних квадратических ошибок

$$\sin^2 \alpha \frac{m_\alpha}{4} = \frac{1}{a^2} m_a^2 + \frac{1}{4a^2} m_b^2 + \frac{1}{4a^2} m_c^2$$

при

$$m_a = m_b = m_c \quad \text{и} \quad \alpha = 60^\circ$$

получим

$$m_\alpha^2 = \frac{8m_a^2}{a^2},$$

откуда

$$m_\alpha = \frac{m_a}{a} \rho \sqrt{8} = 2,8 \frac{m_a}{a} \rho;$$

$$\frac{m_a}{a} = \frac{1}{50\,000}; \quad m_\alpha = 11,7'' -$$

точность определения в трилатерации угла равностороннего треугольника.

Рассмотрим равнобедренный треугольник, в котором $\alpha = \beta = 45^\circ$, $\gamma = 90^\circ$, $a = b$, $c = a\sqrt{2}$.

Подставив в формулу (10) эти величины, получим

$$\sin \frac{d\alpha}{2} = \frac{1}{a\sqrt{2}} da - \frac{1}{2a} dc.$$

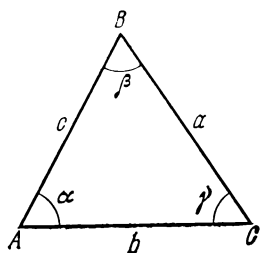


Рис. 41. Схема трилатерации

Переходя к средним квадратическим ошибкам, при одинаковой относительной точности измерения сторон a и c можно считать, что $m_c = m_a \sqrt{2}$, тогда

$$\sin^2 \alpha \frac{m_a^2}{4} = \frac{1}{2a^2} m_a^2 + \frac{2}{4a^2} m_a^2 = \frac{m_a^2}{a^2}$$

или

$$m_\alpha = \frac{2}{\sin \alpha} \cdot \frac{m_a}{a} \rho.$$

При

$$\alpha = 45^\circ, \quad \sin \alpha = 0,707 \quad m_\alpha = 2,8 \frac{m_a}{a} \rho.$$

В равнобедренном прямоугольном треугольнике острый угол определяют с той же погрешностью, что и угол в равностороннем треугольнике.

Рассмотрим прямоугольный треугольник, в котором угол $\gamma = 90^\circ$, угол $\beta = 60^\circ$ и угол $\alpha = 30^\circ$, тогда $b = a\sqrt{3}$; $c = 2a$. Подставляя эти значения в формулу (10), получим

$$\sin \alpha = \frac{1}{2a\sqrt{3}} da - \frac{1}{4a\sqrt{3}} dc.$$

Для получения средних квадратических ошибок

$$\sin^2 \alpha \frac{m_a^2}{4} = \frac{1}{12a^2} m_a^2 + \frac{1}{48a^2} m_c^2.$$

При одинаковой относительной ошибке измерения сторон a и c можно считать, что $m_c = 2m_a$, тогда

$$\frac{\sin^2 \alpha}{4} m_a^2 = \frac{1}{6a^2} m_a^2,$$

откуда

$$m_\alpha = \frac{2}{a\sqrt{6} \sin \alpha} m_a.$$

Так как $\sin 30^\circ$ равен $1/2$, то

$$m_\alpha = \frac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{m_a}{a} \rho.$$

При

$$\frac{m_a}{a} = \frac{1}{50\,000} \quad m_\alpha = 6,8''.$$

Произведя аналогичные расчеты для прямоугольного треугольника при $\alpha = 60^\circ$, $\beta = 30^\circ$, получим

$$m_\alpha = \sqrt{6} \frac{m_a}{a} \rho \quad \text{и} \quad m_\alpha = 20''.$$

Таким образом, в трилатерации при одинаковой ошибке измерения сторон чем меньше угол, тем с большей точностью он определяется. Поэтому по трем измеренным сторонам треугольника следует сначала определить более острый угол, а затем, пользуясь его значением, по формуле синусов вычислить значения других углов.

§ 10. УРАВНИВАНИЕ ТРИЛАТЕРАЦИИ

Наиболее простой фигурой в трилатерации считается четырехугольник, в котором измерены все стороны и диагонали (см. рис. 40). Помимо необходимых измерений дополнительно измерена сторона, которая позволяет составить одно нормальное уравнение для оценки точности измерений. Уравнивание сторон можно выполнить способом условий, а также способом необходимых неизвестных, а по математическим приемам решения исходных уравнений соответственно способом коррелат или параметрическим способом.

Для уравнивания геодезического четырехугольника целесообразно применить способ условий. Уравнивание начинают с решения треугольников, заданных его измеренными сторонами, по формуле

$$\cos A = \frac{2p(p-a)}{bc} - 1, \quad (11)$$

где a , b , c — стороны треугольника; $2p$ — периметр. По этой формуле определяют угол, лежащий против меньшей стороны треугольника. Остальные два угла определяются на основании равенства

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}. \quad (12)$$

Контролем решения треугольника ABC является равенство $A+B+C=180^{\circ}00'00''$.

Для составления уравнения используют углы, вычисленные на пунктах A , B , C и D . Для пунктов A , B и C свободный член уравнения получается путем сравнения суммы двух углов с общим углом, а в пункте D он определяется невязкой суммы всех трех углов. Пример решения треугольников и вычисление коэффициентов для решения уравнений по способу условий представлен в табл. 45.

Коэффициенты вычисляют для каждого треугольника, имеющего один из углов α_1 , α_2 и α_3 , на основании равенства

$$\rho \left(\frac{a}{bc \sin A} - \frac{b - c \cos A}{bc \sin A} - \frac{c - b \cos A}{bc \sin A} \right) k + w = 0,$$

которое можно записать в виде

$$\frac{\rho}{bc \sin A} [a - (b - c \cos A) - (c - b \cos A)] k + w = 0.$$

Таблица 45

| Обозначение пункта | Угол треугольника | \sin угла | Сторона треугольника, м | Вычисление коэффициентов |
|-----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------|-------------------------|------------------------------------------------|
| <i>D</i> | 116°34'03,33" | 0,894 4074 | 721,1005 | $\cos \alpha_1 = 0,44724$ |
| <i>C</i> | 33 41 27,86 | 0,554 7148 | 447,2293 | $bc \sin \alpha_1 = 160\ 000$ |
| <i>A</i> | 29 44 28,76 | 0,496 0849 | 399,9600 | $f_1 = \frac{\rho}{bc \sin \alpha_1} = 1,2891$ |
| | 179 59 59,95 | | | |
| <i>D</i> | 116 34 05,96 | 0,894 4017 | 721,1275 | $\cos \alpha_2 = 0,44724$ |
| <i>C</i> | 33 41 30,43 | 0,554 7251 | 447,2572 | $bc \sin \alpha_2 = 160\ 010$ |
| <i>B</i> | 29 44 23,60 | 0,496 0633 | 399,9600 | $f_2 = \frac{\rho}{bc \sin \alpha_2} = 1,2891$ |
| | 179 59 59,99 | | | |
| <i>D</i> | 126 51 25,05 | 0,800 1356 | 800,0079 | $\cos \alpha_3 = 0,59972$ |
| <i>A</i> | 26 34 20,71 | 0,447 3286 | 447,2572 | $bc \sin \alpha_3 = 160\ 043$ |
| <i>B</i> | 26 34 14,25 | 0,447 3006 | 447,2293 | $f_3 = \frac{\rho}{bc \sin \alpha_3} = 1,2886$ |
| | 180 00 00,01 | | | |
| <i>C</i> | 67 22 50,00 | 0,923 0797 | 800,0079 | |
| <i>A</i> | 56 18 40,91 | 0,832 0642 | 721,1275 | |
| <i>B</i> | 56 18 25,00 | 0,832 0213 | 721,1005 | |
| | 179 59 55,91 | | | |
| $D\alpha_1$ α_2 α_3 | 116 34 03,33 116 34 05,96 126 51 25,05 | | | |
| | 359°59'34,34" | $w = -25,66''$ | | |

Решение этих треугольников позволит получить сумму углов при пункте *D* и невязку $w = (\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - 360^\circ)$, которую вычисляют с точностью до 0,01".

Пример вычисления коэффициентов для каждого треугольника приведен в табл. 46.

Решение нормальных уравнений и получение поправок с контролем $[kv] = [\delta^2]$, где δ — поправки в измеренные стороны, представлено в табл. 47.

Нормальное уравнение

$$11,1672k - 25,66 = 0; \quad k = 1,450; \quad kv = 58,96;$$

Таблица 46

| Схема решения | Значение величины | Схема решения | Значение величины | Схема решения | Значение величины |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| a_1 $a_1 f_1$ $(a_1 f_1)^2$ | +0,7211 0,9296 0,8642 | b_1 $-c \cos \alpha_1$ $b_1 - c_1 \cos \alpha_1$ $(b_1 - c_1 \cos \alpha_1) f_1$ | +0,4472 +0,1789 +0,6261 +0,8071 | c_1 $-b \cos \alpha_1$ $c_1 - b_1 \cos \alpha_1$ $(c_1 - b_1 \cos \alpha_1) f_1$ | +0,4000 +0,2000 +0,6000 +0,7735 |
| a_2 $a_2 f_2$ $(a_2 f_2)^2$ | 0,7211 0,9296 0,8642 | c $-d \cos \alpha_2$ $c - d \cos \alpha_2$ $(c - d \cos \alpha_2) f_2$ | +0,4000 +0,2000 +0,600 +0,7735 | d $-c \cos \alpha_2$ $d - c \cos \alpha_2$ $(d - c \cos \alpha_2) f_2$ | +0,4473 +0,1789 +0,6262 +0,8071 |
| a_3 $a_3 f_3$ $(a_3 f_3)^2$ | 0,8000 1,0313 1,0636 | b $-d \cos \alpha_3$ $b - d \cos \alpha_3$ $(b - d \cos \alpha_3) f_3$ | +0,4472 +0,2683 +0,7155 +0,9224 | d $-b \cos \alpha_3$ $d - b \cos \alpha_3$ $(d - b \cos \alpha_3) f_3$ | +0,4473 +0,2683 +0,7156 +0,9224 |
| $(b - c \cos \alpha_1) f_1$ $(b - d \cos \alpha_3) f_2$ Σb $(\Sigma b)^2$ | +0,8071 +0,9224 +1,7295 2,9911 | $(c - b \cos \alpha_1) f_1$ $(c - d \cos \alpha_2) f_2$ Σc $(\Sigma c)^2$ | +0,7735 +0,7735 +1,5470 2,3930 | $(d - c \cos \alpha_2) f_2$ $(d - b \cos \alpha_3) f_3$ Σd $(\Sigma d)^2$ | +0,8071 +0,9224 +1,7295 2,9911 |

Таблица 47

| Обозначение стороны | Коэффициент нормального уравнения | Коэффициент условного уравнения | Поправка в длину стороны v | v^2 | Длина измеренной стороны, м | Уравненная сторона, м |
|---------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------|
| a_1 | 0,8642 | 0,9296 | +2,136 | 4,56 | 721,1005 | 721,1026 |
| a_2 | 0,8642 | 0,9296 | +2,135 | 4,56 | 721,1275 | 721,1296 |
| a_3 | 1,0636 | 1,0313 | +2,370 | 5,62 | 800,0079 | 800,0103 |
| b | 2,9911 | 1,7295 | -3,974 | 15,80 | 447,2293 | 447,2253 |
| c | 2,3930 | 1,5470 | -3,555 | 12,63 | 399,9600 | 399,9564 |
| d | 2,9911 | 1,7295 | -3,974 | 15,80 | 447,2572 | 447,2532 |
| | 11,1672 | | | 58,97 | | |

$$m = \sqrt{58,96} = 7,68 \text{ мм.}$$

Вычисление заканчивается решением всех четырех треугольников (табл. 48).

Поправки в измеренные стороны определяют по величине и знаку невязок.

Таблица 48

| Обозначение пункта | Уравненный угол | sin угла | Уравненная сторона, м |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------------------|
| <i>D</i> | 116°34'11,62" | 0,8943894 | 721,1026 |
| <i>C</i> | 33 41 23,45 | 0,5546970 | 447,2253 |
| <i>A</i> | 29 44 24,90 | 0,4960687 | 399,9564 |
| | 179 59 59,97 | | |
| <i>D</i> | 116 34 13,53 | 0,8943853 | 721,1296 |
| <i>C</i> | 33 41 26,30 | 0,5547085 | 447,2532 |
| <i>B</i> | 29 44 20,08 | 0,4960484 | 399,9564 |
| | 179 59 59,91 | | |
| <i>D</i> | 126 51 34,65 | 0,8001076 | 800,0103 |
| <i>A</i> | 26 34 15,90 | 0,4473077 | 447,2532 |
| <i>B</i> | 26 34 09,45 | 0,4472798 | 447,2253 |
| | 180 00 00,00 | | |
| <i>C</i> | 67 22 49,65 | 0,9230791 | 800,0103 |
| <i>A</i> | 56 18 40,86 | 0,8320640 | 721,1296 |
| <i>B</i> | 56 18 29,30 | 0,8320329 | 721,1026 |
| | 179 59 59,81 | | |

Контроль вычисления углов по общему треугольнику

| Пункт <i>A</i> | Пункт <i>B</i> | Пункт <i>C</i> |
|--------------------------|------------------|-----------------------------------------|
| 26° 34'15,90" | 26°34'09,45" (3) | 33°41'23,45" (1) |
| 29 44 24,90 | 29 44 20,08 (2) | 33 41 26,30 (2) |
| 56 18 40,80 | 56 18 29,53 | 67 22 49,75 |
| 56 18 40,86 (4) | 56 18 29,30 (4) | 67 22 49,65 (4) |
| Пункт <i>D</i> | По табл. 48 | δ |
| α_1 116°34'11,62" | 116°34'09,33" | 8,29 |
| α_2 116 34 13,53 | 116 34 05,96 | 7,57 |
| α_3 126 51 34,65 | 126 51 25,05 | 9,60 |
| Σ 359 59 59,80 | 359 59 34,34 | 25,46 |
| | | $[\delta^2] = 218,18;$ $m = 14,77''$ |

ПОЛИГОНОМЕТРИЯ

§ 11. ЦЕЛЬ И НАЗНАЧЕНИЕ ГОРОДСКОЙ ПОЛИГОНОМЕТРИИ

Основой построения полигонометрических сетей в городах служит государственная сеть триангуляции 3 и 4 классов.

Ввиду того, что сети полигонометрии создаются для обоснования топографических работ в масштабе 1:5000 и крупнее, а также для ряда инженерных работ, одиночные ходы в этом случае будут сравнительно редким явлением, так как большую плотность пунктов, равномерно расположенных на местности, особенно в застройке, невозможно создать одиночными ходами.

Полигонометрические сети, созданные в виде полигонов или других систем с узловыми пунктами, обуславливают неременную необходимость строгого совместного уравнивания всей сети в границах, определенных данной системой пунктов высшего класса или разряда. Смежные сети полигонометрии могут уравниваться независимо друг от друга при условии, если они не имеют между собой связи или имеющаяся слабая связь будет искусственно разорвана. Уравнивание сложной полигонометрической сети по методу наименьших квадратов выполняется строгими методами, имеющими неоспоримое преимущество перед приближенными способами.

В небольших городах, где развитие сетей триангуляции не требуется, а возможность ее построения с небольшим числом пунктов затруднительна, полигонометрическая сеть служит основой для съемочных работ и инженерно-геодезических построений:

- вынос проектов планировки и застройки городов в натуру; разбивка трасс городских подземных сетей (водопровода, канализации, газопровода, телефонной и электрической сетей, теплотфикации и т. д.);

- перенос и контроль красных линий, постоянные наблюдения за строящимися зданиями и сооружениями в промышленном, гражданском и жилищном строительстве;

- специальная съемка, связанная с благоустройством и инженерным оборудованием городов;

- проектирование и строительство метрополитена, каналов и мостов.

§ 12. КЛАССЫ И РАЗРЯДЫ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ И ИХ ТОЧНОСТЬ

Полигонометрические сети в городах и поселках, на территориях промышленных предприятий и в сельских населенных местностях могут состоять из ходов 4 класса, 1 и 2 разрядов и должны выполняться с соблюдением требований, приведенных в табл. 49.

Таблица 49

| Показатели | Полигонометрия | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------|--------------|
| | 4 класса | 1 разряда | 2 разряда |
| Предельная длина хода между опорными пунктами, км | 15 | 5 | 3 |
| Периметр полигонов, образованных полигонометрическими ходами в свободных сетях (не более), км | 30 | 15 | 9 |
| Длина стороны хода* (наименьшая, наибольшая), км | 0,25; 0,80 | 0,12; 0,60 | 0,80; 0,30 |
| Длина хода от узловой точки до пункта высшего класса или разряда (не более), км | 7 | 3 | 2 |
| Число сторон в ходе между опорными пунктами (не больше) | 15 | 15 | 15 |
| Предельная относительная невязка хода | 1/25 000 | 1/10 000 | 1/5000 |
| Средняя квадратическая ошибка измерения угла (по невязкам ходов), угл. с | 3 | 5 | 10 |
| Угловая невязка хода или полигона (n — число углов в ходе или полигоне), угл. с | $5\sqrt{n}$ | $10\sqrt{n}$ | $20\sqrt{n}$ |
| Расстояние между смежными ходами полигонометрии, при котором производится их взаимная связь, км | 3 | 1,5 | — |

* Длины сторон должны быть примерно равными и в необходимых случаях могут быть увеличены.

При уравнивании по методу наименьших квадратов на каждом узловом пункте полигонометрии должен быть определен исходный независимый дирекционный угол путем передачи с пункта триангуляции или из астрономических наблюдений со средней квадратической ошибкой (по сходимости прямого дирекционного угла с обратным), не превышающей соответственно 3, 5 и 10". В любом случае исходный дирекционный угол определяется, если число сторон в ходе более 15, а также при расстоянии между опорными пунктами более 3 км.

§ 13. УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерение углов в городских полигонометрических сетях выполняется по трехштативной системе оптическими теодолитами способом круговых приемов. Число приемов указано в табл. 50.

Теодолит и визирные марки должны устанавливаться над центрами пунктов с точностью 1 мм.

Описание и поверки теодолитов, применяемых при измерении углов полигонометрии, см. в гл. II.

Таблица 50

| Тип теодолита | Число приемов в полигонометрии | | |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| | 4 класса | 1 разряда | 2 разряда |
| T1 | 4 | — | — |
| T2, Theo 010 и равноточные им | 6 | 2 | 2 |
| T5 и равноточные ему | — | 3 | 2 |

Основные источники ошибок при измерении углов:

1. Ошибки, возникающие непосредственно в процессе измерения угла. К ним относятся ошибки визирования, отсчета, влияния остаточных погрешностей при юстировке, теодолита, ошибки смещения штатива и прибора во время измерений, а также личные ошибки наблюдателя.

Ошибкой собственно измерения угла является влияние коллимационной ошибки Δc на измеренное направление

$$\Delta c = c / \cos \alpha, \quad (13)$$

где c — коллимационная ошибка теодолита; α — угол наклона трубы при визировании на пункт.

Это влияние исключается, когда направление наблюдается при разных положениях трубы (КП и КЛ), а коллимационная ошибка остается постоянной во время измерений. Если коллимационная ошибка изменяется (например, при различной фокусировке), то влияние остаточной ошибки тем больше, чем больше угол наклона α . В этом случае угол будет содержать ошибку

$$\Delta c = \frac{1}{2} \left(\frac{\delta_2^{(c)}}{\cos \alpha_2} - \frac{\delta_1^{(c)}}{\cos \alpha_1} \right), \quad (14)$$

где $\delta_1^{(c)}$ и $\delta_2^{(c)}$ — изменение коллимационной ошибки при переходе от измерений при КП к измерению при КЛ для направлений 1 и 2, определяющих измеряемый угол. Из формулы (14) видно, что влияние коллимационной ошибки на измеренный угол тем больше, чем больше разница в величинах $\delta^{(c)}$ и в абсолютных величинах углов α .

Влияние наклона оси вращения зрительной трубы прибора на измеряемое направление

$$(i) = i \operatorname{tg} \alpha,$$

где i — угол наклона оси вращения трубы; α — угол наклона трубы.

В случае когда вертикальная ось прибора приведена в отвесное положение, это влияние будет исключено из среднего значения двух измерений при различных положениях трубы при условии, что угол между осью вращения трубы и вертикальной осью прибора остается неизменным.

Если вертикальная ось прибора несколько уклоняется от отвесного положения, то это вызовет появление ошибки, определяемой формулой

$$\Delta i = \frac{1}{2} (\delta_2^{(i)} \operatorname{tg} \alpha_2 - \delta_1^{(i)} \operatorname{tg} \alpha_1),$$

где $\delta_1^{(i)}$ и $\delta_2^{(i)}$ — среднее значение угла наклона оси вращения трубы при КП и КЛ для направлений 1 и 2, определяющих угол; α_1 и α_2 — углы наклона трубы.

Влияние наклона вертикальной оси теодолита не компенсируется измерением угла при двух положениях трубы. В полигонометрии при сравнительно коротких сторонах разность в углах наклона может достигать нескольких градусов, поэтому следует особенно тщательно приводить вертикальную ось теодолита в отвесное положение.

К другим приборным ошибкам относятся азимутальные ошибки смещения теодолита, для уменьшения которых следует надежно устанавливать штатив над центром пункта, крепко затягивать винты, скрепляющие ножки штатива с головкой, и места соединения раздвижных ножек, а также проверять регулировку вращения подъемных винтов. Рекомендуется перед измерением углов исследовать теодолит в отношении азимутальных сдвигов в условиях, близких к полевым.

2. Ошибки от воздействия внешней среды. К этим ошибкам следует отнести ошибки, возникающие от нагревания теодолита лучами солнца, влияния температуры воздуха и колебания изображений и т. д.

Ошибки, возникающие под влиянием неравномерного нагрева теодолита, можно значительно уменьшить, закрывая теодолит зонтом от воздействия прямых лучей солнца. Для уменьшения ошибок необходимо измерение углов производить в часы наиболее спокойных изображений. При ветре средней силы полезно для ослабления колебаний изображения теодолит и штатив прикрыть зонтом со стороны ветра. Визирный луч не должен проходить низко над землей и близко от местного предмета, так как несоблюдение условия рефракции значительно влияет на результаты измерения углов.

3. Ошибки центрирования и редукции теодолита и марок над пунктами. Для ослабления влияния ошибок редукций и центрирования необходимо применять трехштативную систему. Когда теодолит и марки центрируют с одинаковой точностью, совместное влияние ошибок центрирования

и редукции (в ходе с равными сторонами)

$$m_{cr} = \frac{e\rho}{s} \sqrt{2},$$

а в случае хода с разными сторонами ошибка центрирования

$$m_c^2 = \frac{e^2 \rho^2}{2} \cdot \frac{s_{AC}^2}{s_A^2 s_C^2},$$

где

$$s_{AC} = s_A + s_C.$$

Ошибка редукции

$$m_r^2 = \frac{e_1^2 \rho^2}{2} \left(\frac{1}{s_A^2} + \frac{1}{s_C^2} \right).$$

Важнейшим условием получения хороших результатов в угловых измерениях является устойчивость теодолита и визирных марок. Поэтому штатив теодолита должен быть прочным и обеспечивать устойчивость прибора. Грунт должен быть твердым.

Во избежание кручения штатива от нагревания солнцем при наблюдении применяют зонт. При установке штатива на асфальте в жаркую погоду или на тающем льду весной необходимо концы ножек штатива засыпать землей или снегом.

Кроме того, необходимо обращать внимание на правильную работу подъемных винтов, так как даже небольшой люфт в осях вызывает смещение теодолита при вращении лимба или алидадного круга. Только обеспечив неподвижность прибора, можно приступить к выявлению тех или иных ошибок, связанных с самим прибором.

Как показала практика и проведенные расчеты в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов, когда стороны не больше 500 м, при измерении углов должна применяться трехштативная система.

Угловые измерения в триангуляции выполняются в более благоприятных условиях в том смысле, что пункты триангуляции находятся на возвышенных местах. В полигонометрической сети 1 и 2 разрядов угловые измерения почти всегда выполняют со штатива в пределах 1—2 м над поверхностью земли. Отсюда значительное влияние рефракции, способное исказить измеряемый угол на величину до 10". Определить это влияние пока нет возможности, и поэтому в практике принимают одинаковую точность каждого измеренного угла. Эту точность получают по угловым невязкам между независимыми исходными дирекционными углами, а также по невязкам в полигонах, такая оценка является приближенной.

Точность угловых измерений можно определить также по вытянутым ходам полигонометрии, пользуясь их линейным поперечным сдвигом, когда невязки углов распределены поровну на каждый угол. Достаточно сделать 8—10 таких определений, чтобы иметь возможность вычислить веса угловых измерений при уравнивании полигонометрии.

Угловые измерения следует организовать так, чтобы невязки в углах были минимальными. Углы следует измерять независимо от других видов работ, что позволит создать одинаковые условия наблюдения для всех углов.

Марки и теодолит следует устанавливать над центрами с точностью 1 мм.

Когда нет возможности установить теодолит над центром пункта и величина линейного элемента приведения более 30 см, то элементы приведения определяют аналитическим способом. Горизонтальные направления и углы не должны измеряться при неблагоприятных условиях видимости, при расплывчатых или сильно колеблющихся изображениях. В солнечные дни не рекомендуется производить измерения углов во время, близкое к восходу или заходу солнца. Следует придерживаться теневой стороны улицы, при этом теодолит вместе со штативом должен быть защищен от непосредственного влияния лучей солнца и от ветра.

При наблюдениях необходимо соблюдать следующие правила:

правильно фокусировать зрительную трубу теодолита до начала наблюдений на данном пункте и сохранять установленную фокусировку;

не завинчивать закрепительные винты алидады и трубы слишком сильно, при работе пользоваться средней частью наводящих винтов алидады и трубы;

следить, чтобы вращение алидады и трубы было плавным; при приближенной установке алидады рекомендуется пользоваться заранее определенным отсчетом по горизонтальному кругу;

уклонение пузырька уровня от нуля-пункта не должно быть более 3 делений для накладного уровня и 2 делений для уровня при алидаде горизонтального круга;

величина двойной коллимационной ошибки не должна быть более $20''$;

наведение на визирные цели всегда должно заканчиваться винчиванием винта; если при этом нити переходят через изображение предмета, то наведение выполняют снова;

если зенитные расстояния наблюдаемых предметов отличаются в полигонометрии 4 класса от 90° на величину более 3° , а в полигонометрии 1 разряда более 4° , то в процессе наблюдений необходимо определять наклон вертикальной оси теодолита и в последующем вводить в измеренные горизонтальные направления поправки за наклон вертикальной оси.

При измерении углов по способу круговых приемов алидаду как при КП, так и при КЛ вращают по ходу часовой стрелки. При наблюдении каждого направления делают два наведения биссектора на предмет и соответственно два отсчета. Отсчеты по шкале микрометра округляют до целого деления. При движении алидады по ходу часовой стрелки в первом полуприеме трубу наводят на левый в данном приеме предмет, а затем на все последующие предметы по порядку; полуприем заканчивают наведением на начальный предмет. Затем трубу переводят через зенит и движением алидады по ходу часовой стрелки наводят ее на левый (начальный) предмет, повторяя наблюдение в том же порядке, как и в первом полуприеме.

Таким образом, для исключения систематической ошибки, возникающей от увлечения алидадой лимба, в обоих полуприемах алидаду вращают в одном направлении (по ходу часовой стрелки). Перед началом измерения алидаду вращают в направлении измерения углов на 10—15 оборотов. Несоблюдение этого правила может привести к ошибке в измерении направления более 2".

При измерениях углов на точках с двумя направлениями можно не производить замыкающего отсчета на начальный пункт.

Когда полигонометрический ход закреплен стенными знаками, а измерение углов выполняют на вспомогательных точках, в полигонометрии 4 класса направления на стенные знаки измеряют тремя круговыми приемами после окончания наблюдений на пунктах хода, не меняя установки прибора. Колебания отдельных приемов, приведенных к общему нулю, при расстоянии от вспомогательной точки до стенового знака более 10 м не должны превышать 10", при расстоянии менее 10 м — 15".

В ходах полигонометрии 1 и 2 разрядов измерение направлений начинают на переднюю и заднюю марки и заканчивают направлением на стеной полигонометрический знак. Для того чтобы не менять фокусировку, второй полуприем начинают с визирования на стеной полигонометрический знак, затем измеряют направления на переднюю и заканчивают на заднюю визирные марки.

Все записи по измерению углов заносятся в специальный полевой журнал (табл. 51).

По окончании измерения углов на станции по способу круговых приемов в журнале вычисляют значения направлений и величины двойной коллимационной ошибки. Колебания значений направлений в приемах и расхождение отсчетов на замыкающее направление в каждом полуприеме не должны превышать величин, приведенных в табл. 52.

При привязке вновь прокладываемой полигонометрической сети к ходам существующей полигонометрии в точках примыкания измеряют два примычных угла. Если измеренный угол отличается от ранее полученного более чем на $2m_p$, измерение углов следует произвести на точках ранее существовавшего хода

Таблица 51

Дата наблюдения 7 августа 1982 г.
 Видимость хорошая.
 Изображение немного колеблется.
 Погода ясная.

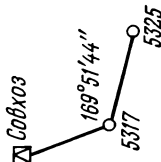
| Схема направлений | № станции | № наблюдаемого пункта | КЛ | КП | КЛ—КП | (КЛ+КП)/2 | Направление |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------|------------|-------|-----------|-------------|
|  | 5317 | Совхоз (сигн.) | 0°02'32" | 180°02'21" | + 11" | 0°02'26" | 0°0'0" |
| | | 5325 | 169 54 13 | 349 54 03 | + 10 | 169 54 08 | 169 51 42 |
| | | Совхоз (сигн.) | 90 08 17 | 270 08 04 | + 13 | 90 08 10 | 0 0 0 |
| | | 5325 | 260 00 03 | 79 59 50 | + 13 | 259 59 56 | 169 51 46 |

Таблица 52

| Тип теодолита | Расхождение отсчета на замыкающее направление в конце полуприема с начальным отсчетом | Колебание приведенного направления в отдельных приемах |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Т1 и равноточные ему приборы Т2, Тео 010, ОТС и равноточные им приборы Т5 и ему равноточные | 6" | 5" |
| | 8" | 8" |
| | 0,2' | 0,2' |

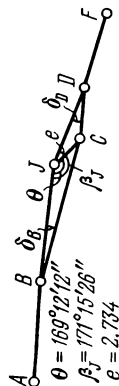


Рис. 42. Схема элементов центрировки и редукции

Таблица 53

| Обозначение пункта | Обозначение угла | Значение угла | \sin угла | Длина стороны, м | Обозначение стороны |
|-----------------------|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|------------------------|
| D J | δ_D $\beta - \theta$ | $0^\circ 03' 30''$ 2 03 14 | 0,001 019 | 2,734 | e CD |
| | | | 0,035 840 | 96,126 | |
| | | | $k = \frac{96,126}{0,035\ 840} = 2682,090$ | | |
| B J | δ_B θ | $0^\circ 18' 05''$ 169 12 12 | 0,005 262 | 2,734 | e BC |
| | | | 0,187 324 | 97,334 | |
| | | | $k = \frac{97,334}{0,187\ 324} = 519,603$ | | |

до того пункта, на котором угол будет отличаться от ранее измеренного на величину, меньшую $2m_\beta$.

При измерении углов не всегда возможно непосредственно установить теодолит и визирные марки точно над полигонометрическим центром, иногда приходится отходить с прибором от центра. Это происходит, когда после установки знаков прошло некоторое время и непосредственная видимость на соседний пункт оказалась закрытой. Если теодолит поставлен вне центра полигонометрического пункта, необходимо строго следить за тем, чтобы и марки были установлены точно на месте внецентральной установки теодолита. Тогда неточность в определении центрировки и редукции не повлияет на точность передачи дирекционного угла на следующие стороны хода.

При редукциях, меньших чем 2—4 м, следует при помощи нитки, натягиваемой через пункты J и C (рис. 42), увеличивать это расстояние. Измерение e производится стальной рулеткой в горизонтальной плоскости с применением отвеса. На рис. 42 показана одна центрировка (у точки C) и две редукции (на точках B и D).

Элементы редукции вычисляют по формулам

$$\sin \delta_B = \frac{e \sin \theta}{s_{BC}}; \quad \sin \delta_D = \frac{e \sin (\beta - \theta)}{s_{CD}}, \quad (15)$$

где θ — угол, измеренный при точке J , между пунктами B и C ; e — расстояние от точки C до J .

Решение примера по формулам (15) приведено в табл. 53.

Способы передачи дирекционного угла

При передаче дирекционного угла на промежуточную сторону полигонометрического хода почти вдвое уменьшается поперечная ошибка хода, а также уменьшается влияние азимутальной ошибки в середине хода.

Передача дирекционного угла производится в тех случаях, когда:

ход меняет свое направление;

число углов между исходными дирекционными углами больше 16;

имеются короткие стороны в любой части хода;

самостоятельные полигонометрические сети уравниваются как свободные, а дирекционные углы определяются на линиях при узловых точках.

Дирекционный угол передается на промежуточную сторону полигонометрического хода непосредственно с пункта триангуляции и обратной засечкой.

Передача дирекционного угла непосредственно с пункта триангуляции. На пункте триангуляции измеряется угол между направлениями на два-три тригонометрических пункта и направлением на пункт полигонометрии (рис. 43). При этом желательно наблюдать те направления, которые измерялись при определении пунктов триангуляции. Точность этой передачи будет надежнее, так как отсутствуют ошибки определения координат триангуляции, влияющие на определение дирекционного угла по координатам. При этом не следует брать близко расположенные пункты, особенно полученные засечкой с других пунктов триангуляции.

После передачи дирекционного угла на сторону полигонометрии (пункт Гужевой — 1742) остается передать дирекционный угол на одну из сторон хода (на 1742—1715, либо на 1742—1741), что желательно сделать сразу, наблюдая визирную марку на месте установки прибора (на пункте Гужевой).

Расстояние до пункта полигонометрии не должно быть более 2—3 км, так как при увеличении этого расстояния в значительной мере усложняются наблюдения.

Передача дирекционного угла непосредственно с пункта триангуляции на сторону примыкающего хода полигонометрии производится следующим образом: на столлик пункта триангуляции выносят центр знака и устанавливают над ним прибор, после чего производят наблюдения на пункты триангуляции и на пункт полигонометрии примыкающего хода, где рекомендуется установить марку. По окончании наблюдений углов или направлений на пункте триангуляции прибор устанавливают на пункте полигонометрии. Одну марку ставят на место прибора на столлике сигнала, а другую устанавливают над центром знака (на земле) и измеряют углы между направлением на смежный пункт полигонометрии и направлениями на марку на столлике

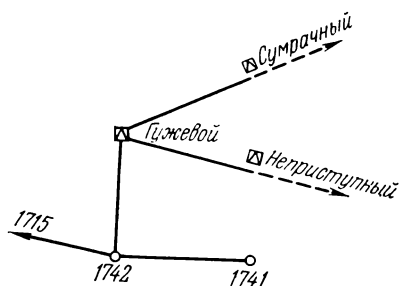


Рис. 43. Схема передачи дирекционного угла

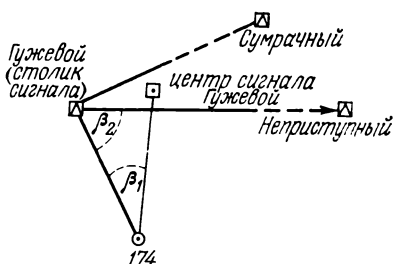


Рис. 44. Схема привязки дирекционного угла к пункту триангуляции

сигнала и центр знака. Теоретически расхождений между углами на центр знака и на центр прибора на столике не должно быть. Практически оно бывает, причем величина расхождения зависит от расстояния между пунктом полигонометрии и центром пункта триангуляции.

Марку необходимо тщательно центрировать на месте установки прибора, так как расстояние от пункта триангуляции до пункта полигонометрии, на котором ведется наблюдение при передаче дирекционного угла, обычно бывает порядка 100—150 м и грубая установка марки повлечет за собой большую ошибку в определении дирекционного угла. Так, например, установка марки на место прибора с точностью 1 см дает ошибку при расстоянии 100 м порядка 20". Измерения при передаче дирекционного угла целесообразно вести по трехштативной системе.

Измерение углов на пункте полигонометрии при привязке к пункту триангуляции производится следующим образом. Теодолитом, установленным на столике сигнала Гужевой, измеряют угол между пунктами триангуляции и полигонометрическим центром 174 (рис. 44). На полигонометрическом центре измеряют угол β_1 между направлениями на марку, установленную на столике сигнала вместо теодолита, и центром сигнала. Затем вычисляют дирекционный угол линии столбик сигнала Гужевой — пункт 174 по значению угла β_2 , а используя угол β_1 , получают закрепленный на местности дирекционный угол линии пункт 174 — центр сигнала Гужевой.

Такой прием позволяет в дальнейшем при привязке полигонометрии и теодолитных ходов не подниматься на сигнал.

Передача дирекционного угла методом обратной засечки. Этот метод следует применять во всех случаях, когда с пункта *D* полигонометрии при измерении на нем углов появилась возможность увидеть пункт триангуляции высшего класса или разряда полигонометрии (рис. 45). По вычисленным длинам

Определение поправки состоит в том, что наблюдатель, взяв счет секунд по этим часам, замечает совпадение шестой звуковой точки с взятым счетом секунд. Если звуковая шестая точка совпадает с концом счета, то поправка будет выражаться в секундах, а если с серединой, то в полсекундах. Так, например, когда был счет «двадцать пять», совпадение произошло на слове «двадцать». Следовательно, время совпадения равно числу минут плюс 24,5^с. Наблюдатель записывает: 6^h58^m24,5^с в момент шестого сигнала времени 7^h0^m0,0^с.

Такие сравнения необходимо производить не позже чем за два часа до наблюдения и повторять их не позже чем через два часа после наблюдения Солнца. Минимальное число таких сравнений часов не должно быть менее трех.

Практически при работе с часами необходимо установку и завод производить в одно и то же время вечером или утром, а поправку часов определять до и после наблюдения с возможно меньшим разрывом. Таким способом определяется точное декретное или поясное время.

В астрономии пользуются истинным солнечным временем и истинным звездным временем.

Истинное солнечное время m_{\odot} в данной точке с известной долготой определяется часовым углом истинного Солнца t_{\odot} в часовой мере углов, приведенным к полудню,

$$m_{\odot} = t_{\odot} - 12^h.$$

Вследствие неравномерности движения Солнца по эклиптике его часовые углы все время изменяются, что осложняет вычисления. Разность часовых углов истинного Солнца и среднего экваториального Солнца называется уравнением времени, которое равно нулю 15 апреля, 14 июня, 1 сентября и 24 декабря.

Значение часового угла истинного Солнца в Гринвичскую полночь ($l = \eta + 12$) дано в Астрономическом ежегоднике СССР в эфемеридах Солнца на каждый день года. Зная среднее солнечное время на данном меридиане, можно получить истинное солнечное время и наоборот

$$m_{\odot} = m + \eta; \quad m = m_{\odot} - \eta.$$

Звездное время s в данной точке определяется часовым углом точки весеннего равноденствия t_{γ} в часовой мере углов и равно сумме прямого восхождения светила α и его часового угла

$$s = \alpha + t_{\gamma}.$$

Если светило находится в верхней кульминации, т. е. проходит через меридиан, то $t = 0$ и звездное время его будет равно его прямому восхождению α .

Для нижней кульминации

$$s = \alpha + 12^h.$$

Определение азимута по часовому углу Солнца. Наблюдение Солнца производится в следующем порядке:

1. Визируют на земной предмет и берут отсчет по горизонтальному кругу при круге КП (КЛ).

2. Закрывают окуляр специальной темной призмой и визируют на Солнце так, чтобы край диска Солнца находился в небольшом удалении от вертикальной нити вблизи ее пересечения с горизонтальной.

3. Ожидают, наблюдая в трубу, когда правый край диска Солнца, двигаясь, коснется вертикальной нити, удерживая при этом центр диска на горизонтальной нити.

4. Момент касания отмечают по часам и делают отсчет по горизонтальному кругу и уровню при алидаде (или накладному на цапфах), приписывая отсчету по левому концу от наблюдателя (окуляра) знак плюс (+), а по правому — знак минус (—).

Отсчет по концу пузырька уровня необходимо делать, наблюдая пузырек непосредственно перед собой. Такой отсчет не будет содержать ошибки параллакса.

5. Аналогично наблюдают второе касание левого края диска Солнца и делают отсчеты в момент касания (время, по горизонтальному кругу и уровню).

6. Визируют трубу на земной предмет и берут отсчет по горизонтальному кругу.

Переводят трубу через зенит, наблюдения повторяют в том же порядке, что и в первом полуприеме.

Страница из журнала наблюдения на Солнце для определения азимута приведена в табл. 54.



Рекомендуется при наблюдении правого края диска Солнца после отсчетов времени, горизонтального круга и уровня наводящим устройством вертикального круга совместить середину диска Солнца с горизонтальной нитью трубы и ожидать касания левого края диска Солнца с вертикальной нитью. В этом случае отсчет по горизонтальному кругу будет тот же, а новыми будут отсчеты по часам (время) и уровню. Разность отсчетов времени между касанием вертикальной оси правым и левым краями диска Солнца будет служить контролем правильности определения касания диска между полуприемами. Наблюдение Солнца рекомендуется выполнять в утренние или вечерние часы при зенитном расстоянии Солнца около 70° .

Фиксирование по часам производится с участием помощника наблюдателя, который ведет вслух счет: ноль, один, ноль, два и т. д., двадцать один, двадцать два и т. д. Ошибка в отсчете по часам при небольшом опыте обычно не превосходит 1^s , тогда как точность сравнения с часами-эталоном (шестой сигнал) желательно довести до $0,5^s$, так как эта ошибка носит систематический характер. Наблюдения Солнца производятся по этому способу при хорошей солнечной погоде менее чем за 30 мин.

Таблица 54

Точка стояния прибора 6
Точка наблюдения *громоотвод трубы*
Время по часам *московское*

Координаты точки 6
 $\varphi = 55^{\circ}33'40''$
 $\lambda = 36^{\circ}31'30'' = 2^{\text{h}}26^{\text{m}}06^{\text{s}}$

| Объект наблюдения | Отсчет по часам | Отсчет по горизонтальному кругу | Отсчет по уровню | Время сравнения (5-й удар) | Отсчет по часам |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------|
| Громоотвод трубы | | Круг правый 208°53'57" | | 9h00m00,0s 11 00 00,0 | 8h59m51,5s 10 59 52,0 |
|  | 10h43m06s | 323 24 38 | +5,0 —5,0 | 12 00 00,0 | 11 59 53,0 |
|  | 46 21 | 323 41 32 | +5,0 —5,0 | | |
| Громоотвод трубы | | 208 53 57 | | | |

Обработка результатов наблюдений Солнца для определения азимута по этому способу производится в следующем порядке.

1. Выбирают из Астрономического ежегодника СССР необходимые данные; на время наблюдения Солнца методом интерполирования находят видимое прямое восхождение, видимое склонение, видимый радиус, уравнение времени и звездное время.

2. Получают первые и вторые часовые изменения — разности за время между 6 и 8 мая.

3. Полученные правые разности Δ_1 следует исправить за счет вторых разностей Δ_2 , пользуясь коэффициентом интерполяции k_1 , находят коэффициент k_2 , который определяют только при вычислении видимого склонения, для которого получают первые и вторые разности Δ_1 и Δ_2 .

Путем умножения Δ_2 на k_2 находят поправку в первую разность. Интерполирование производят с исправленной первой разностью Δ_1 и определяют видимое склонение Солнца δ .

4. На основании полученных при помощи интерполирования данных на момент наблюдения производится вычисление часового угла и азимута Солнца, а следовательно, и азимута определяемого направления. Формулы, по которым производятся вычисления, обычно выписывают на бланке для вычислений.

При измерении направления на Солнце отсчет R_{\odot} должен быть исправлен поправкой за уровень

$$\Delta_i = i\tau \operatorname{ctg} z,$$

где i — сумма показаний уровня (+л—п); τ — цена полуделения уровня; z — зенитное расстояние.

Вычисление азимута Солнца приведено в табл. 55.

Таблица 55

| Схема вычисления | Значение функций | Схема вычисления | Первый полуприем | Второй полуприем | Схема вычисления | Первый полуприем | Второй полу- прием |
|----------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| $\operatorname{tg} \varphi$ | 1,45834 | $T_{\text{гр}} = T' + \Delta u$ | $7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 14^{\text{s}}$ | $7^{\text{h}} 46^{\text{m}} 29^{\text{s}}$ | $T_{\text{гр}} = T' + \Delta u$ | $7^{\text{h}} 43^{\text{m}} 14^{\text{s}}$ | $7^{\text{h}} 46^{\text{m}} 29^{\text{s}}$ |
| $\sin \varphi$ | 0,82473 | λ | 2 26 06 | 2 26 06 | λ | 2 26 06 | 2 26 06 |
| $\cos \varphi$ | 0,56553 | $T_{\text{м}}$ | 10 09 20 | 10 12 35 | $T_{\text{м}}$ | 10 09 20 | 10 12 35 |
| $\operatorname{tg} \delta$ | 0,29398 | η | 12 03 21 | 12 03 21 | $S_{\text{м}}$ | 14 54 04,2 | 14 54 04,2 |
| $\operatorname{tg} \delta \cos \varphi$ | 0,16631 | t_{\odot} | 22 12 41 | 22 15 56 | $S_{\text{м}}$ | 25 03 24,2 | 25 06 39,2 |
| $\operatorname{cosec} A_{\odot} \cos \delta$ | 0,95940 | $\operatorname{ctg} t_{\odot}$ | 1,9772 | 2,0488 | α | 2 50 43,1 | 2 50 43,1 |
| $\sin t$ | 0,61491 | $\operatorname{cosec} t_{\odot}$ | 2,2156 | 2,2798 | $t_{\odot} = T' + \Delta u - 3\text{h} + \lambda + S - \alpha_{\odot}$ | 22 12 41,1 | 22 15 56,1 |
| $\sin z$ | 0,44490 | $\sin \varphi \operatorname{ctg} t_{\odot}$ | 1,63066 | 1,68971 | где T' — время наблюдения по часам наблюдателя; Δu — поправка за переход к гринвичскому времени; 3h — поправка за переход к гринвичскому времени; λ — долгота места наблюдения; η — уравнение времени; S — истинное звездное время на момент наблюдения; α — прямое восхождение Солнца на время наблюдения | $22 12 41,1$ | $22 15 56,1$ |
| $\operatorname{ctg} z$ | 0,69415 | $\operatorname{tg} \delta \cos \varphi \operatorname{cosec} t_{\odot}$ | 0,36848 | 0,37915 | | | |
| z | 1,03698 | $\operatorname{ctg} A_{\odot}$ | 1,21218 | 1,31056 | | | |
| $\sin z = \operatorname{cosec} A_{\odot} \cos \delta \sin t_{\odot}$ | $43^{\circ} 57' 35''$ | A_{\odot} | $-38^{\circ} 23' 20''$ | $-37^{\circ} 20' 40''$ | | | |
| | | R_{\odot} | 323 24 38 | 323 41 32 | | | |
| | | $r_{\text{зем. пр}}$ | 208 53 57 | 208 53 57 | | | |
| | | $R_{\odot} \operatorname{cosec} r$ | +0 22 53 | -0 22 53 | | | |
| | | аз. 6—7 | 27 28 52 | 27 28 52 | | | |
| | | $\operatorname{ctg} A_{\odot} = \sin \varphi \operatorname{ctg} t_{\odot} - \operatorname{tg} \delta \cos \varphi \operatorname{cosec} t_{\odot}$ | | | | | |
| | | где A_{\odot} — азимут Солнца; φ — широта места наблюдения; δ — склонение Солнца на момент наблюдения; t_{\odot} — истинный часовой угол Солнца | | | | | |

Изложенный выше способ может обеспечить определение дирекционного угла с точностью 7—10".

Определение азимута по наблюдениям Полярной или другой близполюсной звезды вблизи ее элонгации требует небольших приближенных подсчетов для определения времени элонгации, зенитного расстояния, азимута. Такие вычисления позволяют найти звезду, а следовательно, вести наблюдения во время светового дня. Если время элонгации окажется поздним, то такие вычисления можно не делать, а находить звезду визуально, однако и в этом случае сделанные вычисления позволяют находить звезды значительно быстрее.

Этот способ не требует знания точного времени наблюдения, необходимо только производить наблюдения симметрично относительно времени элонгации. Наиболее распространенной звездой при определении азимута является Полярная.

В этом способе часы могут идти с неизвестной поправкой в пределах 10^m, так как наблюдения располагают по возможности симметрично относительно времени элонгации.

Вычисления производят по формулам:

$$\cos t = \operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \delta; \quad s_E = \alpha - t; \quad s_W = \alpha + t; \quad (16)$$

$$\cos a = \cos \delta / \cos \varphi = 180^\circ + a; \quad A_w = 180^\circ - a; \quad (17)$$

$$\cos z = \sin \varphi / \sin \delta, \quad (18)$$

где t — часовой угол звезды в момент элонгации; A_w — азимут звезды в момент элонгации.

После определения звездного времени элонгации s_E или s_W его переводят в декретное время. На основании формул (16), (17) и (18) составляется программа работ для определения азимута вблизи элонгации близполюсных звезд.

Наблюдения ведут в следующем порядке:

на земной предмет (отсчет по горизонтальному кругу);

на Полярную звезду (отсчет часов до 0,1^m, отсчет по уровню и горизонтальному кругу) при вращении алидады прибора по ходу часовой стрелки;

на Полярную звезду (отсчет часов до 0,1^m, отсчет по уровню и горизонтальному кругу) при вращении алидады прибора против хода часовой стрелки;

на земной предмет (отсчет по горизонтальному кругу).

Наблюдения производят и при другом круге, не меняя установки прибора, который следует вращать только в одном направлении.

Обработку наблюдений по этому методу начинают с составления таблицы определенных углов между направлениями на земной предмет и Полярную звезду, вводя при этом поправку за уровень.

По отсчетам часов видно, что элонгация произошла примерно в 0^h0^m, на основании чего составлена табл. 56, где про-

Таблица 56

| Время наблюдения T | Отсчет по горизон- тальному кругу при КЛ ГК | $T - T_0$ | $x = (T - T_0)^2$ | $y = \Gamma_K - \Gamma_{K_0}$ | $k_2 x - 0,3''$ | $\Gamma_K + k_2 x - 0,3'' = Q$ | v | Решение уравнений | | |
|-------------------------|---------------------------------------------------------|-----------|-------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------------|----------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 23h 36,1m | 117°13'18" | -23,2m | 571,2 | +32 | +32,9 | 117°13'50,9" | +0,9 | 8 | 1985,2 | 3059 = y^2 |
| 38,1 | 21 | -21,9 | 479,6 | +29 | +27,6 | 48,6 | -1,4 | | +248,15 | 1596,1 = 14,125 × (113,00) |
| 58,1 | 50 | -1,9 | 3,6 | 0 | -0,1 | 49,9 | -0,1 | | | |
| 00,0 | 50 | 0 | 0 | 0 | -0,3 | 49,7 | -0,3 | | 924 857 | 1462 : 9 = v_1^2 |
| 05,5 | 49 | +5,5 | 30,2 | +1 | +1,5 | 50,5 | 2+0,5 | | 492 627 | 1459,1 = 25 113 × 0,0581 |
| 07,2 | 47 | +7,2 | 51,8 | +3 | +2,8 | 49,8 | -0,2 | | 432 230 | 3,8 = Σv^2 |
| 19,0 | 30 | +19,0 | 361,0 | +20 | +20,7 | 50,7 | +0,7 | | | |
| 22,1 | 22 | +22,1 | 488,4 | +28 | +27,8 | 49,8 | -0,2 | | $k_2 = +0,05810$ | |
| | | | 1985,2 | +113 | | 117 13 50,0 | $[v^2] = 3,69$ | | $\Delta \Gamma_K = +14,125 - 248,15 k_2 + 0,05810x = +14,125 - 14,418 + 0,05810x = y$; | |

$[x^2] = 924,857$; $[xy] = 53,154$; $[y^2] = 3059$; Γ_{K_0} — отсчет по горизонтальному кругу в момент, близкий к элонгации; $\Delta \Gamma_K = -0,3 + k_2 x$ — поправка к отсчету по горизонтальному кругу для определения угла Q .

изведено определение теодолитом угла Q в момент элонгации с необходимой оценкой точности по методу наименьших квадратов, учитывая, что движение Полярной (близполюсной) звезды происходит пропорционально квадрату времени между моментом элонгации и моментом наблюдения.

Этот способ наиболее быстрый и точный. Необходимо знать только точное склонение звезды (Полярной или другой близполюсной). Точность определения азимута при применении теодолита Theo 010 не превышает $2''$.

В настоящее время нет необходимости определять точное звездное время из наблюдений звезд, так как имеется возможность, пользуясь сигналами точного времени, передаваемыми радиостанциями (шесть точек), тут же на месте наблюдения получить поправку часов с точностью не ниже 1^s , а затем тотчас же после наблюдения проконтролировать их.

Наблюдатель, особенно в первое время, для уверенности в своей работе может определять время по азимутам, наблюдая какую-либо южную звезду, проходящую вблизи меридиана на зенитном расстоянии $40-60^\circ$.

Зная зенитное расстояние, приближенный дирекционный угол и время наблюдения, можно найти координаты этой звезды, пользуясь Астрономическим ежегодником, если подсчитать δ и t по приближенным формулам:

$$\sin \delta = \sin \varphi \cos z - \cos \varphi \sin z \cos \alpha;$$

$$\sin t = \frac{\sin z \sin \alpha}{\cos \delta}; \quad s - t = \alpha.$$

Контроль вычислений выполняется по формуле

$$\cos \delta \cos t = \cos \varphi \cos z + \sin \varphi \sin z \cos \alpha.$$

Поправка часов по наблюдениям азимутов южных звезд вблизи меридиана вычисляется по формуле

$$u = \alpha - (T + m - n), \quad (19)$$

где

$$m = \cos \varphi \sin \alpha \operatorname{tg} \delta; \quad n = \sin \varphi \operatorname{tg} \alpha.$$

Прежде всего определяют точный азимут земного предмета, пользуясь наблюдениями по программе, указанной выше, а затем проверяют точность поправки часов, определенной по сигналам точного времени, пользуясь формулой (19). Допустимая сходимость в пределах $1-2^s$.

Вычисления начинают с получения точного звездного времени по формуле

$$s = T - N_D + \lambda + \Delta s_0 + s_0,$$

где s — звездное время на момент сравнения часов (15^h); s_0 — звездное время в гринвичскую полночь; Δs_0 — изменение звезд-

ного времени от полуночи до момента сравнения часов, вычисляемое при помощи таблицы ежегодника; T — местное или декретное время; λ — долгота места наблюдения азимута; N — поправка за переход на гринвичское время (для Москвы $N = 3^h00^m00^s$).

Пользуясь гринвичским временем и датой наблюдения, по Астрономическому ежегоднику простым интерполированием находят для Полярной α и δ . Зная, что $t = s - \alpha$, и учитывая поправки ω за ход часов по звездному времени, получают часовые углы t , что дает возможность получить азимут Полярной по формуле

$$\operatorname{tg} a = \frac{\operatorname{ctg} \delta \sec \varphi \sin t}{1 - \operatorname{ctg} \delta \operatorname{tg} \varphi \cos t} = \frac{-m \sin t}{1 - n \cos t}.$$

В отсчет по горизонтальному кругу при наблюдении на Полярную введены поправки Δ_i за отсчеты по уровню по формуле

$$\Delta_i = i\tau \operatorname{ctg} z,$$

здесь z — зенитное расстояние Полярной; τ — цена полуделения уровня; $i = (л + п)$, где $л$ — отсчет по левому концу пузырька уровня; $п$ — отсчет по правому концу (взятому со знаком минус).

Для перехода от астрономического азимута A к дирекционному углу пользуются формулой

$$\vartheta = A - \gamma + \delta_{1,2},$$

где A — определяемый азимут; γ — сближение меридианов; $\delta_{1,2}$ — поправка за кривизну Земли, определяемая формулой

$$\delta_{1,2} = \frac{1}{3} f (x_1 - x_2) (2y_1 + y_2).$$

Сторона, на которую передается дирекционный угол, бывает порядка 0,8—1 км, в силу чего величиной δ можно пренебречь, тогда $\vartheta = A - \gamma$.

Величина γ определяется из соотношения $\operatorname{tg} \gamma = \operatorname{tg} l \sin \varphi$.

§ 14. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Приборы для измерения расстояний

Измерение сторон полигонометрических ходов 4 класса, 1 и 2 разрядов в городах, поселках, на промышленных объектах и в сельских населенных пунктах осуществляется следующими приборами: светодальномерами, короткобазисными жезлами, подвесными мерными приборами. В настоящее время при измерении сторон в полигонометрических сетях наиболее широко применяются светодальномеры СМ-5, 2СМ-2, 3СМ-2, МСД1М и электронно-оптические тахеометры Та 5 и ЕОТ 2000.

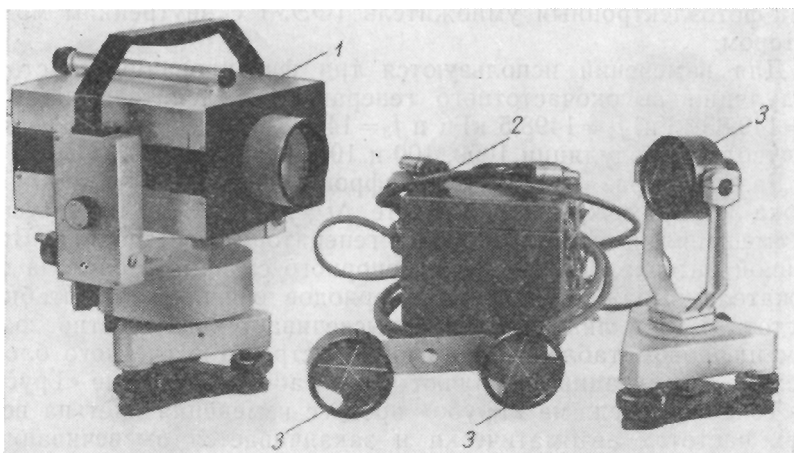


Рис. 46. Светодальномер СМ-5

Светодальномер СМ-5 (топографический, рис. 46) служит для измерения расстояний в полигонометрических ходах 2 разряда, а также при создании съемочного обоснования теодолитными ходами и при крупномасштабной топографической съемке. При измерениях светодальномером приемопередатчик устанавливается на съемной подставке или крепится к теодолиту серии 2Т. Приемопередатчик имеет уровень и оптический центрир. Полученные результаты измерений индицируются на пятиразрядном электронно-цифровом табло в метрической системе. Момент окончания счета отмечается звуковым сигналом, после чего снимаются показания табло.

Источником излучения служит светодиод на арсениде галлия с длиной волны 910 нм, фотоприемником — фотоэлектронный умножитель (ФЭУ-112).

При измерении светодальномером используются два метода: фазовый в режиме «Точно» и импульсный в режиме «Грубо».

В комплект светодальномера входят: приемопередатчик 1, два отражателя 3, два источника питания 2, зарядное и разрядное устройства, два оптических центрира, три штатива, две вешки, барометр, термометр, запасные части и принадлежности. Выпускается отечественной промышленностью с 1978 г.

Светодальномер 2СМ-2 (рис. 47) предназначен для измерения расстояний в полигонометрии и трилатерации 4 класса, полигонометрии 1 и 2 разрядов, при разбивке и сгущении съемочных сетей и линейных изысканиях. В светодальномере используется фазовый метод измерения расстояний с измерением фазы на низкой промежуточной высоте.

Источником излучения является светодиод на арсениде галлия с длиной волны излучения 900 нм, а фотоприемником слу-

жит фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) с внутренним модулятором.

Для измерений используются три фиксированные частоты модуляции высокочастотного генератора и делителя частоты $f_1 = 149,85$ кГц, $f_2 = 1498,5$ кГц и $f_3 = 14\,985$ кГц, соответствующие полуволнам модуляции 1000, 100 и 10 м.

Разность фаз измеряется цифровым фазометром счетного блока на промежуточной частоте $\Delta f = 14,985$ кГц, получаемой от смещения сигналов основного генератора и гетеродина. Временной интервал между фазой опорного сигнала и сигнала отражателя выражается числом периодов основной масштабной частоты f_3 и в линейной мере высвечивается на шестизрядном цифровом табло. Управляющее устройство счетного блока и схема коммутации позволяют вести работы в режиме «Грубо» и «Точно». В режиме «Грубо» процесс измерения идет на всех трех частотах автоматически и заканчивается высвечиванием на табло полного значения измеряемой длины в миллиметрах без учета пути луча внутри прибора. В режиме «Точно» длина измеряется автоматически только на точной частоте f_3 . Измерения при этом выполняются отдельно при ходе луча внутри прибора и вдоль измеряемой линии в пределах последних 10 м. Окончательное точное значение длины линии получают заменой неправильной части грубой длины разностью точных значений при ходе луча вдоль линии и внутри прибора.

В комплект светодальномера входят: приемопередатчик в укладочном ящике, электронный блок, два отражателя в укладочных ящиках, два источника питания, два оптических центрира, зарядное устройство, три штатива, термометр, барометр и запасные части с принадлежностями, амортизационный ящик для приемопередатчика.

Выпускается промышленностью серийно с 1976 г.

Светодальномер МСД1М — высокоточный неавтоматический, является модификацией светодальномера МСД1 и представляет собой прибор фазового типа во взрывобезопасном исполнении, который имеет полупроводниковый источник излучения на арсениде галлия, фиксированные масштабные частоты и плавно-переменную измерительную оптическую линию задержки. Для измерений используют три фиксированные частоты модуляции высокочастотного генератора, соответствующие при расчетных метеословиях полуволнам $\lambda_1/2 = 0,998004$, $\lambda_2/2 =$

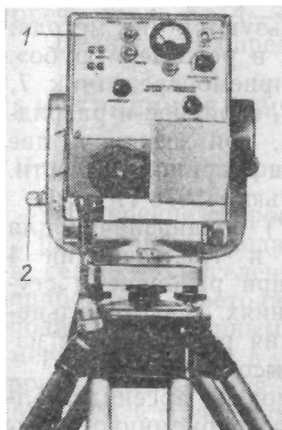


Рис. 47. Светодальномер 2СМ2:

1 — задняя стенка приемопередатчика с ручками управления; 2 — установочный цилиндрический уровень

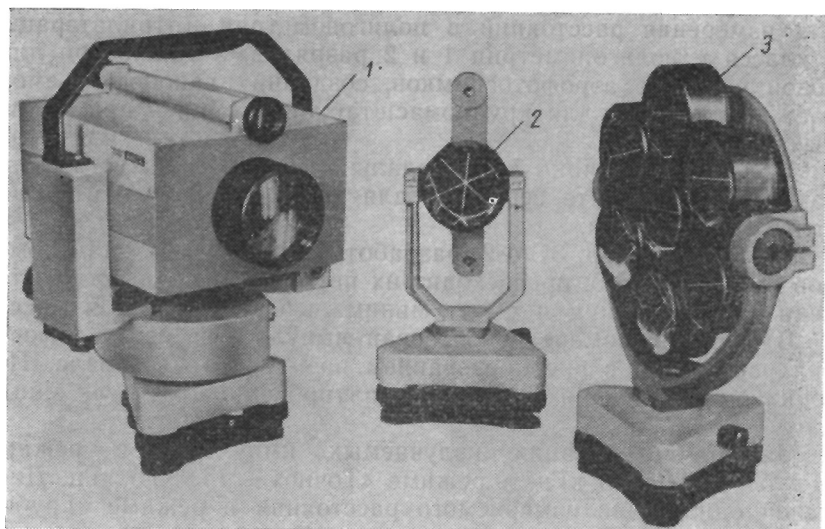


Рис. 48. Светодальномер ЗСМ-2 «Блеск»

$= 1,052631$ и $\lambda_3/2 = 1$ м. Дальность действия светодальномера до 500 м.

Фазовое детектирование осуществляется в фотоэлектронном умножителе, разность фаз измеряется на высокой частоте с помощью оптической линии задержки переменной длины, фаза индуцируется нулевым методом на низкой частоте (80 Гц) импульсного генератора синхронным детектором и апрелочным нуль-индикатором. При измерениях на каждой частоте модуляции счет принимают сначала с отражателя, для чего шторку с зеркалом отводят параллельно приходящему лучу света. Поворачивая ручку фазовращателя, изменяют разность фаз между опорным и отраженным сигналами до тех пор, пока стрелка нуль-индикатора установится на нулевом делении. После этого свет принимают с оптической линии, для чего шторку с зеркалом поворачивают на 45° . Вращая ручку оптической линии, вновь выводят стрелку нуль-индикатора в нулевое положение. После чего берут отсчет дробной части фазового цикла L по ее шкале. По результатам измерений на трех частотах вычисляют три значения длины, из которых определяют среднее, и вводят все необходимые поправки.

В комплект светодальномера МСД1М входят: приемопередатчик, три отражателя с подставками, два оптических центра, три штатива, один блок аккумуляторов, зарядное устройство, комплект ЗИП и укладочные ящики.

Выпускается промышленностью серийно с 1977 г.

Светодальномер «Блеск» ЗСМ-2 (рис. 48). Топографический светодальномер предназначен преимущественно

для измерения расстояний в полигонометрии и трилатерации 4 класса и полигонометрии 1 и 2 разрядов, а также при плановой привязке аэрофотоснимков, создании планового съемочного обоснования для крупномасштабной съемки и при линейных изысканиях.

Приемопередатчик 1 светодальномера может устанавливаться на теодолите серии 2Т для одновременного измерения углов и расстояний.

Светодальномер 3СМ-2 разработан взамен светодальномеров 2СМ-2 и СМ-5, превосходит их по точности, дальности, степени автоматизации и имеет минимальные габариты и массу.

В светодальномере использован импульсный метод измерения расстояний с преобразованием временного интервала. Источником излучения является полупроводниковый лазерный диод.

Частота следования излучаемых импульсов в режиме «Грубо» — 149,855 кГц, в режиме «Точно» — 14 985,5 кГц. Диапазон однозначно измеряемого расстояния в режиме «Грубо» от 0 до 1000 м. Результат измерения (в см) высвечивается на индикаторах табло. В режиме «Точно» осуществляется измерение в пределах 10 м измеряемого расстояния. Результат измерения на табло — в мм. Каждый отсчет представляет собой разность отсчетов в режимах «Дистанция» и «ОКЗ». Постоянная поправка светодальномера устанавливается равной нулю при помощи резистора установки контрольного отсчета. Значение контрольного отсчета при надетом на объектив блоке контрольного отсчета БКО указано в паспорте светодальномера.

В комплект светодальномера входят: приемопередатчик 1, два отражателя — семь призм 3, один отражатель — одна призма 2, три подставки, два блока питания, блок контрольного отсчета, два оптических центрира, зарядное и разрядное устройства, три штатива, термометр, барометр и запасные части с принадлежностями.

Серийно выпускается промышленностью с 1982 г.

Электронно-оптический тахеометр Та 5 (рис. 49) является полуавтоматическим прибором, служит для измерения углов и расстояний, определения горизонтальных проложений, превышений, приращений координат при сгущении съемочных сетей и топографической съемке.

Тахеометр Та 5 состоит из оптического шкалового теодолита с самоустанавливающимся оптическим компенсатором при вертикальном круге вместо уровня и светодальномера 1 с полупроводниковым излучателем. Для обработки результатов измерений прибор содержит встроенный вычислитель с клавиатурой управления 2.

В тахеометре использован импульсный метод измерения расстояний с преобразованием временного интервала. Источником излучения служит полупроводниковый лазерный диод на арсениде галлия. Приемником излучения служит ФЭУ. Горизонталь-

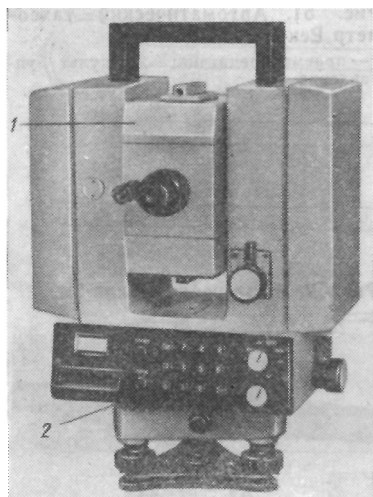


Рис. 49. Электронно-оптический тахеометр Та 5

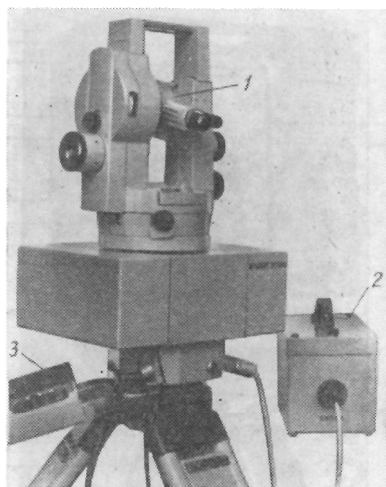


Рис. 50. Электронно-оптический тахеометр ЕОТ 2000:

1 — приемопередатчик; 2 — блок питания;
3 — пульт управления

ный и вертикальный круги — стеклянные, разделены на 400 делений. Отсчеты по кругам производятся при помощи отсчетного микроскопа.

В комплект тахеометра входят: тахеометр с подставкой, два отражателя, два источника питания, зарядное и разрядное устройства, блок контрольного отсчета, запасные части и принадлежности.

Выпускается серийно отечественной промышленностью с 1982 г.

Электронно-оптический тахеометр ЭОТ 2000 (рис. 50) изготавливается Народным предприятием «Карл Цейс» (Йена, ГДР), предназначен для измерения расстояний от 0,2 до 2000 м со средней квадратической погрешностью 10 мм и средней ошибкой направления 1". Прибор используется при создании опорных геодезических сетей (триангуляции, трилатерации, полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов), развиваемых на территориях городов, промышленных объектов и в сельских населенных местах, а также при изысканиях железных и автомобильных дорог и при строительстве.

Прибором ЭОТ 2000, устанавливаемым над центром геодезического пункта или съемочной точки, можно выполнять измерение расстояний, горизонтальных и вертикальных углов, определять горизонтальное проложение измеряемого расстояния с введением в него поправок за угол наклона, температуру и

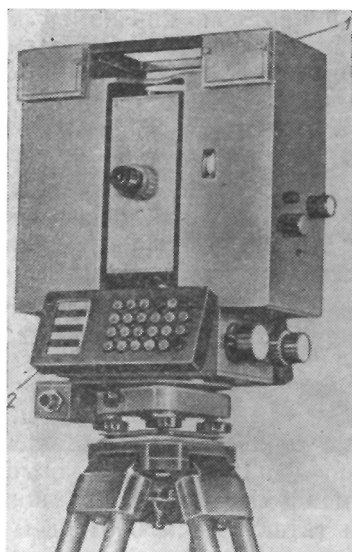
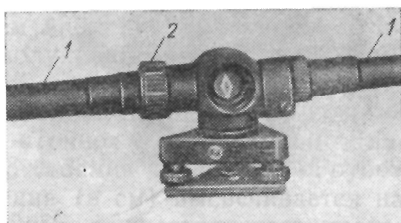


Рис. 51. Автоматический тахеометр Рекота:

1 — приемопередатчик; 2 — пульт управления

Рис. 52. Жезл-рейка Балла-2м



атмосферное давление, а также разности высот и отметок. Результаты измерений выдаются на табло блока пульта управления.

Автоматический тахеометр Рекота (рис. 51) служит для выполнения полигонометрических работ 1 и 2 разрядов, плано-высотного съемочного обоснования, тахеометрических съемок, инженерно-геодезических изысканий и при разбивочных работах в строительстве.

Источником излучения служит диод на арсениде галлия с длиной волны излучения 860 нм, приемником излучения является фотодиод Аваланжа. Горизонтальный и вертикальный круги кодированные, отсчитывание диаметрально противоположных мест круга выполняется электрооптическим путем. В корпусе трубы наряду с оптикой зрительной трубы размещена и большая часть дальнометрической системы, включая устройство для автоматической регулировки интенсивности уровня сигнала. Вся система измерения углов включает узел с маятниковым компенсатором для измерения вертикальных углов и узел для измерения горизонтальных углов с устройством для определения ошибки вертикальной оси.

В тахеометре имеется двусторонний клавишный пульт управления, при помощи которого предварительно устанавливается вид автоматизированных расстояний и углов, а также других измерений и вычислений и их пуск. Питание прибора осуществляется от аккумуляторной батареи.

В приборе предусмотрены следующие основные функции: измерение горизонтального направления, включая введение поправки за коллимационную ошибку по азимуту и ошибку вер-

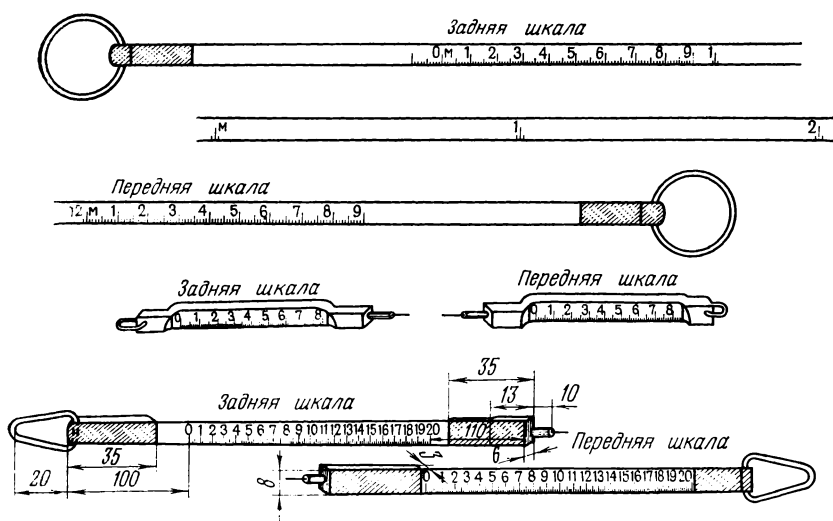


Рис. 53. Подвесные мерные приборы

тикальной оси; измерение вертикального угла, включая учет поправки за погрешность положения нуля вертикального круга; измерение наклонного расстояния, включая учет атмосферной поправки и в случае необходимости приборной поправки; вычисление горизонтального проложения по наклонному расстоянию и вертикальному углу с учетом кривизны Земли и рефракции.

Автоматический тахеометр Рекота выпускается серийно с 1981 г. Народным предприятием «Карл Цейс» (Йена, ГДР).

Основные характеристики приборов приведены в табл. 57.

При измерении сторон короткобазисным методом применяется жезл-рейка Балла-2м.

Жезл-рейка Балла-2 м (ГДР) (рис. 52) состоит из двух трубок 1 легкого сплава, которые свинчиваются при помощи накидной гайки 2. Для обеспечения постоянства между концевыми марками жезла в трубке устанавливаются два инварных стержня, упирающихся в короткую промежуточную деталь из другого материала, продольные деформации ее нейтрализуются при помощи биметаллического компенсатора. Длина рейки между концевыми марками составляет $2 \text{ м} \pm 25 \text{ мкм}$.

Подвесные мерные приборы представляют собой инварные и стальные 24-метровые проволоки и ленточки (рис. 53). Шкалы у проволок бывают твердые и гибкие. Гибкие шкалы более удобны при производстве работ в городе, так как длина каждой шкалы, равная 20 см, позволяет делать интервалы между штативами при их расстановке с большими уклонами от 24 м, что значительно ускоряет работу.

Таблица 57

| Характеристика | Нормы по типам | | | | | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| | СМ-5 | Та 5 | МСДМ | 2СМ-2 | ЗСМ-2 | ЭОТ 2000 |
| | СССР | | | | | ГДР |
| Диапазон измеряемых расстояний, м: при отражателе с 1 призмой » с 3 » » с 7 » » с 9 » | 2—300 2—500 | 2—1000 2—2500 | 300 500 — — | 2—2000 — — — | 0,2—500 — 0,2—350 — | 0,2—400 0,2—800 0,2—1700 — 0,3—1000 0,3—1500 0,3—2000 — |
| Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния, мм | 20—30 | 20 | (2+5·10 ⁻⁶ D) | 20 | (10+5·10 ⁻⁶ D) | 10 (5+2·10 ⁻⁶ D) |
| Потребляемая мощность, Вт | 5 | 8 | 2,5 | 20 | 5 | 23—25 4—12 |
| Напряжение источника питания, В | 6—8 | 6,5—8,5 | 13,2 и 2,4 | 11,5—17,5 | 6—8,5 | 11—14 12 ⁺² ₋₁ |
| Рабочий диапазон температур, °С | От —30 до +40 | От —30 до +40 | От —10 до +40 | От —30 до +40 | От —30 до +40 | От —25 до +40 |
| Время измерения расстояния одним приемом | | | 8 мин | 2 мин | — | 10 с |
| Частота модуляции, кГц | 14 985; 149,85 | — | 1-я 150,1549 2-я 142,3624 3-я 149 | 1-я 149,85 2-я 1498,5 3-я 14985 | — | 15; 16,5; 15 14 985 570 |

Недостаток гибкой шкалы в том, что при отсчетах по ней можно просчитаться на 10 см в пролете. Чтобы избежать этого, приходится дополнительно грубо, с точностью до 1 м, при помощи той же проволоки определять расстояние пролета. Запись контрольного дополнительного отсчета производится в полевом журнале измерения сторон.

Основная часть стороны измеряется 24-метровыми проволоками, а остатки либо 4-метровой инварной ленточкой, либо 12-метровой стальной или инварной ленточкой, либо обычной стальной рулеткой.

Удобнее всего пользоваться 12-метровой ленточкой, так как ее длина рассчитана на измерение любого остатка, и она может быть прокомпарирована сравнением с 24-метровыми проволоками, а отдельные дециметры ленточки — контрольной линейкой.

Неудобство при измерении остатков 4-метровой ленточкой заключается в том, что измерение приходится производить несколькими пролетами.

Компарирование приборов

Компарирование светодальномеров с визуальным определением светового потока осуществляется в электротехническом институте или организации, в которой имеется специальный частотомер, при помощи которого составляют калибровочные таблицы и кварцевые точки, позволяющие ввести поправки во взятые при минимуме отсчеты по шкале. Компарирование рекомендуется проводить два раза в год.

Компарирование жезла Балла-2м можно осуществлять на линии AB длиной 24 м, многократно измеренной инварной проволокой с ошибкой 1/50 000—1/70 000. Для этого в точке A устанавливают теодолит (рис. 54, б), а в точке B — жезл, длина которого l подлежит определению; измеряют угол α_3 восемью полуприемами. Переставляют жезл в середину створа линии AB (рис. 54, а) и измеряют угол α_1 . Затем переставляют теодолит в точку B и измерение угла α_2 начинают при установленном жезле в середине линии. После этого жезл переносят и устанавливают в точке A и измеряют угол α_4 . Затем расстояние AB измеряют инварными проволоками. На этом заканчивается один прием.

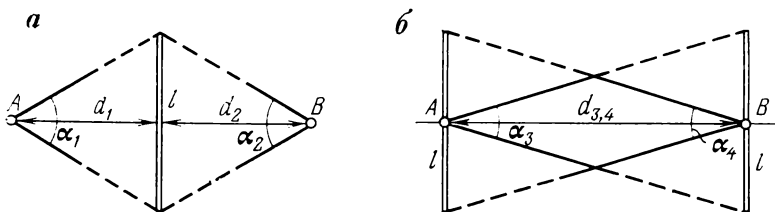


Рис. 54. Схема компарирования рейки-жезла Балла-2м

Указанные измерения повторяют два раза, заканчивая работу измерением расстояния AB инварными проволоками (третий раз).

Пользуясь равенствами

$$d_1 = C + \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2}; \quad d_2 = C + \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2};$$

$$d_{3,4} = C + \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha_{3,4}}{2},$$

где

$$\frac{\alpha_{3,4}}{2} = \frac{\alpha_3 + \alpha_4}{2},$$

находят

$$d_1 + d_2 - d_{3,4} = 0 = C + \frac{l}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} - \operatorname{ctg} \frac{\alpha_{3,4}}{2} \right)$$

или

$$C = \frac{l}{2} \left[\operatorname{ctg} \frac{\alpha_{3,4}}{2} - \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} \right) \right];$$

определяют длину жезла l

$$d_1 + d_2 - D_k = 2C + \frac{l}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} \right),$$

откуда

$$l = \frac{2(D_k - 2C)}{\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2}}.$$

Такие определения C и l следует делать в каждом приеме.

Компарирование инварных и стальных проволок производится до, после и в процессе работы. Чтобы быть уверенным в постоянстве длин проволок при измерении сторон полигонометрии, следует компарировать проволоки 1—2 раза в месяц. Незнание истинной длины проволоки в момент измерения стороны в значительной степени снижает точность работы, что является большим недостатком метода измерения сторон проволокой. Только при полной уверенности в постоянстве длин проволок их можно компарировать реже (примерно один раз в месяц). Существует много способов компарирования, каждый из которых имеет тот или иной недостаток.

Лабораторное компарирование осуществляется в специальном помещении — компараторном зале, где имеется ряд фундаментальных столбов, выведенных изолированно от

пола (наиболее полно этому условию отвечает подвальное или полуподвальное помещение).

Компарирование при помощи проволоки-этало-на. Длина рабочих проволок может быть определена путем сравнения с проволокой-эталоном, длина которой получена на одном из компараторов. Проволоку-эталон тщательно изучают в течение длительного периода. Так же хорошо должны быть известны температурные коэффициенты проволоки.

Такой проволокой можно при помощи микроскопов-микрометров получить длину между нуль-пунктами этих микроскопов и передать ее на любую другую проволоку.

Для измерения сторон полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов это сравнение делается путем многократного обычного измерения сторон полигонометрии, в которых проволока-эталон участвует совместно с одной, а потом с другой рабочей проволокой.

Таким путем многократно получают разности между рабочими проволоками (из измерения сторон) и проволокой-эталоном на наиболее спокойном для работы участке.

К данному методу компарирования предъявляются следующие требования:

1. Длина проволоки-этало-на должна быть прокомпарирована на стационарном компараторе до и после работ. Если длина проволоки-этало-на известна с большой точностью, то для того, чтобы сохранить ее длину, рекомендуется измерение проволокой-эталоном поручать только техническому персоналу.

2. Блочные штативы, гири и прочее оборудование измерительной партии должны быть исправными, чтобы с достаточной точностью получать длину проволоки, близкую к длине, указанной в паспорте.

3. Наблюдатели должны быть хорошо обучены одновременному производству отсчетов на одном и том же месте штриха.

Компарирование проволок на линии, измеренной одним из точных методов. В полигонометрии часто в качестве такой линии используют длину стороны полигонометрии между пунктами, центры которых прочно закреплены. Такая линия, измеренная методом, применяемым при измерении базисов, обычно называется полевым компаратором.

Место закладки таких знаков в целях сохранности на продолжительное время следует согласовывать с горсоветом, учитывая при этом геологические особенности грунта. Длина компаратора берется кратной 24 м в пределах 120—240 м, в исключительных случаях 720—840 м.

Компарирование мерных приборов на полевом компараторе производится путем четырехкратного измерения его рабочими мерными приборами (два раза в прямом и два раза в обратном направлениях). В случае больших изменений мерные приборы компарируют чаще. Проволоки неустойчивой длины применять не следует.

Компарирование проволок должно обеспечить разность между двумя смежными компарированиями в зависимости от класса и разряда полигонометрии:

| | |
|---------------------|---------------|
| 4 класса | $\pm 0,1$ мм; |
| 1 разряда | $\pm 0,3$ мм; |
| 2 разряда | $\pm 0,5$ мм. |

Компарирование рулеток и ленточек. Компарировать все метровые штрихи рулетки нет необходимости. Следует определять поправки через 4 м.

Работа выполняется в следующем порядке: определяют длину 24-метрового пролета инварными проволоками и этот пролет измеряют 4, 8, 12-метровыми отрезками, а также в комбинации отрезков 20+4 и 16+8 м.

Поправки за компарирование на пролеты 16 и 20 м выводят из многократного измерения этих пролетов и домера до 24 м (остатка), поправка которого известна на основании только что полученных данных. Таким образом находят поправки за компарирование 4, 8, 12, 16 и 20 м, позволяющие ввести поправки во взятые при минимуме отсчеты по шкале. При хорошей организации работ компарирование рекомендуется проводить два раза в год.

Измерение сторон в полигонометрии короткобазисным методом имеет много преимуществ по сравнению с непосредственным измерением проволоками и при современном состоянии приборов дает возможность определять длины с относительной ошибкой от 1/10 000 до 1/20 000 и выше. Короткобазисный метод имеет следующие преимущества:

1. Не надо специально выбирать трассу, удобную для измерения, достаточно обеспечить видимость двух концов базиса с определяемой точки.

2. Посредственное измерение расстояний дает от 25 до 50 % экономии времени по сравнению с непосредственным измерением проволоками, особенно в условиях пересеченной местности.

3. Независимость производства измерений от внешних условий.

4. Сторону полигонометрии длиной до 150 м можно получить сразу без суммирования многих отрезков.

5. Измерения производятся инженером или опытным техником, что дает возможность исключить просчеты.

При измерении стороны короткобазисным методом применяется два вида звеньев — звено П. Гаста и звено, предложенное проф. В. В. Даниловым.

При определении длины стороны по методу звена П. Гаста (рис. 55, а) применяется формула

$$D_1 = b \frac{\sin(\alpha_1 + \gamma_1)}{\sin \alpha_1}.$$

Относительная ошибка определения стороны

$$\frac{m_{D_1}^2}{D_1^2} = \frac{m_b^2}{b^2} + \frac{m_{\alpha_1}^2}{\sin^2 \alpha_1} \cdot \frac{\sin^2 \gamma_1}{\sin^2 (\alpha_1 + \gamma_1)} + m_1^2 \operatorname{ctg} (\alpha_1 + \gamma_1). \quad (20)$$

Так как приближенно

$$\begin{aligned} \sin (\alpha_1 + \gamma_1) &= 1; & \sin \gamma_1 &= 1; \\ \operatorname{ctg} (\alpha_1 + \gamma_1) &= 0; & \sin \alpha_1 &= \alpha_1, \end{aligned}$$

то формула (20) имеет вид

$$\frac{m_{D_1}^2}{D_1^2} = \frac{m_b^2}{b^2} + \frac{m_{\alpha}^2}{\alpha^2}.$$

Когда сторона DE определяется звеном В. В. Данилова (см. рис. 55, б),

$$D = \frac{b}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} \right).$$

Ограничим длину d_1 заданной величиной, получая, таким образом, сторону суммированием нескольких звеньев.

В то же время сторону полигонометрии DE можно получить, измерив вспомогательный базис b , симметричный относительно линии DE . Тогда необходимо измерить углы γ_1 и γ_2 , определяющие уклонение вспомогательного базиса от 90° к измеряемой линии, и таким образом получить длину стороны одним звеном. В этом случае при измерении параллактического угла на крайние марки жезла рекомендуется взять отсчет в первом приеме на среднюю марку. Обозначая весь измеренный параллактический угол через $2\alpha_0$, половинные — через α_1 и α_2 , по разности их можно установить правильность установки базисной рейки с тем, чтобы ошибка за неверность установки была не больше 1/100 000.

При измерении параллактического угла $2\alpha_0 = \alpha_1 + \alpha_2$ на крайние марки жезла рекомендуется поверять установку жезла в первом полуприеме отсчетом на среднюю марку. Разность углов $\alpha_2 - \alpha_1$ не должна превышать величин, указанных в табл. 58.

Как видно из табл. 58, проверка правильности установки рейки может быть осуществлена лишь при расстоянии до нее d менее 14 м, т. е. при углах $2\alpha_0$ более 8° . При расстояниях, больших 10 м, необходимо установку базисной рейки поручать опытному технику, который предварительно производит проверку и необходимые исправления.

При измерении расстояний стальными и инварными проволоками работа производится:

в полигонометрии 4 класса двумя инварными проволоками (ленточками) в одном направлении или одной проволокой

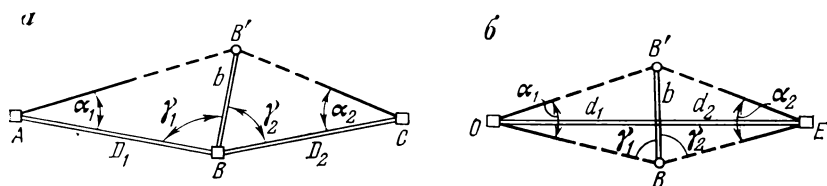


Рис. 55. Схема параллактических звеньев П. Гаста (а) и В. В. Данилова (б)

Таблица 58

| $2\alpha_0$, угл. градус | d , м | $\alpha_2 - \alpha_1$, угл. с | $2\alpha_0 - (\alpha_1 + \alpha_2)$, угл. с | $2\alpha_0$, угл. градус | d , м | $\alpha_2 - \alpha_1$, угл. с | $2\alpha_0 - (\alpha_1 + \alpha_2)$, угл. с |
|---------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------|---------|--------------------------------|----------------------------------------------|
| 3 | 38,2 | 1,4 | 0,11 | 8 | 14,3 | 8,8 | 0,29 |
| 4 | 28,6 | 2,2 | 0,14 | 10 | 11,4 | 13,7 | 0,36 |
| 5 | 22,9 | 3,4 | 0,18 | 12 | 9,5 | 19,7 | 0,43 |
| 6 | 19,1 | 4,9 | 0,22 | 14 | 8,1 | 26,7 | 0,50 |
| | | | | 16 | 7,1 | 34,9 | 0,58 |

в прямом и обратном направлениях с отсчетом шкал проволоки при трех сдвигах;

в полигонометрии 1 разряда одной инварной или стальной проволокой (ленточкой) в одном направлении при трех сдвигах шкал;

в полигонометрии 2 разряда одной инварной или стальной проволокой (ленточкой) в одном направлении методом фиксации.

Вешение рекомендуется вести «на себя». Для этого устанавливают теодолит над полигонометрическим центром и наводят трубу на пункт, с которого начинается измерение сторон. После этого, пользуясь 24-метровым тросом, рабочие отмеряют расстояние и выставляют первый базисный штатив в створе линии. Уточнив положение штатива, закрепляют целик так, чтобы он был строго в створе.

Целики устанавливают в створе измеряемой стороны так, чтобы каждый из них не отклонялся от створа больше чем на 3 см. Таким же образом устанавливают все штативы на измеряемой линии. При этом, как правило, расстояние между целиками штативов отмеряют с уклоном от длины проволоки на ± 3 — ± 8 см (последнее значение допускается в случае применения проволоки с гибкими шкалами).

Для определения поправок за наклон пролетов целики нивелируют. Нивелирование производится в одном направлении с отсчетами по одной нити. В случае применения односторонних реек отсчеты производятся при двух горизонтах прибора, а двусторонних — при одном горизонте. Расстояние нивелира от реек

не должно превышать 100 м, расхождение в превышениях по черной и красной сторонам не должно быть больше 3 мм.

Пролеты с превышениями, достигающими 0,5 м, в полигонометрии 4 класса учитывают с точностью до 3 мм, в полигонометрии 1 и 2 разрядов — до 5 мм.

Пролеты с превышениями, большими 1 м, нивелируют отдельно.

Остатки в измеряемой стороне нивелируют отдельно, когда: длина остатка до 12 м и превышение больше 0,5 м;

длина остатка до 4 м и превышение больше 0,15 м.

Нивелирование целиков в большинстве случаев производится после измерения линии.

Нивелировщик должен проверить длину измеряемой линии рулеткой с точностью до 1 см, а также длину измеряемого остатка и сличить число штативов. Одновременно определяют отметки полигонометрических знаков нивелированием IV класса.

Первые два члена правой части равенства представляют собой влияние ошибок измерения сторон AC и BC на величину общей ошибки, появляющейся вследствие проектирования стороны вне створа. Обозначим ее через $(m_{AB})_S$,

$$(m_{AB})_S = \cos^2 \alpha_1 m_{AC}^2 + \cos^2 \alpha_2 m_{BC}^2.$$

Так как величина этой ошибки не превышает точности линейных измерений, ее можно не рассматривать.

Дополнительной ошибкой является ошибка измерения угла β , которую обозначим через $(m_{AB})_\beta$,

$$(m_{AB})_\beta = h \frac{m_\beta}{\rho}, \text{ откуда } m_\beta = \frac{(m_{AB})_\beta \cdot \rho}{h}. \quad (21)$$

Для подсчета необходимой точности измерения угла β значение ошибки будем рассматривать как среднюю допустимую величину влияния отдельных источников ошибок, действующих при измерении сторон,

$$(m_{AB})_\beta = \frac{S}{4T}.$$

В полигонометрии 1 разряда при $S=250$ м и $1/T=1/25\,000$

$$(m_{AB})_\beta = \frac{250\,000}{4 \cdot 25\,000} = 2,5 \text{ мм.}$$

Подставляя это значение в формулу (21), получим

$$m_\beta = \frac{2,5\rho}{h}.$$

Если $h=10$ м, то $m_\beta = (2,5 \cdot 206\,265) : 10\,000 = 50''$. Следовательно, при $h=10$ м средняя ошибка измерения угла β не

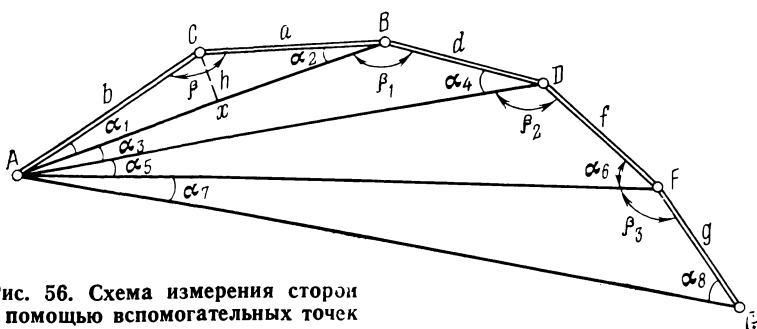


Рис. 56. Схема измерения сторон с помощью вспомогательных точек

должна превышать 50", а при $h=5$ м — 100". Этот способ особенно эффективен при небольшой величине h .

Геодезические работы в условиях города имеют характерные особенности. Очень часто по сторонам полигонометрических ходов между закрепленными знаками появляются препятствия, которые закрывают видимость или мешают измерению сторон. Если препятствия временные, то менять положение полигонометрических знаков не следует, так как это связано с дополнительными затратами. В таких случаях следует воспользоваться способом измерения сторон с помощью одной или нескольких вспомогательных точек (рис. 56).

Непосредственному измерению стороны AB мешает препятствие. Выбирают вспомогательную точку C и измеряют вспомогательные стороны AC и CB , а также угол β .

Длину стороны вычисляют по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\sin \beta}{AC/CB - \cos \beta}; \quad AB = AC \cos \alpha_2 - BC \cos \alpha_1.$$

После дифференцирования и некоторых преобразований получим

$$dAB = \cos \alpha_1 dAC + \cos \alpha_2 dBC + h \frac{d\beta}{\rho},$$

где h — высота треугольника ABC (выноска).

Перейдем к средним квадратическим ошибкам

$$m_{AB}^2 = \cos^2 \alpha_1 m_{AC}^2 + \cos^2 \alpha_2 m_{BC}^2 + h^2 \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2}.$$

Полигонометрические ходы с главными сторонами

Предположим, что полигонометрический ход проложен между пунктами триангуляции A и B с числом сторон n (рис. 57).

Точность этого хода можно значительно увеличить, если ввести главные стороны, при которых уменьшается количество поворотных точек при условии видимости по главным сторонам.

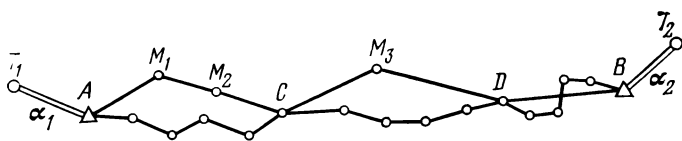


Рис. 57. Схема полигонометрического хода с главными сторонами

Пункты, закрепляющие главные стороны, принято называть главными. Поворотные углы на главных пунктах следует измерять с большей точностью, чем на промежуточных; ход, на основе которого вычисляют главную сторону, по возможности должен быть близким к прямолинейному.

При использовании светодальномеров длины главных сторон можно определять непосредственно. Таким образом, появляется возможность заменять триангуляцию полигонометрией и дать большее число опорных точек, благодаря чему можно: значительно уменьшить высоту знаков на главных пунктах, что снижает общую стоимость работ;

допускать резкий переход от относительно длинных сторон к коротким, так как на продольную ошибку будет влиять не чередование главных сторон, а лишь точность их измерения;

применяя светодальномеры, получить координаты промежуточных точек только в пределах главной стороны;

более целесообразно пользоваться в ходах полигонометрии рельефом и другими условиями местности для повышения точности хода с учетом последующих геодезических работ по съемке города;

надежнее определять координаты выдающихся ориентиров с главных сторон полигонометрии, что значительно облегчает в дальнейшем проведение геодезических работ;

сделать ход полигонометрии прямолинейным без увеличения трудоемкости работ.

Системы стенных полигонометрических знаков и способы привязки к ним ходов полигонометрии

В зависимости от методов эксплуатации различают восстановительные и ориентирные системы стенных полигонометрических знаков.

По конструкции стенные знаки подразделяются на консольные (штанговые) и на знаки типа стенового нивелирного репера.

Восстановительные системы стенных полигонометрических знаков:

1. Стеновой знак конструкции И. А. Анисимова (рис. 58) относится к знакам со съёмными и переносными штангами. Знак

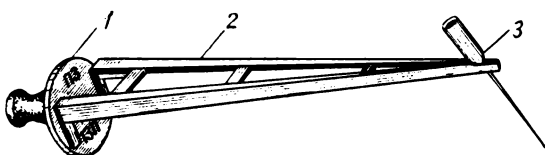


Рис. 58. Стенной знак конструкции И. А. Анисимова

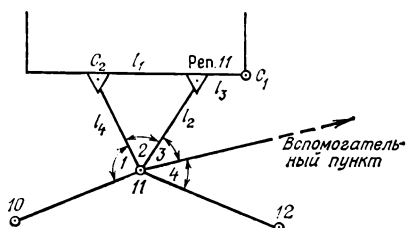


Рис. 59. Система ственных знаков конструкции К. И. Зимины

состоит из металлической марки 1, закладываемой на 2 м от земли в стену зданий, и съемной штанги 2 длиной 1 м.

Пальцы штанги вставляют в вертикальные пазы марки. В конце штанги просверлено отверстие для визирного приспособления, к которому прикрепляется нитяной отвес 3.

Стенные знаки консольного типа при построении новых сетей устанавливать не рекомендуется.

2. Система ственных знаков, предложенная К. И. Зиминым (рис. 59), заключается в том, что на расстоянии до одного метра от угла здания l_3 устанавливают ственной знак Реп. 11, а от него на расстоянии l_1 , равном l_2 , закладывают на цементе железный болт-марочку. В выступающей части марочки просверливается сквозное отверстие диаметром 3 мм, от центра которого измеряют расстояние l_4 до восстанавливаемого рабочего центра 11. Сквозное отверстие желательно установить по отвесной линии, чтобы облегчить в дальнейшем измерение углов.

Поворотные точки, закрепляющие восстановительную систему, должны располагаться на расстоянии 3—5 м от стены здания. На поворотной точке 11, являющейся рабочим центром, устанавливают теодолит и измеряют углы 1, 2, 3, 4 и расстояния l_1, l_2, l_3, l_4 .

При измерении угла 3 наблюдают на легко опознаваемый предмет (шпиль башни, угол дома). Угол 2 измеряется между направлениями на марку C_2 и Реп. 11.

Величину измеренного расстояния l_4 можно проконтролировать, пользуясь формулой

$$l_4 = 2l_1 \cos 2 = 2l_2 \cos 2, \quad (22)$$

полученной из равнобедренного треугольника с вершиной угла Реп. 11. Главное отличие предложенной системы ственных знаков состоит в том, что с помощью измеренного угла 2, приме-

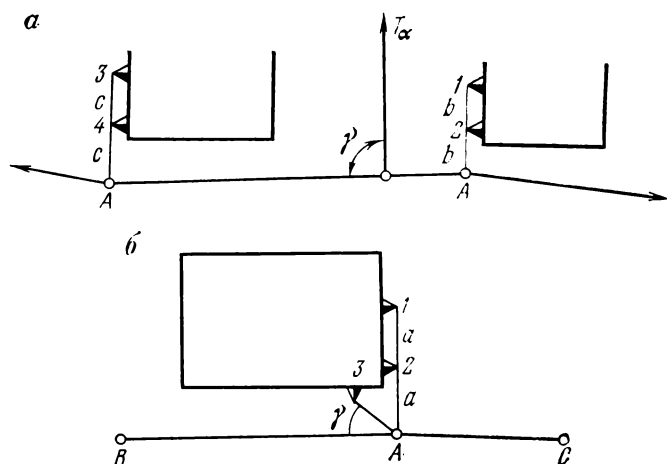


Рис. 60. Система ственных знаков А. И. Марчука (а) и Ю. В. Мулюна (б)

няя формулу (22), можно проконтролировать измерение расстояний, а с помощью угла γ получить надежное ориентирование, т. е. осуществить привязку хода.

3. Система ственных знаков А. И. Марчука (рис. 60, а) представляет собой два ственных репера 1 и 2, которые служат для нахождения точки А с известными координатами. Точку А можно восстановить в случае ее утраты откладыванием по створу от репера 1 отрезка b , равного расстоянию между реперами 1 и 2, и отрезка c между реперами 3 и 4. Ственные знаки закладывают на высоте 0,2—0,3 м от поверхности земли.

4. Система ственных знаков Ю. В. Мулюна (рис. 60, б) отличается от системы А. И. Марчука тем, что, кроме реперов 1 и 2, устанавливается третий репер 3 с таким расчетом, чтобы направление на него от точки А образовывало угол γ не менее 30° . Ственные знаки рекомендуется закладывать на высоте около 1 м от поверхности земли, чтобы при измерении направлений угол наклона трубы теодолита был небольшим. Определяют координаты точки А и трех реперов.

5. Система ственных знаков П. Ф. Дегтярева (рис. 61, а, б) представляет собой два знака, закрепленных на высоте 0,2—0,3 м от поверхности земли. Построением в горизонтальной плоскости равностороннего треугольника, одна из сторон которого закреплена на местности этими двумя знаками, определяется точка А. Расстояние между реперами 1 и 2 рекомендуется брать от 1 до 7 м. При расстоянии в пределах 1—2,5 м можно применять прибор типа штангенциркуля, который облегчает восстановление точки А. Точку А можно также опре-

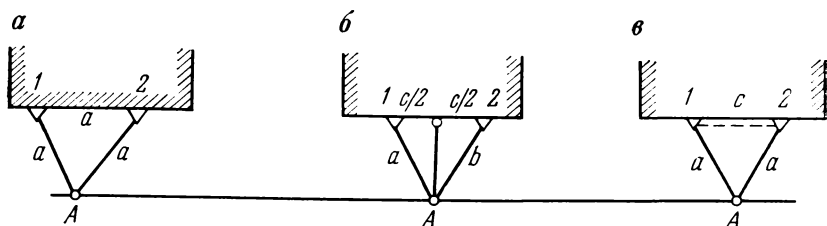


Рис. 61. Система стенных знаков П. Ф. Дегтярева (а, б) и Э. К. Хускивадзе (в)

делить построением треугольников с заданными сторонами, например прямоугольного (см. рис. 61, б).

6. Система стенных знаков Э. К. Хускивадзе (рис. 61, в) (система равнобедренного треугольника) состоит из двух стенных реперов, закрепленных на высоте 0,3—0,5 м от поверхности земли. Для того чтобы определить точку A , пользуются прибором, состоящим из двух проволок одинаковой длины a , скрепленных на одном конце кольцом; другие концы проволок заканчиваются шпильками, прикрепляющими их к стенным реперам. Надевают кольцо на тонкую металлическую вешку с таким расчетом, чтобы стороны равнобедренного треугольника находились в горизонтальной плоскости; острие вешки определит положение точки A .

7. Система стенных знаков Л. В. Гинзбурга состоит из двух стенных реперов A_1, A_2 или A_3, A_4 или A_5, A_6 , закладываемых на высоте 1,3—1,4 м от поверхности земли (рис. 62).

Знак можно восстановить или получить его новое местоположение, установив в створе между двумя знаками теодолит и измеряя расстояние от наземного рабочего центра, над которым установлен теодолит, до центров стенных знаков. Определение координат наземного рабочего центра сведется к определению приращений координат по дирекционному углу, измеренному между знаками, и измеренной линии.

8. Система стенных знаков А. П. Мазурука (рис. 63) состоит из четырех стенных знаков типа нивелирных марок, закладываемых в стены зданий на высоте 1,5 м. Местоположение

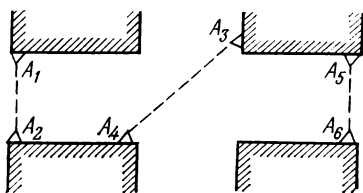


Рис. 62. Система стенных знаков Л. В. Гинзбурга

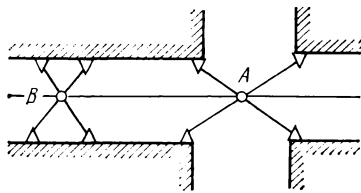


Рис. 63. Система стенных знаков А. П. Мазурука

наземного рабочего центра определяется при помощи теодолита, устанавливаемого в точке пересечения створов между противоположными марками. Таким же образом наземный рабочий центр восстанавливают в случае его утраты. Линейные измерения от ственных знаков восстановительной системы до рабочих центров производятся с точностью 3 мм. При восстановительной системе измерение полигонометрических ходов выполняется по рабочим центрам и определяются их координаты.

Ориентирная система ственных полигонометрических знаков может состоять из одного, двух или трех ственных знаков.

Передача координат с временных точек, на которых выполняют основные угловые и линейные измерения полигонометрического хода, может осуществляться методами редуцирования, полярным, угловой и линейной засечек. Измерение расстояний от центров ственных знаков до временных точек выполняется со средней квадратической ошибкой 2 мм.

1. Ориентирная система, применяемая в Мосгоргеотресте, состоит из одного ственного нивелирного репера, закладываемого в стену здания на такой высоте, чтобы на него можно было установить трехметровую нивелирную рейку по уровню для передачи высоты нивелированием III класса. В этом случае применяется метод редуцирования.

Этот метод позволяет измеренные линии и углы на вспомогательных точках редуцировать на ственные полигонометрические знаки, при этом могут быть два случая: первый, когда ственной знак расположен между двумя грунтовыми знаками; второй — ственные знаки являются смежными.

В первом случае (рис. 64, а) измеряют углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$, линии s_1, s_2 , а также углы A_1, A_2 и линейный элемент b .

Необходимо найти стороны s_1', s_2' , а также углы δ_1 и δ_2 , тогда

$$\beta_1' = \beta_1 + \delta_1; \quad \beta_2' = \beta_2 - (\delta_1 + \delta_2); \quad \beta_3' = \beta_3 + \delta_2.$$

Для вычисления поправок в углы δ_1 и δ_2 определим вспомогательные величины h_1, h_2 (высоты треугольников) и x_1, x_2 (расстояния от основания высоты до временной точки С):

$$h_1 = b \sin A_1; \quad h_2 = b \sin A_2;$$

$$x_1 = b \cos A_1; \quad x_2 = b \cos A_2.$$

Величина x будет положительна, если угол A больше 90° , и отрицательна, если угол A меньше 90° . Угол A , как правило, должен быть равен 90° с отклонением $\pm 2^\circ$. Получив величины h_1, x_1, h_2, x_2 , находят углы δ_1, δ_2 , а также стороны s_1' и s_2' , пользуясь равенствами:

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{h_1}{s_1 - x_1}; \quad s_1' = \frac{s_1 - x_1}{\cos \delta_2};$$

$$\operatorname{tg} \delta_2 = \frac{h_2}{s_2 - x_2}; \quad s_2' = \frac{s_2 - x_2}{\cos \delta_2}.$$

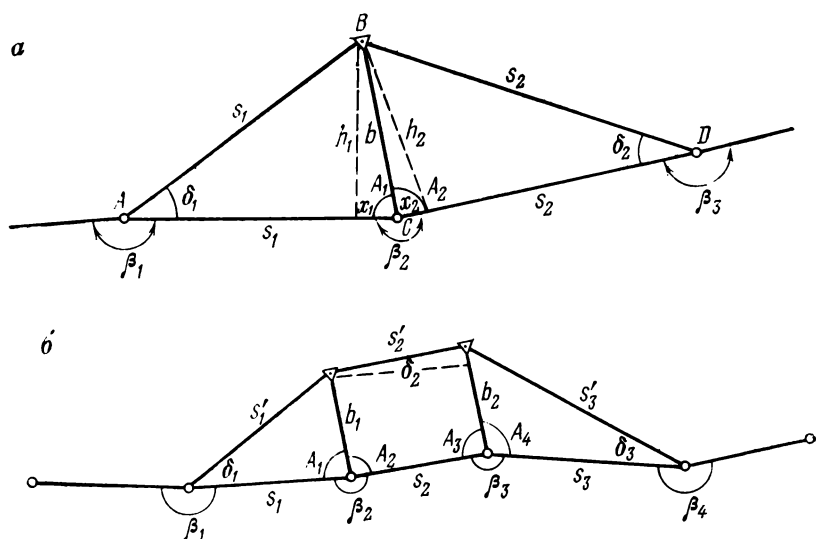


Рис. 64. Система ственных знаков, определяемых методом редуцирования

Когда ственные знаки являются смежными (второй случай) (рис. 64, б), измеряют углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ и β_4 , линии s_1, s_2, s_3, s_4 , а также углы A_1, A_2, A_3, A_4 и линейные элементы b_1 и b_2 .

Для вычисления поправок в углы δ_1, δ_2 и δ_3 , как в первом случае, определяют вспомогательные величины (h и x):

$$h_1 = b_1 \sin A_1; \quad h_2 = b_1 \sin A_2; \quad h_3 = b_2 \sin A_3; \quad h_4 = b_2 \sin A_4;$$

$$x_1 = b_1 \cos A_1; \quad x_2 = b_1 \cos A_2; \quad x_3 = b_2 \cos A_3; \quad x_4 = b_2 \cos A_4,$$

на основании которых определяют стороны и вспомогательные углы δ по формулам:

$$s'_1 = (s_1 - x_1) \sec \delta_1; \quad s'_2 = (s_2 - x_2 - x_3) \sec \delta_2;$$

$$s'_3 = (s_3 - x_4) \sec \delta_3;$$

$$\operatorname{tg} \delta_1 = \frac{b_1 \sin A_1}{(s_1 - x_1)}; \quad \operatorname{tg} \delta_2 = \frac{b_2 \sin A_3 - b_1 \sin A_2}{(s_2 - x_2 - x_3)};$$

$$\operatorname{tg} \delta_3 = \frac{b_2 \sin A_4}{(s_3 - x_4)}.$$

При уравнивании сети полигонометрии пользуются редуцированными на ственные знаки углами и линиями. Пользуясь измеренными линиями и углами на вспомогательные точки, выполняют вычисления для контроля.

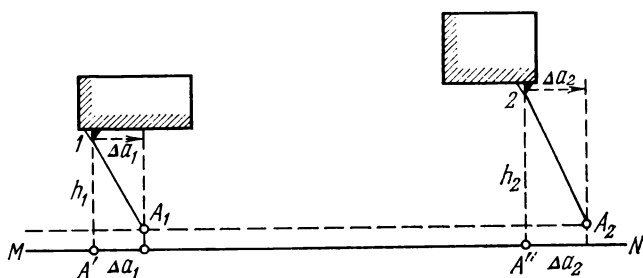


Рис. 65. Система стенных знаков Т. С. Даниленко

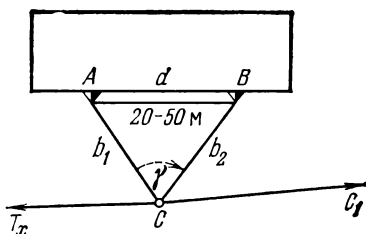


Рис. 66. Ориентирная система двух стенных знаков

Кроме метода редуцирования данную работу можно выполнять полярным методом. В этом случае производится уравнивание лишь временных точек, а координаты стенных знаков типа стенового репера получают после уравнивания полярным методом, вычисляя расстояния и дирекционные углы между знаками по координатам.

2. Ориентирная система стенных полигонометрических знаков Т. С. Даниленко (рис. 65) принципиально не отличается от принятой системы Мосгоргеотреста.

На местности строят прямую линию MN , заданную проектом. Пользуясь координатами проектных точек M и N и центров стенных нивелирных реперов 1 и 2 , вычисляют длины перпендикуляров h_1 и h_2 и расстояния до основания перпендикуляра от проектных точек. На местности при помощи промеров h_1 и h_2 , пользуясь эскером, или на глаз находят точки A_1 и A_2 .

Установив в точке A_2 веху, а в точке A_1 теодолит, строят прямой угол от линии A_1A_2 и определяют уклонение Δa_1 от стенового полигонометрического знака 1 , которое и откладывают по линии A_1A_2 (или на ее продолжении), а затем определяют точку A' . Так же находят точку A'' . Измерения повторяют, пользуясь точками A' и A'' , чтобы убедиться в правильности их нахождения.

3. Ориентирная система стенных полигонометрических знаков К. В. Верещагина (рис. 66) состоит в том, что при продолжении полигонометрического хода определяют координаты двух стенных полигонометрических знаков, расположенных друг от друга на расстоянии 20—50 м.

В системе из двух стенных знаков поставлено условие образования равностороннего треугольника. Наличие второго

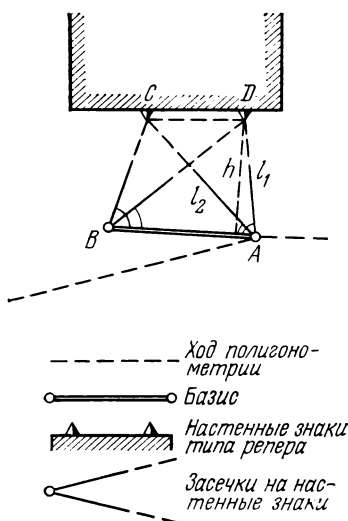


Рис. 67. Ориентирная система стеновых знаков К. А. Лосева

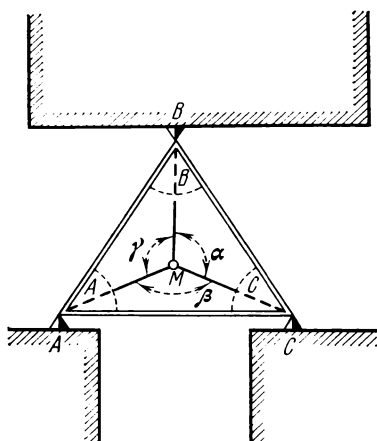


Рис. 68. Ориентирная система стеновых знаков, определяющая восстановительный знак при помощи обратной засечки

знака дает возможность контроля измерения и оценки точности передачи координат с вспомогательной точки на стеновые знаки.

В этом случае измеряют все углы на вспомогательной точке, что дает возможность составить уравнение

$$d^2 = b_1^2 + b_2^2 - 2b_1b_2 \cos \gamma \quad (23)$$

и найти поправки в измеренные линии и в угол A по методу наименьших квадратов.

Дифференцируя уравнение (23), найдем

$$2ddd = 2b_1db_1 + 2b_2db_2 - 2b_1 \cos \gamma db_2 - \\ - 2b_2 \cos \gamma b_1 + 2b_1b_2 \sin \gamma d\gamma,$$

откуда получают условное уравнение

$$(b_1 - b_2 \cos \gamma) db_1 - (b_2 - b_1 \cos \gamma) db_2 - ddd + b_1b_2 \sin \gamma d\gamma + \frac{f}{2} = 0.$$

Так как в этом уравнении, помимо поправок к линиям, определяются поправки к углу A , то необходимо знать ошибки определения линий и углов. Если принять точность измерения линий $m_s = 2$ мм, а углов $m_A = 10''$, то $1/\rho = (m_s)^2 / (m_A)^2 = 1/25$.

4. Ориентирная система стеновых полигонометрических знаков К. А. Лосева (рис. 67) заключается в том, что при проложении ходов полигонометрии на основе базиса BA определялись

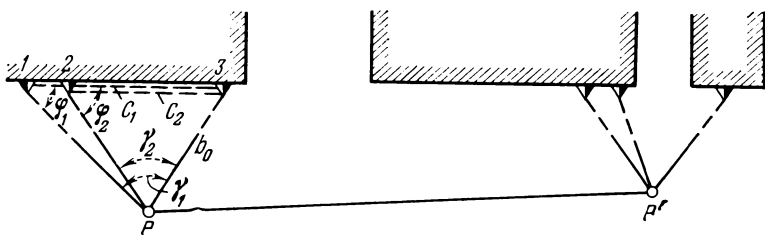


Рис. 69. Система стенных знаков С. Н. Марченко

координаты двух стенных полигонометрических знаков C и D , расстояние между которыми измерялось для контроля. Это расстояние не должно превышать 20 м.

5. Ориентирная система стенных полигонометрических знаков Ю. С. Хмелевского (рис. 68) состоит из четырех знаков A , B , C и M , закладываемых на перекрестках улиц. Восстановить знак M можно либо при помощи створных определений, либо при помощи обратной засечки.

6. Ориентирная система стенных полигонометрических знаков С. Н. Марченко (рис. 69) состоит из трех знаков. Знаки закладываются в стену зданий на высоте 0,5—1,0 м и на расстоянии 5—15 м один от другого, причем один из них 3 является стенным репером, а два других 1 и 2 вспомогательными центрами. Получив координаты стенных знаков, определяют расстояния между ними, которые сверяют с измеренными.

§ 15. УРАВНИВАНИЕ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Строгое уравнивание полигонометрической сети с исходными дирекционными углами на узловых точках

Городские полигонометрические сети обычно представляют собой сложную систему ходов. Густая сеть опорных точек необходима для выполнения съемок в масштабах 1:500—1:5000.

Уравнивание полигонометрических сетей 4 класса, а при их отсутствии 1 разряда производится методом наименьших квадратов, позволяющим оценить полевые измерения. Его применение возможно при наличии исходных дирекционных углов на узловых пунктах, входящих в полигонометрическую сеть, кроме обязательных дирекционных углов на исходных пунктах, наличие которых значительно повышает точность и упрощает вычисления, хотя это и связано с небольшим увеличением объема полевых работ. В практике выгодно применять двухгрупповой метод, относя в первую группу угловые условия, а во вторую — координатные.

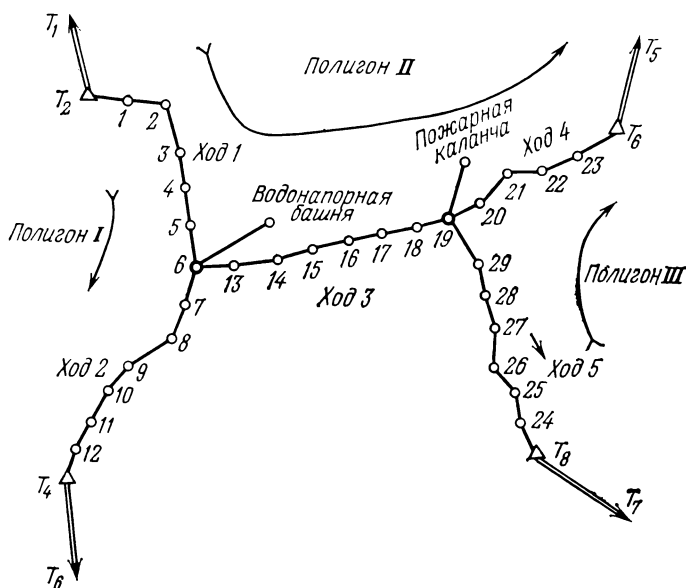


Рис. 70. Схема полигонометрической сети

Общее число условий, возникающих в полигонометрической сети с исходными дирекционными углами на узловых пунктах, может быть подсчитано по формуле

$$r = 3(N + T - 1) + Q,$$

где N — число замкнутых полигонов; T — число опорных пунктов; Q — число дирекционных углов на узловых пунктах.

При этом число угловых (азимутальных) условий

$$r_a = (N + T - 1) + Q;$$

число координатных условий

$$r_k = 2(N + T - 1).$$

Пример уравнивания полигонометрической сети из пяти ходов, образующих две узловые точки с исходными дирекционными углами (рис. 70), приведен в табл. 59—63 (для одного хода).

Вычисления проводят в следующем порядке:

1. В каждом ходе производят предварительное уравнивание углов, распределяя угловую невязку поровну на все углы, затем

Таблица 59

| № знака | Угол поворота (левый) β | Дирекционный угол α | Длина линий, м | $\sin \alpha \cos \alpha$ | Приращения координат, м | | Координаты, м | | № знака |
|--------------------|---------------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------|----------------|----------------|---------|
| | | | | | Δx | Δy | x | y | |
| T_1 | $+1,3''$ | $132^\circ 17' 09,4''$ | | | | | | | |
| T_2 | $178^\circ 24' 17,3''$ | $1^\circ 0' 41' 28,0$ | $456,674$ $+4$ | $+0,758235$ $-0,651981$ | $-297,743$ $+8$ | $+346,266$ $+12$ | $+40\ 882,045$ | $+35\ 574,910$ | T_2 |
| I | $+1,3$ $167\ 43\ 47,8$ | $118\ 25\ 17,1$ | $363,081$ $+4$ | $+0,879471$ $-0,475953$ | $-172,809$ $+4$ | $+319,319$ $+12$ | $+40\ 584,310$ | $+35\ 881,188$ | I |
| 2 | $+1,3$ $214\ 12\ 01,6$ | $152\ 37\ 20,0$ | $442,310$ $+0$ | $+0,459855$ $-0,887994$ | $+392,769$ $+13$ | $+203,398$ $+25$ | $+40\ 411,516$ | $+36\ 200,519$ | 2 |
| 3 | $+1,3$ $201\ 10\ 36,5$ | $173^\circ 47' 57,8''$ | $346,535$ -2 | $+0,108010$ $-0,994150$ | $-344,508$ $+4$ | $+37\ 429$ $+22$ | $+40\ 018,760$ | $+36\ 403,942$ | 3 |
| 4 | $+1,2$ $176^\circ 36' 12,4''$ | $170\ 24\ 11,4$ | $403,436$ -2 | $+0,166714$ $-0,986005$ $+0,644313$ | $-397,790$ $+6$ | $+67,258$ $+21$ | $+39\ 674,256$ | $+36\ 441,393$ | 4 |
| 5 | $+1,2$ $149\ 28\ 56,2$ | $139\ 53\ 08,8$ | $456,023$ $+2$ | $-0,76\ 761$ | $-348,749$ $+8$ | $+329,822$ $+13$ | $+39\ 276,472$ | $+36\ 508,672$ | 5 |
| 6 | $+1,2$ $92\ 46\ 14,6$ | $52\ 39\ 24,6$ | | | | | $+38\ 927,731$ | $+36\ 802,507$ | 6 |
| Водонапорная башня | $1190^\circ 22' 06,4''$ $f_\beta = -8,8$ | | $2468,059$ $f_s = +6$ | $-1954,368$ $f_x = +54$ | $-1267,492$ $f_y = +105$ | | | | |
| | | | | $f_s = 118;$ | $f_s = \frac{1}{s} = \frac{1}{20\ 900}$ | | | | |

Таблица 60

| № знака | $q(k_1+k_2)\eta_i$, угл. с | $-q(k_2+k_1)\xi_i$, угл. с | Поправка в угол поворота v_i , угл. с | Поправка в ди- рекционный угол v_{0i} , угл. с | $1000(k_1+k_2)\Delta x$ | $1000(k_2+k_1)\Delta y$ | Поправка в длину линий v_i , мм | ξ | η |
|---------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------------------|-------|--------|
| T_2 | -1,8 | -4,7 | -6,5 | 0,0 | -2,4 | +5,9 | +3,5 | +914 | -718 |
| I | -0,9 | -3,2 | -4,1 | -6,5 | -1,4 | +5,4 | +4,0 | +616 | -372 |
| 2 | -0,1 | -2,3 | -2,4 | -10,6 | -3,2 | +3,4 | +0,2 | +443 | -52 |
| 3 | +0,4 | -0,3 | +0,1 | -13,0 | -2,8 | +0,6 | -2,2 | +51 | +151 |
| 4 | +0,5 | +1,5 | +2,0 | -12,9 | -3,2 | +1,2 | -2,0 | +294 | +188 |
| 5 | +0,6 | +3,6 | +4,2 | -10,9 | -2,8 | +5,0 | +2,2 | -792 | +256 |
| 6 | +1,4 | +5,4 | +6,8 | -6,7 | | | | -1040 | +549 |
| | | | | 0,0 | | | +5,7 | | |

Таблица 61

| № полигона | Опорный пункт | | $[\Delta x]; [\Delta y]$ | № хода, входящего в полигон | $f_x; f_y$ | Нормальное уравнение | |
|------------|-----------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------|
| | Обозначение пункта | x, y | | | | № уравнения | буквенный коэффициент |
| I | T_2 | +40 882,045 +35 534,910 | -3582,064 -856,470 | 1 и 2 | -0,154 -0,070 | 1 | a |
| | T_4 | +37 300,135 +34 678,510 | | | | 2 | b |
| II | T_2 | +40 882,045 +35 534,910 | -821,947 +5585,503 | 1; 3; 4 | -0,037 -0,132 | 3 | c |
| | T_6 | +40 060,135 +41 120,545 | | | | | d |
| III | T_8 | +37 401,620 +40 842,395 | +2658,379 +278,292 | 5 и 4 | -0,136 +0,142 | 5 | e |
| | T_6 | +40 060,135 +41 120,545 | | | | 6 | f |

Таблица 62

| Порядок вычисления | Номер хода | | | | |
|-------------------------------------------------------------|------------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| $[\Delta x \cos \alpha]$ | +1626 | +1070 | +240 | +276 | +1863 |
| $[\Delta y \sin \alpha]$ | +842 | +1687 | +2689 | +1392 | +751 |
| $[\Delta x \sin \alpha]$ | —887 | +1182 | +593 | +406 | —926 |
| $1000 \frac{q}{\rho} \left[\frac{\eta^2}{1000} \right]$ | +1609 | +6064 | +9577 | +2552 | +2289 |
| $1000 \frac{q}{\rho} \left[\frac{\xi^2}{1000} \right]$ | +4553 | +3150 | +712 | +251 | +5228 |
| $-1000 \frac{q}{\rho} \left[\frac{\eta \xi}{1000} \right]$ | +2533 | —4244 | —2603 | —750 | +3366 |
| <i>A</i> | +3235 | +7134 | +9817 | +2828 | +4152 |
| <i>B</i> | +5395 | +4837 | +3401 | +1643 | +5979 |
| <i>C</i> | +1646 | —3032 | —1910 | —344 | +2440 |

$$q = 306,8;$$

$$q/\rho = 14\,874,10^{-7}$$

Таблица 63

| № полигона | I | | II | | III | |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
| Координаты | <i>x</i> | <i>y</i> | <i>x</i> | <i>y</i> | <i>x</i> | <i>y</i> |
| Буквенные коэффициенты | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>c</i> | <i>d</i> | <i>e</i> | <i>f</i> |
| № п/п | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | $A_1 + A_2$ +10,37 | $C_1 + C_2$ —1,42 | A_1 +3,24 | C_1 +1,65 | | |
| 2 | $C_1 + C_2$ —1,42 | $B_1 + B_2$ +10,23 | C_1 +1,65 | B_1 +5,40 | | |
| 3 | A_1 +3,24 | C_1 +1,65 | $A_1 + A_2 + A_4$ +15,88 | $C_1 + C_2 + C_4$ —0,61 | A_4 +2,83 | C_4 —0,34 |
| 4 | C_1 +1,65 | B_1 +5,40 | $C_1 + C_2 + C_4$ —0,61 | $B_1 + B_2 + B_4$ +10,44 | C_4 —0,34 | B_4 +1,64 |
| 5 | | | A_4 | A_4 | $A_4 + A_5$ +6,98 | $C_4 + C_5$ +2,10 |
| 6 | | | C_4 —0,34 | B_4 +1,64 | $C_4 + C_5$ +2,10 | $B_4 + B_5$ +7,62 |

вычисляют дирекционные углы сторон, приращения координат, центральные координаты пунктов и, наконец, величины

$$A_i = [\Delta x \cos \alpha]_i + \frac{q}{\rho} [\eta^2]_i; \quad B_i = [\Delta y \sin \alpha]_i - \frac{q}{\rho} [\xi^2]_i;$$

$$C_i = [\Delta x \sin \alpha]_i - \frac{q}{\rho} [\eta \xi]_i.$$

Центральные координаты пунктов хода определяют по формулам

$$\xi_i = x_i - x_0; \quad \eta_i = y_i - y_0,$$

где

$$x_0 = \frac{[x]_i}{n+1}; \quad y_0 = \frac{[y]_i}{n+1};$$

контролем служат равенства: $[\xi_i] = 0$; $[\eta_i] = 0$

2. Руководствуясь чертежом уравниваемой сети, намечают полигоны замкнутые или опирающиеся на опорные пункты. Общее число полигонов определяется числом замкнутых полигонов плюс число опорных точек без одной, т. е. $N + T - 1$.

При выборе полигонов необходимо следить за тем, чтобы ни один ход данной сети не остался не включенным в полигон и условия, возникающие в выбранных полигонах, были независимы.

Для выполнения последнего требования следует при выборе полигонов наметить сначала все замкнутые полигоны сети, а затем полигоны между исходными пунктами, придерживаясь при этом правила: идти от уже использованного пункта к пункту, включаемому впервые.

Все выбранные полигоны помечают на схеме, нумеруют римскими цифрами, а их направление показывают стрелкой.

Для сети, изображенной на рис. 70, выбраны три полигона: *I*, *II* и *III*.

Соответствующие условные уравнения координат будут иметь вид: для полигона *I*

$$a) [v_s \cos \alpha]_1 + [v_s \cos \alpha]_2 + \frac{1}{\rho} [\eta v''_{\beta}]_1 +$$

$$+ \frac{1}{\rho} [\eta v''_{\beta}]_2 + f_{x_1} = 0;$$

$$b) [v_s \sin \alpha]_1 + [v_s \sin \alpha]_2 - \frac{1}{\rho} [\xi v''_{\beta}]_1 - \frac{1}{\rho} [\xi v''_{\beta}]_2 + f_{y_1} = 0;$$

для полигона *II*

$$c) [v_s \cos \alpha]_1 + [v_s \cos \alpha]_3 + [v_s \cos \alpha]_4 +$$

$$+ \frac{1}{\rho} [\eta v''_{\beta}]_1 + \frac{1}{\rho} [\eta v''_{\beta}]_3 + \frac{1}{\rho} [\eta v''_{\beta}]_4 + f_{x_{II}} = 0;$$

$$d) [v_s \sin \alpha]_1 + [v_s \sin \alpha]_3 + [v_s \sin \alpha]_4 -$$

$$- \frac{1}{\rho} [\xi v''_{\beta}]_1 - \frac{1}{\rho} [\xi v''_{\beta}]_3 - \frac{1}{\rho} [\xi v''_{\beta}]_4 + f_{y_{II}} = 0;$$

для полигона III

$$e) [v_s \cos \alpha]_5 + [v_s \cos \alpha]_4 + \frac{1}{\rho} [\eta v_B]_5 + \frac{1}{\rho} [\eta v_B]_4 + f_{x_{III}} = 0;$$

$$f) [v_s \sin \alpha]_5 + [v_s \sin \alpha]_4 - \frac{1}{\rho} [\xi v_B]_5 - \frac{1}{\rho} [\xi v_B]_4 + f_{y_{III}} = 0.$$

Практически необходимость в составлении условных уравнений не возникает, ибо имеется возможность сразу составить нормальные уравнения коррелат.

3. Для каждого полигона подсчитывают невязки в координатах f_x , f_y и сравнивают с предельными допустимыми.

4. Составляют нормальные уравнения коррелат, руководствуясь следующими правилами:

для каждого полигона составляют два нормальных уравнения (для f_x и f_y), при этом полигону I соответствуют коррелаты k_1 и k_2 , полигону II — k_3 и k_4 и т. д., полигону с номером i — коррелаты k_{2i-1} и k_{2i} (нечетные коррелаты — абсциссы, четные — ординаты);

в коэффициентах нечетных нормальных уравнений чередуются величины A и C , в четных — C и B ;

квадратичные коэффициенты равны сумме величин A (для нечетных уравнений) и B (для четных) всех ходов, входящих в данный полигон;

в нечетных уравнениях после члена с квадратичным коэффициентом (а в четных перед ним) идет член с коэффициентом, равным сумме величин C всех входящих в данный полигон ходов;

коэффициенты при остальных членах состоят из величин A и C или же C и B , общих для двух полигонов.

При этом если оба полигона в общей части имеют одинаковое направление, то перед коэффициентом ставится знак плюс, в противном случае — знак минус.

Для приводимого примера нормальные уравнения коррелат:

$$I. \quad 1. (A_1 + A_2) k_1 + (C_1 + C_2) k_2 + A_1 k_3 + C_1 k_4 + f_{x_I} = 0;$$

$$2. (C_1 + C_2) k_1 + (B_1 + B_2) k_2 + C_1 k_3 + B_1 k_4 + f_{y_I} = 0;$$

$$II. \quad 3. A_1 k_1 + C_1 k_2 + (A_1 + A_3 + A_4) k_3 + (C_1 + C_3 + C_4) k_4 + A_4 k_5 + C_4 k_6 + f_{x_{II}} = 0;$$

$$4. C_1 k_1 + B_1 k_2 + (C_1 + C_3 + C_4) k_3 + (B_1 + B_3 + B_4) k_4 + C_4 k_5 + B_4 k_6 + f_{y_{II}} = 0;$$

$$III. \quad 5. A_1 k_3 + C_4 k_4 + (A_4 + A_5) k_5 + (C_4 + C_5) k_6 + f_{x_{III}} = 0;$$

$$6. C_4 k_3 + B_4 k_4 + (C_4 + C_5) k_5 + (B_4 + B_5) k_6 + f_{y_{III}} = 0.$$

5. Решая нормальные уравнения, находят значения коррелат. Решение можно вести либо методом последовательных

приближений, либо методом последовательного исключения неизвестных по полной или сокращенной схеме.

В результате решений уравнений получим: $k_1 = +1,4962$; $k_2 = +0,2285$; $k_3 = -0,6806$; $k_4 = +1,4632$; $k_5 = +3,2233$; $k_6 = +3,0965$. Для удобства вычислений все коэффициенты уменьшили в 10^3 раз, а свободные члены увеличили в 10^2 раз, вследствие чего значения коррелат получились увеличенными в 10^5 раз.

6. Вычисляют вторичные поправки в углы и поправки в длины сторон по формулам

$$v_{\beta}'' = qk' \eta_i - qk'' \xi_i;$$

$$v_s'' = k' \Delta x_i + k'' \Delta y_i,$$

где k' и k'' — алгебраические суммы соответственно нечетных и четных коррелат полигонов, в которые входит данный ход. Если направление хода совпадает с направлением полигона, то коррелаты берутся со своим знаком, в противном случае — с обратным.

Для приводимого примера уравнения поправок:
для хода 1

$$v_{\beta_1}'' = q(k_1 + k_3) \eta_i - q(k_2 + k_4) \xi_i; \quad v_s'' = (k_1 + k_2) \Delta x_i + (k_2 + k_4) \Delta y_i;$$

для хода 2

$$v_{\beta_i}'' = qk_1 \eta_i - qk_2 \xi_i; \quad v_{s_i}'' = k_1 \Delta x_i + k_2 \Delta y_i;$$

для хода 3

$$v_{\beta_i}'' = qk_3 \eta_i - qk_4 \xi_i; \quad v_{s_i}'' = k_3 \Delta x_i + k_4 \Delta y_i$$

и т. д.

7. После этого, так же как и в одиночном ходе, можно либо вычислить поправки в приращения координат и координаты (при этом будет совпадение исправленных сумм приращений координат по каждому полигону с их теоретической величиной), либо исправить значения длин сторон и величин углов и вновь вычислить ход, который уже не будет иметь невязок по осям координат f_x и f_y (в пределах точности вычислений), что и будет служить контролем.

Приведенный способ уравнивания полигонометрических сетей является строгим и отличается сравнительно небольшим увеличением объема работ по сравнению с уравниванием соответствующего количества одиночных ходов. Необходимо, чтобы при проведении полевых работ на все узловые точки производилась передача точного дирекционного угла с пункта триангуляции либо астрономическое определение азимута.

Строгое уравнивание полигонометрической сети без исходных дирекционных углов на узловых точках является значительно более сложной задачей.

Раздельное уравнивание полигонометрической сети

Для облегчения вычислений применяют раздельное уравнивание, которое заключается в том, что уравнивание производится независимо друг от друга — сначала уравнивают углы, затем абсциссы и, наконец, ординаты.

Такое уравнивание не будет строгим, так как при этом нарушается основное требование метода наименьших квадратов относительно независимости друг от друга уравниваемых величин.

Однако практика работ показывает, что при этом способе уравнивания результаты обычно не очень сильно отличаются от величин, получаемых строгим уравниванием, а сокращение объема вычислительных работ оказывается весьма значительным. Этот метод можно с успехом применять для уравнивания полигонометрических сетей 1 и 2 разрядов и теодолитных ходов.

К раздельному уравниванию относятся три основных способа: способ среднего весового (способ эквивалентной замены проф. А. С. Чеботарева), коррелятный способ (способ узлов проф. В. В. Попова), параметрический способ (способ полигонов проф. В. В. Попова).

Все три способа дают совершенно тождественные результаты, и выбор одного из них диктуется особенностями уравниваемой сети — избирается тот метод, при котором объем вычислительных работ будет меньше.

При уравнивании способами, разработанными проф. В. В. Поповым, руководствуются в основном количеством нормальных уравнений, число которых при параметрическом способе равно числу определяемых узловых точек, а при коррелятном способе — числу возникающих в данной сети условий, которое равно числу замкнутых полигонов плюс число исходных опорных точек без одной. При одинаковом количестве нормальных уравнений предпочтение следует отдать способу полигонов.

Способ эквивалентной замены следует применять для сравнительно простых сетей, где он благодаря своей наглядности дает возможность быстро провести уравнивание. Достоинство этого способа заключается в том, что он дает возможность весьма просто произвести оценку точности уравненных величин.

Применяя один из трех способов, при уравнивании углов за вес суммы углов хода (или дирекционного угла, вычисленного по этой сумме) принимают величину, определяемую равенством

$$p_{[\beta]} = P_{\alpha} = \frac{c}{n + 1},$$

где n — число сторон в ходе; c — произвольная величина, выбираемая так, чтобы веса выражались простыми числами.

При уравнивании приращений координат проще всего принять за вес величину, обратно пропорциональную длине хода,

$$p_{[\Delta x]} = p_x = p_{[\Delta y]} = p_y = \frac{c}{[s]}. \quad (24)$$

Такой подсчет веса является приближенным, так как он не учитывает влияние угловых ошибок, которые при значительном числе углов становятся недопустимыми, поэтому использовать формулу (24) можно только в сетях: с небольшим числом сторон (3—5); где угловые измерения заведомо точнее линейных; в сетях малой точности (теодолитных или тахеометрических ходов).

Более точно учесть веса координат можно, если $p_x = p_y = c/M^2$, где M — средняя квадратическая ошибка конечных точек соответствующих ходов.

Для вытянутых ходов

$$M^2 = \mu^2 L + \lambda^2 L^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho} L^2 \cdot \frac{n+3}{12};$$

если пренебречь величиной λ ,

$$M^2 = \mu^2 L \left(1 + \frac{m_{\beta}^2}{\mu^2 \rho^2} L \cdot \frac{n+3}{12} \right);$$

для ломаных ходов

$$M^2 = \mu^2 [s] + \lambda^2 L^2 \cdot \frac{m_{\beta}^2}{\rho} [D_{0i}^2].$$

Однако такой учет весов имеет недостаток, так как веса абсцисс и ординат принимаются равными без всяких оснований. Наиболее строгим учет весов координат будет, если за вес координаты принять величину, обратно пропорциональную ее средней квадратической ошибке, т. е.

$$p_x = \frac{c}{M_x^2}; \quad p_y = \frac{c}{M_y^2}.$$

ГЛАВА 5

НИВЕЛИРОВАНИЕ

Создание нивелирных сетей в городах, поселках и на промышленных площадках ставит своей задачей надежное определение высот знаков, используемых не только для получения топографических планов масштабов 1 : 5000—1 : 500, но также для проектирования, перенесения проектов в натуру и строительства инженерных сооружений и коммуникаций (зданий, мостов, подземных сетей, дорог и пр.).

§ 16. КЛАССЫ НИВЕЛИРНЫХ СЕТЕЙ И ИХ ТОЧНОСТЬ

Развиваемые на территории городов, поселков и промышленных площадок нивелирные сети по простиранию и точности разделяют на сети I, II, III и IV классов.

Нивелирные сети I класса в городах проектируют по единому перспективному плану ГУГК при Совете Министров СССР.

Устойчивость нивелирных реперов в городах тесно связана с устойчивостью инженерных сооружений. В крупных городах, на территории которых в больших объемах осуществляется строительство крупнейших инженерных сооружений, возникает необходимость выполнения нивелирования I класса, схема построения и развития которого разрабатывается для каждого города в отдельности.

Нивелирные сети I и II классов создают единую систему высот в СССР (высоты определяются от нуля Кронштадтского футштока). Кроме того, нивелирование I класса служит для решения научных задач по изучению вертикального движения земной коры, физической поверхности Земли и определению разности высот морей, океанов и др. Нивелирные сети III и IV классов предназначены для высотного обоснования топографических съемок и решения ряда инженерных задач. В случаях когда в данном городе существует своя система высот, на основе

Таблица 64

| Техническая характеристика | Допуск | | | |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------|---------------|---------------|
| | Класс нивелирования | | | |
| | I | II | III | IV |
| Средняя квадратическая ошибка на 1 км хода, мм: | | | | |
| случайная | 0,5 | 2,0 | 5,0 | 10,0 |
| систематическая | 0,05 | 0,4 | — | — |
| Нормальная длина визирного луча, м | 50 | 65—75 | 75—100 | 100—150 |
| Неравенство расстояний на станции, м | 0,5 | 1 | 2 | 5 |
| Неравенство расстояний в ходе, м | 1 | 2 | 5 | 10 |
| Высота луча над поверхностью земли, м | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,3 |
| Допустимые расхождения в превышениях хода, мм: | | | | |
| до 15 станций на 1 км (L в км) | $3\sqrt{L}$ | $5\sqrt{L}$ | $10\sqrt{L}$ | $20\sqrt{L}$ |
| свыше 15 станций на 1 км хода | $4\sqrt{L}$ | $6\sqrt{L}$ | $2,6\sqrt{n}$ | $5\sqrt{n^*}$ |
| Допустимые расхождения в превышениях на станции, мм: | | | | |
| по прецизионным рейкам | 0,5 | 0,7 | 1,5 | — |
| по шашечным рейкам | — | — | 3 | 5 |
| Допустимые невязки ходов и в полигоне, мм (L в км) | — | $5\sqrt{L}$ | $10\sqrt{L}$ | $20\sqrt{L}$ |
| Допустимые длины ходов между исходными марками или в полигонах, км | — | 40 | 15 | 12 |
| Допустимые длины ходов между узловыми пунктами, км | — | 10 | 5 | 2 |

* n — число штативов

которой проложены городские коммуникации и построены промышленные и жилые здания, следует сохранять принятую систему высот и вновь прокладывать нивелирные ходы между существующими знаками в системе высот города.

Технические характеристики и допуски нивелирования I, II, III и IV классов приведены в табл. 64.

§ 17. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА НИВЕЛИРОВАНИЯ

Нивелиры и их исследование. Нивелирование II класса производится нивелиром Н2 (рис. 71) и другими, ему равноточными, а также нивелиром с самоустанавливающейся линией визирования Ni-0,007 (рис. 72). Прибор имеет перископическую зрительную трубу, оптический микрометр с поворачивающейся вокруг горизонтальной оси пентапризмой, компенсатор в виде прямоугольной призмы укреплен на маятниковой подвеске и снабжен воздушным демпфером.

Нивелирование III класса выполняется нивелиром Н-ЗК с компенсатором (рис. 73), Н-3 (рис. 74), Ni-007, Ni-B3 (рис. 75). Нивелир Ni-B3 с самоустанавливающейся линией визирования, которая обеспечивается призмным компенсатором в пределах угла наклона $\pm 8''$ со средней квадратической ошибкой 0,4 мм в любой точке диапазона компенсации. Нивелир имеет горизонтальный лимб, отсчеты по которому производятся через специальный окуляр, расположенный рядом с окуляром зрительной трубы.

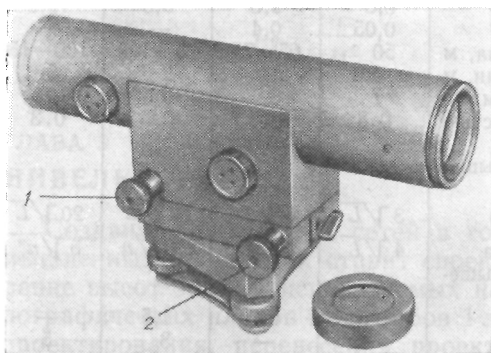
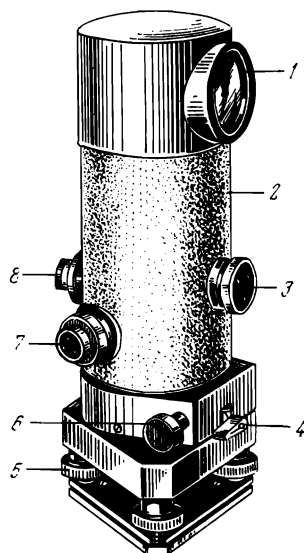


Рис. 71. Нивелир Н2:

1 — элевационный винт; 2 — наводящее устройство

Рис. 72. Нивелир с компенсатором Ni-007:

1 — объектив зрительной трубы; 2 — корпус зрительной трубы; 3 — кремальера; 4 — закрепительный рычаг; 5 — подъемный винт; 6 — наводящий винт; 7 — винт вращения пентапризмы; 8 — окуляр



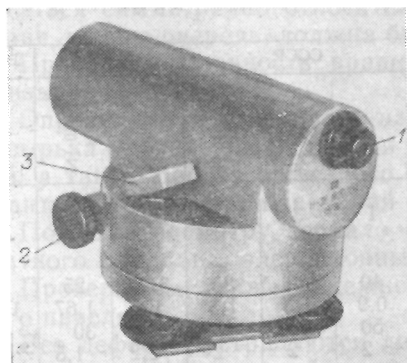


Рис. 73. Нивелир Н-3К:

1 — окуляр зрительной трубы; 2 — головка наводящего устройства; 3 — установочный уровень

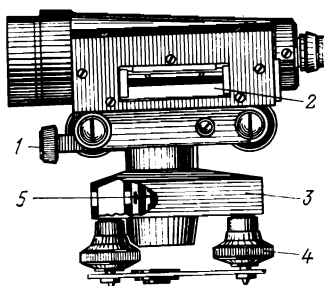


Рис. 74. Нивелир Н-3:

1 — закрепительный винт зрительной трубы; 2 — цилиндрический уровень; 3 — подставка; 4 — подъемный винт; 5 — винт для крепления верхней и нижней частей нивелира

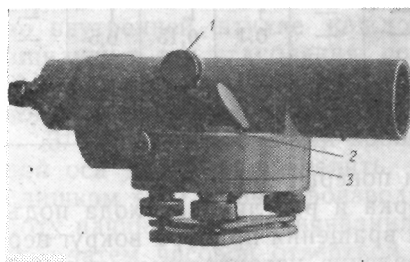


Рис. 75. Нивелир Ni-B3:

1 — кремальера; 2 — установочный круглый уровень; 3 — защитный кожух горизонтального лимба

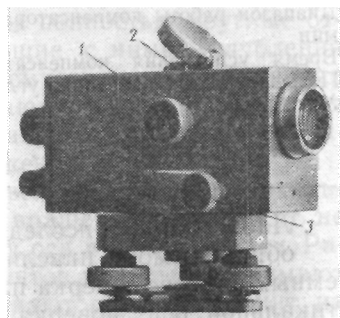


Рис. 76. Нивелир Ni-025:

1 — кремальера; 2 — круглый уровень; 3 — наводящий винт трубы

Нивелирование IV класса выполняется нивелирами Н-3К, Н-3, а также Ni-025 (рис. 76). Ni-025 с оптико-механическим компенсатором, находящимся в зрительной трубе между фокусирующей линзой и сеткой нитей. Фрикционно-червячный механизм позволяет при помощи винта производить точное наведение по горизонту. Компенсатор устроен в виде системы призм, из которых крышеобразная прикреплена к корпусу, а две прямоугольные подвешены на четырех попарно скрещивающихся ленточках и снабжены воздушным демпфером.

Основные технические характеристики нивелиров приведены в табл. 65.

Исследования и поверки нивелиров выполняются в лабораторных условиях, а также в полевых условиях перед производством работ и в течение полевого периода.

Таблица 65

| Техническая характеристика | СССР | | | ГДР | | ВНР |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------|-----|------|--------|--------|-------|
| | Н2 | Н-3 | Н-3К | Ni-007 | Ni-025 | Ni-P3 |
| Средняя квадратическая погрешность измерения превышения на 1 км двойного хода, мм | 1 | 3 | 3 | 2 | 2,5 | 2 |
| Увеличение зрительной трубы | 40 | 30 | 30 | 31,5 | 25 | 28 |
| Угол поля зрения трубы, угл. градус | 0,9 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 1,67 | 1,33 |
| Световой диаметр объектива, мм | 50 | 40 | 40 | 40 | 30 | 45 |
| Минимальное расстояние визирования, мм | 2 | 2 | 2 | 2,2 | 1,5 | 3 |
| Цена деления уровня: | | | | | | |
| цилиндрического, угл. с на 2 мм | 10 | 15 | — | — | — | — |
| круглого, угл. мин на 2 мин | 5 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 |
| Цена деления оптического микрометра, мм | 0,05 | — | — | — | — | — |
| Диапазон работы компенсатора, угл. мин | — | — | ±15 | ±10 | ±10 | ±15 |
| Время успокоения компенсатора, с | — | — | 1 | 1 | 1 | — |
| Погрешность компенсации, угл. с | — | — | 0,1 | 0,15 | 0,5 | — |
| Масса, кг: | | | | | | |
| нивелира | 6,5 | 2,0 | 2,5 | 3,8 | 1,7 | 2,3 |
| укладочного ящика | 4,6 | 2,0 | 2,0 | 2,8 | 1,7 | 2,3 |

Лабораторные исследования и поверки нивелиров:

общий осмотр нивелира, поверка и регулировка хода подъемных винтов; поверка плавности вращения прибора вокруг вертикальной оси; поверка и исправление установочных уровней, поверка и исправление установки сетки нитей, цилиндрического уровня; исследование цилиндрического контактного уровня, включая определение средней квадратической ошибки совмещения изображений концов пузырька уровня;

исследование работы механизма, наклоняющего плоскопараллельную пластинку, и определение цены деления отсчетного барабана;

исследование правильности хода фокусирующей линзы — определение коэффициента дальномера и асимметрии нитей, испытание работы элевационного винта и определение цены его деления, проложение контрольного хода.

Эти исследования выполняются с особой тщательностью и полнотой в специальных лабораториях для того, чтобы получить данные, позволяющие судить о качестве нивелиров.

1. Общий осмотр нивелира.

Визуально проверяют чистоту изображения зрительной трубы, четкость сетки нитей, а также возможность хорошей фокусировки.

Визуально наблюдают концы пузырька уровня и деления на ампуле, при этом обе половины пузырька уровня должны распо-

лагаться симметрично относительно разделительной линии, которая, в свою очередь, должна быть четкой и тонкой.

Проверяют плавность вращения окуляра и фокусирующей линзы.

Определяют возможность наблюдения изображений концов пузырька уровня при вращении окуляра совместно с сеткой нитей, а также работу отсчетного барабана, которая должна проходить при отсутствии заеданий и мертвого хода.

Подлежат осмотру зеркало, освещающее уровень, лупа отсчетного барабана, элевационный винт и крепление винтов.

Проверяется также надежность штатива при установке на него нивелира.

Все дефекты устраняются либо производящим осмотр, либо в специальной мастерской.

2. Поверка и регулировка хода подъемных винтов.

Подъемные винты нивелира при работе должны вращаться легко и плавно. В противном случае производится регулировка хода винтов. Достигается это тем, что по очереди вывинчивают винты до тех пор, пока не будут видны полностью круглые отверстия на их стержнях и совпадающие с ними углубления во внутренней втулке каждого подъемного винта. Вставляя шпильку в эти углубления, поворачивают втулку и добиваются хорошей работы подъемного винта. Такую регулировку производят путем последовательных приближений.

3. Поверка плавности вращения нивелира вокруг вертикальной оси должна определить, что это вращение происходит не слишком туго, иначе производят чистку оси и смену смазки. Работу начинают с отвинчивания двух винтов вкладыша, снимают его, затем часовой отверткой вывинчивают стопорный винт на боковой поверхности гильзы возвратной пружины, затем отверткой с лезвием, равным размеру шлица, вывинчивают винт, закрывающий гильзу, и вынимают пружину. Потом осторожно снимают верхнюю часть нивелира, многократно поворачивая трубу в обе стороны и поднимая ее вверх небольшими усилиями.

Специальной чистой тряпкой, немного смоченной очищенным бензином, протирают ось и втулку, а затем сухой тряпкой вытирают насухо ось и втулку, не оставляя на них волокон ткани.

Смазку оси производят стеклянной палочкой, проводя ею 3—4 раза вдоль оси. Затем нивелир собирают, следя за тем, чтобы упор пружины попал в углубление на водильце зажимного винта, а стопорный винт — в углубление на винте, закрывающем гильзу. Устанавливают вкладыши на свое место и привертывают два винта.

Работа производится обязательно в закрытом помещении, чтобы устранить возможность попадания на ось и внутрь нивелира пыли и грязи.

4. Поверка и исправление установочных уровней.

Сначала устанавливают нивелир при помощи уровня по двум подъемным винтам и приводят пузырек уровня на середину трубки, затем устанавливают нивелир по направлению третьего винта и снова приводят пузырек уровня на середину. После этого вновь устанавливают уровень по направлению двух подъемных винтов и поворачивают нивелир на 180° . Если пузырек уровня отклонился от середины, то его положение исправляют на половину дуги отклонения подъемными винтами, а на другую половину — исправительными винтами уровня; поверку продолжают до тех пор, пока пузырек уровня при повороте на 180° перестанет отклоняться от середины больше чем на 0,5 деления уровня. После исправления средний винт, скрепляющий кронштейн с пластинкой, несущей оба уровня, надежно закрепляют.

5. Поверка и исправление сетки нитей.

Приводят нивелир в рабочее положение и наводят среднюю нить сетки трубы на ясно видимую точку. Плавно перемещают трубу по азимуту, и если при этом нить сетки не сходит с точки, то установка сетки считается правильной. В противном случае положение сетки исправляют поворотом ее в плоскости, перпендикулярной к визирной оси. После перемещения сетки обязательно определяют угол i и в случае его большей величины исправляют, как указано в поверке 6.

6. Поверка и исправление установки цилиндрического контактного уровня. Правильно установленный уровень должен отвечать следующим двум условиям:

а) ось цилиндрического уровня и геометрическая ось трубы должны лежать в одной вертикальной плоскости или отвесных параллельных плоскостях.

Поверку осуществляют следующим образом: действуя подъемными винтами нивелира, приводят пузырек цилиндрического уровня на середину, затем наклоняют трубу при помощи подъемных винтов вправо и влево и наблюдают за пузырьком уровня. Если при вращении трубы пузырек уровня остается в середине или отходит от середины в одну и ту же сторону, то требование выполнено. Отход пузырька уровня от середины в разные стороны указывает, что требование не выполнено. Исправление осуществляется перемещением пузырька уровня его боковыми винтами, при этом один исправительный винт вывинчивают, а другой ввинчивают, делая это так, чтобы по окончании поверки выступ оправы уровня был плотно зажат между головками обоих исправительных винтов;

б) угол i — проекция на отвесную плоскость угла между осью уровня и визирной осью трубы — должен быть менее $20''$.

Для поверки этого условия на местности разбивают равно-сторонний треугольник со сторонами 50 м, причем отклонение длин сторон допускается до 0,5 м. Точки A , B и C закрепляют кольями (с гвоздями, имеющими сферические шляпки). Нивелир устанавливают около рейки, стоящей на колу A , так, чтобы окулярный конец трубы при горизонтальном положении визирной

оси нивелира отстоял от рейки на 2—3 см. По рейке, стоящей на колу *A*, отсчитывают высоту нивелира *v*, для чего надевают на объектив нивелира крышку, в центре которой имеется круглое отверстие диаметром 2—3 мм.

Пластинку-движок из тонкого прозрачного целлулоида с горизонтальным штрихом, нанесенным черной тушью, перемещают вдоль инварной полоски рейки, а наблюдатель смотрит на рейку через отверстие в крышке до появления горизонтального штриха точно в середине отверстия, по которому наблюдатель делает отсчет по рейке (отводя глаз от трубы). Практикой установлено, что ошибка такого отсчета не превышает 1 мм.

Таких приемов производится три-четыре. Одновременно определяют превышение между колями *B* и *C* с соблюдением правил, рекомендованных инструкцией для данного класса нивелирования и типа нивелира.

Затем переходят в точку *B* и повторяют наблюдения 3—4 приемами.

Так как $AB=AC=BC$, то фокусировка трубы не меняется и ошибки за смещение визирной оси не будет. Таким образом, наличие разных превышений между *B* и *C*, полученных с точек *A* и *B*, говорит о наличии ошибки *x* за угол *i*, т. е. $x=h'-h_0$, где $h'=v'-n$; v' — высота прибора в точке *B*; *n* — отсчет по рейке, стоящей в точке *C*; h_0 — превышение между *B* и *C* из трех определений, полученное на точке *A*.

Угол *i* определяют по формуле

$$i = \frac{\rho x}{d},$$

где *d* — длина линии *BC*; знак угла *i* соответствует знаку *x*.

Из трех определений превышений при разных горизонтах прибора находят среднее. Если величина $x_{\text{ср}}$ не превышает 4,8 мм, то угол *i* считается допустимым. В противном случае его исправляют и повторяют вновь поверку на точке *B*.

7. Определение средней квадратической ошибки $m_{\text{сов}}$ совмещения изображений концов пузырька уровня производят на экзаминаторе.

Для этого элевационным или подъемными винтами нивелира приводят пузырек уровня приблизительно на середину и, глядя в трубу, ввинчиванием измерительного винта экзаменатора точно совмещают концы пузырька уровня. Убедившись, что в течение 10 с концы не разошлись, делают отсчет по шкале измерительного винта. Вывинчиванием винта экзаменатора нарушают совмещение до 5—10 делений шкалы уровня и снова совмещают концы ввинчиванием винта.

Всего в прямом ходе производят 10 точных совмещений ввинчиванием винта экзаменатора. В обратном ходе также производят 10 совмещений, но действуют в противоположных направлениях, т. е. совмещают концы ввинчиванием винта и вывин-

чиванием отводят их на 5—10 делений шкалы уровня, что составляет один полный прием.

Среднюю квадратическую ошибку совмещения считают отдельно для каждого полуприема по формуле

$$m_{\text{сов}} = \sqrt{\frac{\sum v^2}{n-1}},$$

где v — уклонение отдельных отсчетов по шкале измерительного винта экзаминатора от среднего значения; n — число отсчетов в полуприеме.

При хорошем качестве уровня $m_{\text{сов}}$ обычно бывает от 0,20 до 0,35", а окончательное значение не должно превышать 0,3".

8. Исследование работы механизма, наклоняющего плоско-параллельную пластинку, и определение цены деления отсчетного барабана производится при помощи специальной шкалы с 30—40 тонкими штрихами, нанесенными через 0,7—0,8 мм и толщиной 0,1 мм. Штрихи должны быть подписаны.

Полное исследование выполняется шестью приемами, причем как шкала, так и нивелир должны быть установлены на кронштейнах или бетонных столбах на расстоянии 7—10 м, а расстояние на специальной шкале должно быть определено на компараторе с ошибкой не более 0,007 мм.

При исследовании работы механизма и цены деления барабана рекомендуется воспользоваться описанием, помещенным в Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов. К этой же Инструкции следует обратиться при исследовании правильности хода фокусирующей линзы, определении коэффициента дальномера и асимметрии нитей, испытании работы элевационного винта и определении цены его деления.

9. Определение коэффициента дальномера и асимметрии нитей.

Для этого устанавливают нивелир в 50 м от рейки, причем расстояние в 50 м от нивелира измеряется по ровной поверхности лентой или стальной рулеткой и закрепляется двумя кольями с разностью 15—20 см.

Приведя нивелир в рабочее состояние и совместив изображение концов пузырька уровня, отсчитывают по трем нитям. Отсчеты повторяют четыре раза, смещая пузырек уровня на 3—4 деления. Меняют положение рейки и повторяют измерения в той же последовательности. Вычисления выполняются в порядке, указанном в Инструкции. Указанные полные лабораторные исследования нивелиров должны выполняться перед производством нивелирования I и II классов.

Исследования и компарирование реек необходимо тщательно выполнять перед производством работ. К исследованию и компарированию реек относится: исследование покоробленности, исследование правильности установки на рейках кронштейнов для подвески нитяного отвеса, крепление круглого уровня, опреде-

ление расстояния между контрольными марками реек, определение общей длины каждой рейки, а для двусторонних реек — определение длины черной и красной сторон, определение дециметровых делений каждой рейки, а для двусторонней рейки — исследование дециметровых делений черной и красной сторон, исследование неравенства высот нулей пары реек и положения пятки по отношению к нулю на каждой рейке; определение отдельных дециметровых делений подвесной реечки и поверка совпадения центра отверстия с нулевым штрихом.

Полное исследование одной рейки производится в течение одного дня в помещении с устойчивой температурой. С этой целью рейки для исследования и нормальные меры вносят в лабораторное помещение за несколько часов до исследования. Рейки укладывают на горизонтальную плоскость так, чтобы не было провисания. Температура контрольных линеек и нормальной меры определяют по термометру, находящемуся в их теле.

Прецизионные рейки исследуются перед началом работ, причем определяются общая длина рейки и дециметровые деления, а по окончании работ — только общая длина реек. Исследование реек перед началом работ производится на компараторе.

1. Исследование покоробленности заключается в том, что проверяют ось шкалы рейки, которая должна быть практически прямой.

С этой целью измеряют стрелки прогиба у каждой рейки в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, пользуясь для этой цели миллиметровой небольшой линейкой и натянутой тонкой струной.

Допустимые значения стрелок прогибов реек (в мм) для различных классов нивелирования:

| Класс нивелирования | Рейки: | |
|---------------------|------------------|-------------------|
| | с подпятником | без подпятника |
| I | 5 | 1 |
| II | 7 | 2 |
| III | 10 | 4 |
| IV | 15 | 7 |

2. Исследование правильности установки на рейках кронштейнов для подвески нитяного отвеса состоит в том, чтобы нить отвеса, прикрепленного к кронштейну, была параллельна осям шкал рейки, а острие отвеса совпадало с верхом конуса нижнего кронштейна. Поверка осуществляется с помощью теодолита при двух положениях рейки.

3. Крепление круглого уровня на рейке проверяют при помощи нитяного отвеса, устанавливая пузырек в нуль-пункт исправительными винтами уровня.

4. Определение расстояний между контрольными марками производится при помощи контрольной линейки для нормального метра. Сначала определяют расстояние между нижней и средней марками, а потом расстояние между средней и верхней

марками. Затем наблюдатели меняются местами и определяют расстояние между верхней и средней марками, а затем — между средней и нижней марками.

Каждое измерение между соседними марками состоит из четырех пар одновременных отсчетов левого и правого концов контрольной линейки для нормального метра, которые производятся по штрихам двумя наблюдателями.

Нормальный метр или контрольная линейка укладывается на рейку так, чтобы край их проходил через продольные штрихи марок, по которым производится отсчитывание. После пары одновременных отсчетов линейку сдвигают и отсчеты производят по другим делениям шкалы.

Температуру нормального метра или контрольной линейки определяют при измерении каждого метра рейки. Расхождение в определении длины одного и того же метра из прямого и обратного ходов не должно быть более 0,1 мм.

5. Определение общей длины каждой рейки производится контрольной линейкой или нормальным метром. Для этого последовательно измеряют в прямом и обратном направлениях первый, второй и третий метровые участки рейки с измерением температуры нормального метра, контрольной линейки и воздуха на каждом метре. Измерение каждого метра выполняется двумя наблюдениями при одном сдвиге контрольной линейки или нормального метра. Наблюдатели при измерении обратного хода меняются местами. Исследование общей длины рейки производится на участке от первого до последнего дециметровых штрихов рейки.

При исследовании шашечных реек отсчеты производят по краям шашечных делений.

Исследование дециметровых делений на каждом метровом участке рейки выполняют при двух положениях контрольной линейки. При первом положении нулевое деление линейки совмещают с начальным дециметровым штрихом участка рейки или со вторым дециметровым штрихом и один из наблюдателей следит за неизменностью этого совмещения до тех пор, пока второй наблюдатель не сделает отсчеты по линейке последовательно по всем дециметровым штрихам рейки в пределах исследуемого участка, затем контрольную линейку несколько сдвигают и первый наблюдатель берет по контрольной линейке отсчет, соответствующий начальному штриху участка рейки, а второй по тем же штрихам рейки берет последовательно новые отсчеты.

6. Определение неравенства высот нулей пары реек и положения пятки по отношению к нулю на каждой рейке выполняют следующим образом: забивают в землю три костыля со сферическими головками, а в 20—30 м от них ставят нивелир и производят отсчеты по рейкам, устанавливаемым поочередно на каждый костыль. Берут три отсчета по основной шкале рейки. Таких примеров следует делать не менее двух. За окончатель-

ный результат принимают среднее значение из всех определений.

7. Определение отдельных дециметровых делений подвесной нивелирной реечки и совпадение центра с нулевым ее штрихом.

Исследование производится аналогично исследованию отдельных дециметровых делений основных реек (см. п. 5).

Инварные рейки должны исследоваться на компараторе и иметь свидетельство, в котором указывается длина дециметровых делений между осями штрихов.

Поверки нивелиров во время производства полевых работ.

Во время выполнения нивелирных работ исполнитель обязан производить следующие поверки нивелиров:

1. Исправление установочных уровней (ежедневно перед началом работ).

2. Поверка и исправление цилиндрического уровня с определением величины i (через каждые три дня, а если в течение двух недель установка уровней не изменяется, то два раза в месяц).

3. Определение цены деления отсчетного барабана для разных расстояний до рейки (один раз в два месяца).

4. Испытание работы элевационного винта (один раз в месяц).

При выполнении нивелирования нивелирами с компенсаторами производят следующие поверки: поверка установки круглого (установочного) уровня, поверка установки сетки нитей и поверка горизонтальности линии визирования.

Нивелирование II класса

Нивелирные сети I и II класса являются главной высотной основой. Они используются для решения многих научных задач (например, для изучения фигуры физической поверхности Земли или для изучения современных вертикальных движений земной поверхности и др.).

Невязки в полигонах и по линиям нивелирования допускают не более $5 \text{ мм} \sqrt{L}$, где L — периметр полигона или длина линии в км.

Нивелирование II класса выполняют при помощи штриховых инварных реек. Ошибки метровых интервалов шкал и всей шкалы допускают до 0,20 мм. Для привязки к стенным маркам применяют подвесную штриховую деревянную рейку длиной 1,2 м. Нивелиры и рейки исследуют и проверяют с целью установления их пригодности для нивелирования II класса, приведения в рабочее состояние и определения постоянных.

Нивелирование выполняют независимо в прямом и обратном направлениях, как правило, по одной и той же трассе и по переходным точкам одного и того же типа; число станций в секции делают четным и одинаковым. При перемене направления нивелирования рейки меняют местами.

По каждой секции нивелирование в прямом и обратном направлении, как правило, выполняют в разные половины дня. С меньшей строгостью это требование соблюдают осенью и при длительной пасмурной погоде.

Нивелирование выполняют участками в 25—30 км по схеме «восьмерка», т. е. одну половину секций участка сначала проходят в прямом направлении, а другую половину — в обратном, затем наоборот. В отдельных случаях протяженность участка может быть меньше и больше. Если расхождение измеренных превышений по секциям из нивелирования в прямом и обратном направлениях получают с преобладанием одного звена, то длину участков можно уменьшить.

Нормальная длина луча визирования 65 м. На участках со значительными уклонами и при подходах к знакам длину луча можно уменьшать. Если увеличение зрительной трубы не менее 44^x и условия благоприятны, разрешается увеличивать длину луча до 75 м.

При работе нивелиром Ni-007 нормальная длина луча визирования 50 м. Высота луча визирования над подстилающей поверхностью должна быть не менее 0,5 м. В отдельных случаях при длине луча визирования до 30 м разрешается выполнять наблюдения при высоте луча не менее 0,3 м.

В средних и южных широтах наблюдения выполняют в утренние и послеполуденные периоды, причем начинают примерно через полчаса после восхода Солнца и заканчивают примерно за час до захода. Нельзя выполнять наблюдения при колебаниях изображений, при сильном порывистом ветре и при сильных скачкообразных колебаниях температуры.

При нивелировании линий с большими уклонами длина визирного луча не должна быть менее 10 м. Высота визирного луча над поверхностью земли или дорожного покрытия допускается не ниже 0,3—0,5 м, причем 0,3 м может быть допущено только при расстоянии от нивелира до рейки менее 30 м. Не допускается искусственное увеличение отсчетов, например, путем постановки нивелира на полотно железной дороги, а рек — в кюветах.

Нивелирование выполняют при равных расстояниях от нивелира до рек, которые отмеряют стальным тросом. Неравенство расстояний допускается до 1 м, а накопление этих неравенств в ходах между марками или реперами не должно быть более 2 м. В случае применения нивелиров с компенсаторами эти допуски могут быть соответственно увеличены до 3 и 5 м.

Для обеспечения выполнения указанных допусков во время наблюдений на каждой станции определяют разности $d_3 - d_n$ и подсчитывают их сумму $\Sigma(d_3 - d_n)$. При накоплении этих разностей их уменьшают путем изменений расстояний от нивелира до задней и передней рек с тем, чтобы сумма $\Sigma(d_3 - d_n)$ между соседними марками или реперами не выходила за пределы допусков.

Для предохранения нивелира и штатива от солнечных лучей при наблюдениях на станции применяется зонт, а при переходе с одной станции на другую нивелир защищают чехлом из белой плотной материи. К наблюдениям приступают только после того, как нивелир примет температуру окружающего воздуха, т. е. через 20—30 мин.

Штатив устанавливают на станциях так, чтобы две его ножки располагались по направлению линии нивелирования, а третья ножка — поочередно справа и слева от нее. Наблюдения на станциях производят при длине пузырька уровня, равной 0,3 длины шкалы делений.

В местах установки ножек штатива и башмаков дерн снимают на глубину 5—10 см. Башмаки и костыли забивают в грунт деревянной колотушкой, следя при этом за тем, чтобы сила сопротивления грунта не изменяла по высоте установленные башмаки и костыли.

При установке нивелира на городских мостовых ножки штатива устанавливают в промежутки между камнями мостовой, а на асфальте — в сделанные углубления. Наблюдатель должен следить за устойчивостью нивелира, не следует становиться в непосредственной близости от ножек штатива.

Для установки нивелира на бетонных мостовых можно применять для ножек штатива чугунные плиты специальной конструкции. Реечники оберегают поставленные башмаки и костыли, особенно на городских улицах и проездах.

На головку рельсов можно устанавливать рейку при условии, если в момент нивелирования на железной дороге не проводят ремонтных работ. Рейку следует ставить не ближе 1 м от стыка рельсов. Место постановки рейки тщательно очищают от песка и окалины и отмечают мелом на обочине рельса.

Температура воздуха определяется термометром-пращом через 2—3 станции.

Передача высоты репера на марку. В этом случае применяют специальную подвесную рейку с делениями, аналогичными основным рейкам. Превышение между маркой и стенным репером под ней контролируют измерением стальной компарированной рулеткой. Такие марки ставят главным образом по основной линии нивелирования, они служат для контроля стенного репера в случае его перестановки.

При отсутствии специальной рейки положение нитей нивелира проектируют на стену, а потом измеряют при помощи металлической рулетки. При привязке к маркам обязательно учитывают неравенство высот нулей обычной и подвесной реек, получаемых при компарировании с помощью контрольной линейки. Если привязка к марке осуществляется при помощи металлической рулетки, то учитывают поправку в длину, измеренную рулеткой за температуру и компарирование, и неравенство высот только самой обычной рейки.

При нивелировании II класса по ходу включают все стенные реперы, что позволит в дальнейшем внутри полигона II класса прокладывать ходы нивелирования III класса.

Расстояния от нивелира до реек должны быть равными и не менее 10 м, так как при меньших расстояниях визирования могут появиться грубые ошибки и просчеты, вызванные неудобством отсчитывания по видимым в трубу нивелира крупным шашкам или штрихам реек. При применении нивелиров с плоскопараллельной пластинкой отсчеты по барабану всегда имеют знак плюс, независимо от того, куда проектируется средняя нить (выше или ниже марки).

Грунтовые и фундаментальные реперы часто закрываются курганами, которые при привязке необходимо осторожно разрывать; с марки снимают крышку, очищают сферу марки от пыли и песчинок и ставят на нее рейку. Если марка повреждена, рейку устанавливают на репер или другую марку фундаментального репера. Положение реек на реперах необходимо зарисовывать в журнале.

Все превышения между фундаментальными реперами и сопровождающими их грунтовыми реперами определяют дважды — в прямом и обратном ходах. Такие реперы входят в нивелирный ход наравне с узловыми стенными реперами.

При нивелировании III класса применяют рейки с инварной полосой, с погрешностью нанесенных делений не более 0,2 мм. Внутри опорной сети III класса прокладывают ходы нивелирования III класса сгущения по сторонам полигонометрии 4 класса с привязкой к реперам через три стороны, а полигонометрии 1 разряда — через 5 сторон. Эти ходы прокладывают в одном направлении. Нивелирование IV класса производится по ходам (сторонам) полигонометрии 2 разряда.

Производство наблюдений на станции и необходимые вычисления в поле. После установки нивелира на станции сначала убеждаются, что пузырек уровня не отклоняется от середины более чем на два деления. Затем начинают наблюдения на нечетной станции с задней рейки, потом берут отсчет по передней рейке дважды и заканчивают наблюдения на заднюю рейку.

На четных станциях отсчеты производят в такой последовательности: передняя, задняя, задняя, передняя рейки.

Все страницы журнала должны быть пронумерованы, а журнал заверен руководителем работ. В журнале дается оглавление, где указывают адреса знаков в порядке их нивелирования и других используемых при нивелировании высотных точек. При необходимости дается их привязка к постоянным предметам местности.

На каждой странице журнала записывают дату и время наблюдения, а перед началом проложения каждого хода — обозначение начального и конечного знаков. Нумерация каждого хода порядковая, начиная с единицы. Повторные штативы нумеруются тем же номером с добавлением слова *bis*.

Записи в журнале ведут разборчиво и отчетливо простым мягким карандашом, не допуская подчисток, перечеркиваний и исправлений в записях результатов наблюдений. Если произошла ошибка, все записи зачеркивают и на новой странице выполняют записи вновь произведенных наблюдений. При этом изменяется высота штатива.

По окончании прямого или обратного хода, т. е. после привязки его к конечной марке или постоянному реперу, в журнале пропускают одну страницу для подсчета превышений и других необходимых вычислений, касающихся данного хода.

Наблюдения при нивелировании II класса производят по способу совмещений в следующем порядке:

1. После установки прибора проверяют уровень, поворачивая нивелир на 180° , при этом пузырек уровня не должен уходить от середины более чем на два деления.

2. Наблюдают переднюю или заднюю рейку в зависимости от номера станции и, действуя элевационным винтом, совмещают изображения концов пузырька уровня, ставят барабан на отсчет 50.

3. Вращая барабан, вводят в биссектор сетки нитей трубы один из ближайших к горизонту прибора штрихов основной шкалы рейки.

4. Производят отсчеты по трем нитям основной шкалы рейки. Эти отсчеты можно производить при неточном совмещении концов пузырька цилиндрического уровня.

5. Работая элевационным винтом, точно совмещают концы пузырька уровня и проверяют наведение биссектора нитей трубы на штрих основной шкалы рейки; записывают номер штриха и отсчет по барабану микрометра.

6. Наводят трубу на другую рейку и последовательно производят наблюдения, указанные в пунктах 2, 3, 4, 5, записывая их в журнале.

7. Действуя барабаном микрометра, вводят в биссектор сетки нитей трубы ближайший штрих дополнительной шкалы рейки и записывают номер штриха и отсчет по барабану микрометра, проверяя установку уровня.

8. Повернув трубу, вновь наводят на рейку и производят отсчеты, указанные в п. 7, делая записи в журнале.

Такие наблюдения производят на каждой станции нивелирного хода.

Перед тем как перейти на другую станцию, вычисляют дальномерные расстояния от нивелира до реек и превышения, полученные по основной и дополнительной шкалам. При разности превышений, полученных по основной и дополнительной шкалам в делениях барабана, меньшей 15 единиц, переходят на другую станцию. При большом расхождении все наблюдения на станции повторяют (станцию отмечают тем же номером со словом *bis*, а неверную запись зачеркивают). В журнале записывают разность дальномерных расстояний и накопление разностей,

включая данную станцию, если она не является первой от стенового или грунтового репера.

По выполнении нивелирного хода от узлового пункта до другого узлового или исходного пункта проверяют вычисление расстояний до задней и передней реек, разности расстояний до задней и передней реек и накопление этих разностей от ближайшей марки или репера; находят также приближенные превышения по основной шкале по отсчетам, записывая их среднее значение.

Для получения приближенных превышений между знаками подсчитывают суммы превышений по основной и дополнительной шкалам.

По каждому ходу составляют ведомость, в которой показывают полученные превышения по основным и дополнительным шкалам, накопление разностей расстояний до реек, указывают дату, время производства работ, погоду и грунт.

Такую ведомость следует составлять своевременно, с тем чтобы была возможность осуществить контроль, который заключается в том, что разности превышений между прямыми и обратными ходами не должны превышать $\Delta h = 5\sqrt{L}$ мм при $n < 15$ и $\Delta h = 6\sqrt{L}$ мм при $n > 15$, где n — число станций между знаками, для которых определяется разность.

Если разности близки к предельным, вводят поправку в превышение за изменение длин реек в период между наблюдениями. Если расхождение в превышениях между прямым и обратным ходами больше предельного, выясняют причины расхождения и заново переделывают прямой или обратный ход. Если при этом будут получены разности, не превышающие $7\sqrt{L}$ мм при $n < 15$ и $9\sqrt{L}$ мм при $n > 15$, то за окончательное значение берут среднее из трех нивелировок. В противном случае ход переделывают, т. е. производят нивелирование в другом направлении.

Для ослабления влияния систематических ошибок рекомендуются:

- прочнее устанавливать костыли и штатив;
- выполнять наблюдения при таких расстояниях от нивелира до реек, которые соответствуют условиям видимости и погоды;
- не допускать воздействия солнечных лучей на нивелир как при наблюдениях, так и при переносе его на другую станцию;
- производить тщательную поверку и юстировку нивелира.

При нивелировании III и IV классов применяют в основном деревянные рейки, которым свойственны ошибки:

- за компарирование контрольными линейками порядка 0,03—0,05 мм;

- за неравенство высот нулей реек и несовпадение нулей шкал с плоскостью пяток;

- от неточной установки рейки в отвесное положение.

Все эти ошибки заставляют компарировать рейки не только в начале и конце полевого сезона, но также через каждые 15—

20 дней и после резких изменений погоды. Неучет поправок за отличие длины метрового интервала рейки от номинала может вызвать значительные ошибки в превышениях.

Нивелирование III класса

Нивелирование III класса выполняют в прямом и обратном направлениях только в тех случаях, когда нивелирная сеть III класса является самостоятельной высотной основой, все остальные ходы нивелирования III класса прокладывают в одном направлении.

Наблюдения прямых и обратных ходов производятся в том же порядке, как и при нивелировании II класса. Нивелирование производится из середины. Нормальное расстояние от нивелира до реек принимается равным 75 м, а в случае плохой видимости это расстояние должно быть уменьшено. При отсутствии колебаний изображений и при увеличении трубы 35^x длина визирного луча может быть увеличена до 100 м. Расстояние от нивелира до реек менее 10 м не допускается. Высота визирного луча над поверхностью земли или дорожного покрытия не должна быть меньше 0,3 м.

Нивелирование выполняют при равных расстояниях от нивелира до реек. Расстояния отмеряют стальным тросом или хорошо просмоленной тонкой бечевкой. Неравенство расстояний от нивелира до реек на станции не должно быть более 2 м, а накопление их между соседними марками или реперами не должно превышать 5 м.

В случае применения нивелиров с компенсаторами эти расстояния могут быть увеличены на станции до 5 м и между соседними марками или реперами до 8 м.

При наблюдениях нивелир и штатив защищают от солнечных лучей зонтом, а перерыв в работе несколько сокращается против обусловленного перерыва для нивелирования II класса. В пасмурные и осенние дни перерыв в наблюдениях можно не делать. Для сохранения независимости прямого и обратного ходов рекомендуется основные ходы III класса производить по способу «восьмерки».

Привязка к маркам, стенным и грунтовым реперам. Ходы нивелирования III класса привязывают к маркам, грунтовым и стенным реперам нивелирования II класса, а в случае самостоятельных сетей III класса — к реперам и маркам, определенным из прямого и обратного ходов нивелирования III класса. Привязку к постоянным знакам выполняют так же, как при нивелировании II класса.

При привязке к стенным реперам рейку устанавливают на полочку репера, а нивелир помещают в направлении, перпендикулярном к стене здания, в котором заложен репер, соблюдая равенство расстояний от прибора до задней и передней реек.

При невозможности установить рейку в отвесном положении проектируют нивелиром три нити трубы на стену здания, ось уровня при этом занимает горизонтальное положение. Проекция нитей на стене отмечают острым карандашом. Проектирование осуществляется дважды — до и после отсчета по передней рейке.

Расстояния от полочки репера до проекций нитей, отмеченных на стене, измеряют по вертикали стальной рулеткой дважды с точностью до мм. Размещение проекций нитей на стене относительно полочки репера зарисовывают и измеренные расстояния записывают в нивелирном журнале. В случае отсутствия подвесной реечки таким же образом выполняют и привязку к нивелирным маркам. Во избежание грубых просчетов, связанных с неравенством высот нулей реек, следует зарисовывать в абрисе места установки реек с указанием их номеров.

Перерыв в работе рекомендуется производить после привязки к постоянным знакам нивелирования.

Нивелирование через овраги, реки и другие препятствия шириной менее 100 м производится в прямом и обратном направлениях. При большей ширине препятствия заранее выбирают место для передачи отметки. Для этой цели используют мосты, достаточно устойчивые и надежные для установки нивелира и реек. Во время движения транспорта по мосту наблюдения прекращаются.

Если вблизи нет мостов, то выбирают места с островами. Тогда передачу осуществляют несколькими станциями при длине визирного луча менее 100 м. В этом случае рейки ставят на костыли, забитые в деревянные столбы диаметром не менее 20 см, установленные в грунт на глубину 1 м. Штатив устанавливают на вбитые в землю колья.

Производство наблюдений и вычислений на станции. При производстве нивелирования III класса прибор устанавливают так, чтобы при вращении его вокруг вертикальной оси пузырек уровня не отклонялся от середины более чем на 2—3 деления.

Нивелирование III класса производится способом совмещения или отсчетом по средней линии нити и дальномерным нитям по черным сторонам реек, а для контроля превышения определяют расстояния и по красным сторонам реек. Производство нивелирования по способу совмещений выполняется как в нивелировании II класса.

Нивелирование по способу средней нити выполняют в следующем порядке: по черной стороне задней рейки, по черной стороне передней рейки, по красной стороне передней рейки и по красной стороне задней рейки. При этом берут отсчет по средней, верхней и нижней нитям, причем сначала производят отсчет миллиметров, а затем дециметров и сантиметров.

При наведении трубы нивелира на рейку устанавливают пузырек уровня на середину, действуя элевационным винтом, а при отсутствии его — двумя подъемными винтами. Не снимая

штатива со станции, производят контрольные вычисления, определяя расстояние до рейки, разность и сумму плеч.

После этого определяют превышения с помощью отсчетов по средней нити по черной и красной сторонам реек и их средние значения, причем разность превышений, полученных по черной и красной сторонам реек, не должна быть более 3 мм.

Если вычисления для данной станции дают неудовлетворительные результаты, измерения на станции повторяют.

В полевых журналах постранично подсчитывают: сумму расстояний, измеренных по дальномеру, до задних и передних реек, алгебраическую сумму контрольных превышений, полученную по дальномерным нитям (среднее значение разности); сумму превышений, полученных по средней нити по красной и черной сторонам реек; суммы отсчетов по черным и красным сторонам задних и передних реек; сумму средних превышений.

В камеральных условиях подсчитывают превышения, неравенство расстояний и пр. для каждого хода и полигона, при этом предельное расхождение суммы превышений прямого и обратного ходов должно быть менее $\Delta h = 10 \sqrt{L}$, где L — длина хода, определяемая в км в одном направлении по дальномерным нитям, если число станций на 1 км хода менее 15. При числе станций n более 15 указанная величина определяется равенством $\Delta h = 2,6 \sqrt{n}$ (в мм).

Если величина Δh недопустима или велико накопление невязок с одним и тем же знаком, то определяют наиболее слабые ходы, которые нивелируют вновь.

Нивелирование IV класса

Нивелирование IV класса всегда производится только в одном направлении по ходам и полигонам, опирающимся на пункты, высоты которых определены из нивелирования II, III классов, а также могут являться самостоятельной высотной опорой.

Нормальное расстояние от нивелира до рейки считается 100 м. При плохой видимости это расстояние уменьшают. Если нивелирование IV класса производится нивелирами с ценой деления уровня менее 15" и увеличением трубы более 30×, то расстояние до реек при спокойных изображениях разрешается увеличивать до 150 м при минимальной высоте визирного луча 0,3 м.

Неравенство расстояний от нивелира до реек допускается до 5 м, а накопление между реперами и узловыми знаками — до 10 м. При применении нивелиров с компенсаторами неравенство расстояний на станции может быть увеличено до 10 м, а накопление неравенств — до 20 м.

При производстве нивелирования прибор защищают от солнечных лучей зонтом. Нивелирование IV класса может производиться без перерыва.

Основное условие установки нивелира на станции, заключающееся в том, что уровень при вращении прибора вокруг оси не должен отклоняться более чем на два деления шкалы, следует строго соблюдать.

Производство отсчетов по черным сторонам реек производится по дальномерной и средней нитям при уровне, установленном точно в нуль-пункте. По красной стороне рейки отсчет берут только по средней нити.

Отсчеты по двусторонним рейкам производят в следующем порядке: по черной стороне задней рейки, по черной стороне передней рейки, по красной стороне передней рейки, по красной стороне задней рейки.

Порядок работы при применении односторонней рейки остается тот же, только после производства отсчетов по задней и передней рейкам изменяется горизонт прибора и производятся отсчеты по передней и задней рейкам. Отсчитывание по рейке производится только после того, как наблюдатель убедится, что уровень находится в нуль-пункте.

После производства работы на станции, не снимая штатива, необходимо произвести следующие вычисления: определить расстояния от нивелира до реек и вычислить превышения по черной и красной сторонам реек. Расхождения в превышениях, полученных по черной и красной сторонам реек, а также по односторонним рейкам, при двух горизонтах прибора на каждой станции не должны быть более 5 мм, в противном случае наблюдения на станции повторяют, зачеркивая старые, а новые записывают под тем же номером с пометкой *bis*.

Если предполагается сделать перерыв, то рекомендуется закрепить на полигонометрическом знаке или репере. Если этого сделать нельзя, башмаки и костыли тщательно маскируют или забивают колья толщиной 8—10 см и длиной 40 см с вбитыми в торец гвоздями со сферической поверхностью, установленные на 0,3 м ниже поверхности земли. Нивелирование их после перерыва должно дать превышение с отклонением от прежнего не больше 5 мм.

В течение ближайших дней в камеральных условиях определяют невязки в ходах, опирающихся на пункты нивелирования II и III классов, а также невязки во всех замкнутых полигонах. Эти вычисления производят постранично и по секциям между реперами в нивелирных журналах, в некоторых случаях определяя предварительные высоты необходимых пунктов.

В результате вычислений получают: суммы отсчетов по задней и передней рейкам; суммы средних превышений; разности расстояний до реек; длины ходов по дальномеру; средние превышения по ходу; превышения между пунктами II и III классов, между которыми проложен ход; вычисленные и допустимые невязки.

На основании этих данных составляют ведомость превышений по каждому ходу. Предельное расхождение (в мм) между

пунктами нивелирования II и III классов или невязка в полигонах должны быть менее $20\sqrt{L}$ при $n < 15$ и $5\sqrt{n}$ при числе станций $n > 15$ на 1 км хода. Если полученные невязки больше предельных, то такие ходы переделывают.

§ 18. УРАВНИВАНИЕ СЕТЕЙ НИВЕЛИРОВАНИЯ

Уравнивание сетей нивелирования II и III классов, где превышение определяется из прямых и обратных ходов, следует вести по методу наименьших квадратов, который дает возможность получить однозначную систему поправок, число которых не равно числу определяемых неизвестных: главное состоит в том, что из решения системы нормальных уравнений получают такие поправки, значения которых в своей совокупности близки к действительным ошибкам измерения величин.

Применение метода наименьших квадратов к основным городским нивелирным сетям незначительно увеличивает объем вычислительных работ. В правильно поставленных работах по уравниванию ошибки исходных данных влияют заметно меньше, чем собственные ошибки уравниваемой сети.

Схемы построения нивелирных сетей различны в зависимости от очертания территории поселка или города.

Основное требование к этим построениям определяется потребностью городского хозяйства и строительства в высотах при максимальных ошибках в превышениях не более 2—3 см.

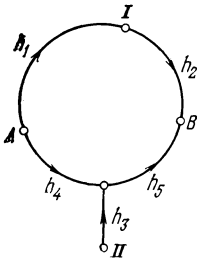
Как правило, нивелирные сети I класса прокладывают на большой территории (площадью большей 500 км²) и служат основной высотной опорой для решения ряда инженерных задач.

Нивелирование I класса выполняют с наивысшей точностью, достигаемой применением наиболее совершенных приборов и методов наблюдений, и возможно полным исключением систематических ошибок, в частности, по линии нивелирования определяют ряд гравиметрических пунктов в горных районах, а также на основных перегибах рельефа и поворотах линии нивелирования. Поправки в превышения между пунктами нивелирования I и II классов при уклонах 0,04—0,03 вычисляют, пользуясь гравиметрическими определениями на пунктах нивелирования или детальной гравиметрической картой. При уклонах менее 0,03 можно пользоваться любой гравиметрической картой. Эти поправки за переход к системе нормальных высот вычисляют и вводят в измеренные превышения при составлении окончательной ведомости превышений.

Уравнивание сетей нивелирования следует выполнять коррелятным или параметрическим способом.

Основная цель уравнивательных вычислений заключается в устранении невязок, где ошибки исходных данных должны влиять менее заметно, чем собственные ошибки уравниваемой сети. В этом состоит главный принцип уравнивательных вычисле-

Таблица 66

| Схема сети нивелирования | Превышение и высота пункта, м | Значение поправки, мм | Превышение и высота уровненная, м | Длина хода, км |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-------------------|
|  | $h_1 = +0,960$ | $-3,34$ | $+0,95666$ | 3,0 |
| | $h_2 = +1,260$ | $+1,26$ | $+1,26126$ | 2,0 |
| | $h_3 = -0,621$ | $+1,21$ | $-0,61979$ | 2,5 |
| | $h_4 = -0,418$ | $-1,45$ | $-0,41945$ | 1,3 |
| | $h_5 = +0,725$ | $-0,95$ | $+0,72405$ | 1,5 |
| | $H_I = 126,743$ | | | |
| | $H_{II} = 127,900$ | | | |
| | $H_A^\circ = 127,700$ | | | |
| | $H_B^\circ = 128,000$ | | | |
| | $H_C^\circ = 127,280$ | $+0,21$ | $127,28021$ | |
| | $h_{IC} = +0,537$ | $+0,21$ | $+0,53721$ | |

ний в основных геодезических сетях. Если это положение не достигается, то уравнивание принимает формальный характер.

В качестве примера приведено уравнивание сети нивелирования II класса (табл. 66).

В этой сети число всех измерений h равно числу ходов $n=5$. Число необходимых измерений равно числу пунктов (A, B, C), высоты которых подлежат определению, $k=3$; число избыточных измерений $r=n-k=2$.

В качестве дополнительных неизвестных выберем H_C — высоту пункта C и h_{IC} — уравненное значение превышения между пунктами I и C . Тогда число дополнительных неизвестных $q=2$, из них одно оказывается зависимым, так как, зная высоту пункта C и исходного пункта I , можно вычислить h_{IC} . Поэтому число уравнений связи $p=1$.

Зная эти величины, легко найти число условных уравнений

$$r+q-p=r+p=3.$$

Наиболее простыми для уравниваемой сети и в то же время взаимно независимыми будут условные уравнения

$$H_I + h'_1 + h'_4 - H_C = 0; \quad H_{II} + h'_3 - H_C = 0$$

и уравнения связи

$$H'_I + h_{IC} - H_C = 0.$$

В приведенных уравнениях: H_I и H_{II} — высоты исходных пунктов I и II ; h'_i — уравненные значения измеренных в сети превышений.

Таблица 67

| Обозначение величин измеренных и неизвест- ных | Уравнение условий | | | Уравнение связи | Сумма | $\frac{1}{p}$ | $p\omega$ | v | pvv |
|------------------------------------------------------------|-------------------|------|------|--------------------|-------|---------------|-----------|-----------|-------|
| | a | b | c | | | | | | |
| h_1 | +1 | — | — | — | +1 | 3,0 | —1,114 | —3,342 | 3,723 |
| h_2 | — | +1 | — | — | +1 | 2,0 | +0,631 | +1,262 | 0,796 |
| h_3 | — | — | +1 | — | +1 | 2,5 | +0,483 | +1,208 | 0,584 |
| h_4 | +1 | — | — | — | +1 | 1,3 | —1,114 | —1,448 | 1,613 |
| h_5 | — | —1 | — | — | —1 | 1,5 | —0,631 | —0,946 | 0,597 |
| δH_C | —1 | — | —1 | —1 | —3 | | | [pvv] | 7,313 |
| δh_{TC} | — | —1 | — | +1 | 0 | | | | |
| w | +5,0 | —2,0 | —1,0 | 0 | | | | | |

Свободные члены этих уравнений:

$$w_1 = +5 \text{ мм}; \quad w_2 = -2 \text{ мм}; \quad w_3 = -1 \text{ мм}; \quad w_4 = 0.$$

Уравнения можно записать в табл. 67.

После составления табл. 67 переходят к составлению нормальных уравнений и решению их по методу последовательных исключений неизвестных (табл. 68).

Уравнивание, показанное в табл. 67 и 68, рекомендуется применять для основных ходов нивелирования II и III классов. В этом случае осуществляется дополнительный контроль через уравнение связи. В остальных случаях, т. е. в ходах нивелирования III класса сгущения и IV класса, можно воспользоваться условными уравнениями

$$h'_1 + h'_4 - h'_2 + h'_5 + w_1 = 0;$$

$$h'_1 + h'_3 + h'_4 + w_2 = 0,$$

решение которых по методу наименьших квадратов также начинают с составления условных уравнений (табл. 69), и решают нормальные уравнения методом исключения неизвестных (табл. 70).

Пример уравнивания сетей нивелирования параметрическим способом приведен в табл. 71 и 72.

После уравнивания нивелирования II класса определяется средняя квадратическая случайная ошибка среднего превышения на 1 км хода по формуле

$$\eta^2 = \frac{1}{8n} \left[\frac{d^2}{r} \right],$$

где n — число секций в ходе; r — длина секции; d — разность превышений прямого и обратного ходов.

Таблица 68

| k_1 | k_2 | k_3 | δH_C | δh_{IC} | k_4 | ω | s | Контроль |
|----------|----------|----------|--------------|-----------------|----------|----------|----------|----------|
| +4,3 | — | — | —1,0 | — | — | 5,0 | +8,3 | —1,93023 |
| —1 | — | — | +0,23256 | — | — | —1,16279 | —1,93023 | —1,93023 |
| —1,16279 | +3,5 | — | — | —1,0 | — | —2,0 | +0,5 | —0,14286 |
| +0,04868 | —1 | — | — | +0,28571 | — | +0,57143 | —0,14286 | —0,14286 |
| —1,11411 | +0,57143 | +2,5 | —1,0 | — | — | —1,0 | +0,5 | —0,14286 |
| | +0,05943 | —1 | +0,40000 | — | — | +0,40000 | —0,20000 | —0,20000 |
| | +0,63086 | +0,40000 | — | — | —1,0 | — | —3,0 | —0,20000 |
| | | +0,08373 | —0,233 | — | — | +1,163 | +1,930 | —0,870 |
| | | +0,48373 | —0,400 | — | — | —0,400 | +0,200 | —1,37441 |
| | | | —0,633 | — | —1,0 | —0,763 | —0,870 | —0,870 |
| | | | —1 | — | 1,57978 | +1,20537 | —1,37441 | —1,37441 |
| | | | +1,20537 | — | +1,0 | — | — | — |
| | | | —0,99604 | —0,286 | — | —0,571 | +0,143 | +0,143 |
| | | | +0,20933 | —0,286 | +1,0 | —0,571 | +0,143 | +0,143 |
| | | | —1 | —1 | +3,49650 | —1,99650 | +0,50000 | +0,50000 |
| | | | | —1,99650 | | | | |
| | | | | +2,20451 | +1,580 | —1,205 | +1,374 | — |
| | | | | +0,20801 | +3,497 | —1,996 | +0,500 | — |
| | | | | | —5,077 | —3,201 | +1,874 | +1,876 |
| | | | | | —1 | +0,63049 | —0,36918 | —3,36951 |
| | | | | | +0,63049 | | | |

Таблица 69

| Измеренная величина | Условное уравнение | | s | $\frac{1}{p}$ | ak_1 | bk_2 | pv | v | pvv | kv |
|---------------------|--------------------|----|----|---------------|---------|---------|---------|--------|-------|------|
| | a | b | | | | | | | | |
| h_1 | +1 | +1 | +2 | 3,0 | -0,6310 | -0,4832 | -1,1142 | -3,342 | 3,74 | 4,42 |
| h_2 | -1 | -1 | -1 | 2,0 | +0,6310 | — | +0,6310 | +1,262 | 0,78 | 2,90 |
| h_3 | — | -1 | -1 | 2,5 | — | +0,4832 | +0,4832 | +1,208 | 0,57 | |
| h_4 | +1 | +1 | +2 | 1,3 | -0,6310 | -0,4832 | -1,1142 | -1,448 | 1,60 | |
| h_5 | +1 | — | +1 | 1,5 | -0,6310 | — | -0,6310 | -0,946 | 0,59 | |
| w | +7 | +6 | | | | | | | | |
| $[pvv] =$ | | | | | | | | | 7,28 | 7,32 |

Таблица 70

| [aa] | [bb] | w | s | p |
|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| 7,8 -0,8974 | +4,3 +0,5513 | +7,0 +0,8974 | +19,1 +2,4487 | -1,0 -0,1268 |
| +0,2664 -0,6310 | +6,8 +2,369 | +6,0 +3,859 | +17,1 +10,528 | 0 -0,5513 |
| | +4,431 -0,4832 | +2,141 +0,4832 | +6,572 | +0,5513 +0,1244 |

Таблица 71

| Номер уравнения поправок | δH_A | δH_B | δH_C | w | s | Длина хода, км | p | v | pv | pvv |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|----|------|----------------|------|-------|----------------|------|
| 1 | +1 | — | — | -3 | -2,0 | 3,0 | 0,33 | -3,37 | -1,11 | 3,74 |
| 2 | — | +1 | — | -3 | -2,0 | 2,0 | 0,50 | +1,25 | +0,62 | 0,78 |
| 3 | — | — | +1 | +1 | +2,0 | 2,5 | 0,40 | +1,19 | +0,48 | 0,57 |
| 4 | -1 | — | +1 | -2 | -2,0 | 1,3 | 0,77 | -1,44 | -1,11 | 1,60 |
| 5 | — | +1 | -1 | -5 | -5,0 | 1,5 | 0,67 | -0,94 | -0,63 | 0,59 |
| | | | | | | | | | $[pvv] = 7,28$ | |

Средняя квадратическая систематическая ошибка среднего превышения на 1 км хода вычисляется по формуле

$$\sigma^2 = \frac{1}{4[L]} \left[\frac{s^2}{L} \right], \quad (25)$$

величины s берут с графика.

Таблица 72

| δH_A | δH_B | δH_C | w | s | pww |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| +1,10 -0,50 | | -0,77 -0,70 | +0,55 +0,50 | +0,88 +0,80 | +3,33 -1,86 |
| +0,14 -0,36 | +1,17 +4,145 | -0,67 -0,573 | -4,85 -4,145 | -4,35 -3,718 | +0,49 +2,22 |
| | +0,115 | +1,84 | +2,21 | +2,61 | +3,10 |
| | +4,260 | +0,54 | -0,38 | -0,62 | [pww]=7,27 |
| | | +0,38 +0,92 | +2,78 -0,19 | +2,49 +0,74 | |
| | | +0,20 | -0,20 | 0,80 | |
| | | | 27,70 +0,27 +20,10 +0,04 | 25,61 +0,44 +18,03 -0,15 | |
| | | | +7,29 | +7,29 | |

$$\mu = \sqrt{\frac{7,29}{2}} = \sqrt{3,645} = 1,91 \text{ мм};$$

После уравнивания нивелирования III класса в самостоятельных сетях (при наличии прямого и обратного ходов) вычисляют среднюю квадратическую случайную ошибку на 1 км хода по формуле

$$\eta^2 = \frac{1}{4n} \left[\frac{d^2}{r} \right].$$

Среднюю квадратическую систематическую ошибку σ в городских нивелирных сетях вычисляют по формуле (25) только в случае, когда длина всех нивелирных ходов III класса более 100 км (в одном направлении).

Средняя квадратическая погрешность любой величины определяется формулой $m = \mu \sqrt{\frac{1}{p}}$, где μ — средняя квадратическая погрешность единицы веса; p — вес величины, погрешность которой вычисляется по формуле $m_{\delta_{HC}} = 1,91 \sqrt{\frac{1}{0,92}} = 1,91 \sqrt{1,09} = 2,0 \text{ мм}$.

Уравнивание заполняющих нивелирных сетей. Нивелирные сети III класса, когда они не являются самостоятельной высотной основой, уравнивают способом эквивалентной замены, способом узлов или способом полигонов, а также отдельными ходами с определением по результатам уравнивания средней квадратической погрешности на 1 км хода.

Нивелирные сети IV класса уравнивают способом узлов, полигонов и отдельных ходов с определением средней квадратической погрешности на 1 км хода.

Уравнивание нивелирных сетей III и IV классов по методу узлов и полигонов выполняется так же, как и уравнивание дирекционных углов в полигонометрических и теодолитных ходах при раздельном их уравнивании.

Уравнивание нивелирных сетей может быть выполнено либо с помощью настольных клавишных машин, либо на ЭВМ.

При уравнивании вновь проложенных городских нивелирных сетей необходимо учитывать существующую в данном городе систему высот, на основе которой проложены городские коммуникации и построены жилые здания и промышленные сооружения.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

СЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 6

СЪЕМОЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

§ 19. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для обеспечения топографических и съемочных работ на основе триангуляции, трилатерации, полигонометрии и нивелирных сетей развивается плановое и высотное съемочное обоснование (съемочная геодезическая сеть), состоящее из теодолитных ходов или заменяющих их сетей микротриангуляции и технического нивелирования.

Теодолитные ходы могут служить самостоятельной опорной геодезической сетью на территории съемки площадью до 1 км². Пункты съемочного обоснования должны равномерно покрывать территорию, подлежащую съемке.

На застроенной территории города (поселка) количество пунктов съемочного обоснования определяется рекогносцировкой. На незастроенной территории города (поселка) совместно с пунктами сетей высших классов на 1 км² территории должно быть не менее:

| | |
|-------------------------------------|----------|
| 4 пунктов при съемке в масштабе . . | 1 : 5000 |
| 12 пунктов » » » » . . | 1 : 2000 |
| 16 » » » » » . . | 1 : 1000 |

Количество пунктов при съемке в масштабе 1: 500 определяется рекогносцировкой.

При создании планово-высотного съемочного обоснования для крупномасштабных съемок городов, поселков, территории промышленных предприятий согласно действующим нормативным документам прокладывают сравнительно густую сеть теодолитных и нивелирных ходов разной протяженности и точности. Поворотные точки таких ходов согласно существующим положениям закрепляют на местности колышками и т. д. Такое закрепление точек рассчитано на выполнение одного определенного задания, длительное время они, как правило, не сохраняются. Поэтому при выносе в натуру проекта сооружения, перенесении на местность красных линий, разбивке осей зданий и сооружений, съемке существующих подземных сетей, при производстве исполнительных съемок и других работ вновь прокладывают теодолитные и нивелирные ходы на той же территории.

На повторное создание съёмочной сети затрачиваются время и средства. Кроме того, возникают недопустимые расхождения в результатах новых съёмок по сравнению со съёмками прежних лет, особенно в слабых местах сети (наиболее удалённых от исходных пунктов). Наконец, любые разбивочные работы и исполнительные съёмки требуют каждый раз проложения нового теодолитного и нивелирного ходов. Устранить этот недостаток можно только созданием постоянного съёмочного геодезического плано-высотного обоснования на территориях городов, поселков, промышленных предприятий, с надлежащей привязкой к пунктам государственной опорной геодезической сети. Однажды созданные съёмочные плано-высотные ходы могут максимально использоваться не только для изыскательских целей, но и при различных разбивочных работах, при съёмках подземных сетей и коммуникаций, что повышает точность размещения в плане и по высоте различных сооружений и коммуникаций.

Оперативность в проведении архитектурно-планировочных, строительно-монтажных работ, инженерно-технического обслуживания городов, строительных площадок, промышленных комплексов и объектов линейного строительства, благоустройство и переоборудование хозяйства населённых пунктов в известной степени зависят от состояния плано-высотного геодезического обоснования и соответствующей картографической документации.

Геодезическая сеть городов состоит из пунктов государственной геодезической сети преимущественно 2—4 классов, геодезических сетей сгущения 1 и 2 разрядов и съёмочного обоснования — сравнительно густой сети теодолитных ходов и заменяющих их микротриангуляций.

Высотную сеть в городах и на объектах промышленного и линейного строительства составляют реперы, отметки которых получены в результате нивелирования II—IV классов, между ними прокладывают ходы технического нивелирования.

А. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

§ 20. СОСТАВЛЕНИЕ ПРОЕКТА И РЕКОГНОСЦИРОВКА ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ И СЕТЕЙ МИКРОТРИАНГУЛЯЦИИ, ИХ ЗАМЕНЯЮЩИХ

Проект теодолитных ходов составляют на имеющихся планах крупных масштабов. На эти планы наносят все имеющиеся в районе съёмки пункты триангуляции и полигонометрии, рамки планшетов или границы съёмки.

Для создания постоянного съёмочного обоснования на территории городов и поселков необходимо при проектировании теодолитных ходов учитывать надежное закрепление поворотных точек теодолитных ходов.

Таблица 73

| Масштаб съемки | Допустимая длина висячего хода, м | | |
|----------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| | на застроенной территории не более чем с тремя точками поворота | на незастроенной территории при двух точках поворота | на незастроенной территории при одной точке поворота |
| 1 : 500 | 100 | — | 150 |
| 1 : 1000 | 150 | — | 150 |
| 1 : 2000 | 200 | 300 | — |
| 1 : 5000 | 350 | 500 | — |

В практике производства топографо-геодезических работ в городских условиях (и на промышленных площадках), как правило, на одной и той же территории прокладывается большое число теодолитных ходов, выполняемых для различных съемок (съемка территории, вынос в натуру проекта сооружения, красных линий, разбивка осей зданий и сооружений, съемка подземных сетей, исполнительные съемки и др.).

Создание постоянного съемочного обоснования на городских, промышленных и поселковых территориях позволит улучшить согласованность съемок, выполненных для одной и той же территории, но в разное время, что повысит точность размещения на этой местности различных зданий и сооружений.

При проектировании теодолитных ходов необходимо руководствоваться следующими правилами:

теодолитные ходы должны опираться на пункты триангуляции, полигонометрии и трилатерации;

точки поворота теодолитных ходов намечаются таким образом, чтобы на них можно было установить прибор и производить необходимые измерения, а также максимально их использовать при съемке ситуации и рельефа;

теодолитные ходы необходимо проектировать так, чтобы при их уравнивании не создавались системы ниже 2-го порядка.

К первому порядку уравнивания относятся независимые теодолитные ходы, опирающиеся на пункты полигонометрии, трилатерации, триангуляции, а также ходы, позволяющие заметно уменьшить длину эквивалентного хода (в максимальном варианте).

Ко второму порядку уравнивания относятся ходы, которые имеют эквивалентную длину (в максимальном варианте) и уравниваются между пунктами ходов 1-го порядка.

В отдельных случаях допускаются висячие ходы, длины которых приведены в табл. 73.

При проектировании теодолитных ходов на застроенной территории необходимо предусматривать обязательное определение координат углов зданий, расположенных на поворотах кварталов, улиц, переулков и внутри кварталов, а также в районах со свободной планировкой, не реже чем через 300 м.

Углы капитальных зданий, координаты которых определены с пунктов опорной геодезической сети или с точек теодолитных ходов 1-го порядка, являются постоянным съёмочным обоснованием.

Координаты углов капитальных зданий определяются полярным методом на высоте 1 м от поверхности земли (или на уровне высоты теодолита), но обязательно выше цоколя здания.

После утверждения или одобрения проекта в установленном порядке производится детальная рекогносцировка мест постановки пунктов теодолитного хода. Производят обследование состояния пунктов опорной геодезической сети (триангуляции, полигонометрии, трилатерации и сетей нивелирования). В целях наилучшего использования теодолитных ходов для выполнения съёмочных работ их следует прокладывать в условиях, благоприятных для измерения (по дорогам, вдоль улиц, проездов, вблизи построек и др.). При съёмке застроенных территорий методом перпендикуляров теодолитные ходы должны располагаться от линии фасада зданий:

| | |
|------------------------------------------|----------|
| не далее 8 м при съёмке в масштабе . . . | 1 : 2000 |
| » » 6 м » » » » . . . | 1 : 1000 |
| » » 4 м » » » » . . . | 1 : 500 |

При съёмке комбинированным методом, когда определяются координаты углов кварталов и отдельных капитальных зданий, а съёмка деталей ситуации производится при помощи мензулы, целесообразно располагать теодолитные ходы в середине проезда или улицы.

Нумерация пунктов съёмочного обоснования ведется общая для всего района съёмки. В тех случаях, когда в данном районе уже проводились съёмочные работы и известен номер последнего пункта обоснования, нумерацию рекомендуется продолжить.

§ 21. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ТЕОДОЛИТНЫМ ХОДАМ И СЕТЯМ МИКРОТРИАНГУЛЯЦИИ, ИХ ЗАМЕНЯЮЩИМ, В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МАСШТАБОВ СЪЕМОК

Теодолитные ходы прокладывают с предельными относительными погрешностями 1/3000, 1/2000, 1/1000. Зависимость относительной погрешности от масштаба съёмки показана в табл. 74.

В системах теодолитных ходов предельные допустимые длины ходов между узловыми точками или между исходными пунктами и узловой точкой должны быть на 30 % меньше приведенных в табл. 74.

Измерение сторон в теодолитных ходах должно производиться в прямом и обратном направлениях оптическими дальномерами, измерительными лентами и рулетками. Расхождения между результатами прямого и обратного измерений не

Таблица 74

| Масштаб съемки | $m_s = 0,2 \text{ мм}$ | | | $m_s = 0,3 \text{ мм}$ | |
|-------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| | $\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$ | $\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$ | $\frac{1}{N} = \frac{1}{1000}$ | $\frac{1}{N} = \frac{1}{2000}$ | $\frac{1}{N} = \frac{1}{1000}$ |
| | Допустимая длина хода между исходными пунктами, км | | | | |
| 1 : 500 | 0,9 | 0,6 | 0,3 | — | — |
| 1 : 1000 | 1,8 | 1,2 | 0,6 | 1,5 | 1,5 |
| 1 : 2000 | 3,0 | 2,0 | 1,0 | 3,6 | 1,5 |
| 1 : 5000 | 6,0 | 4, 0 | 2,0 | 6,0 | 3,0 |

должны быть более $1/2000$, а при неблагоприятных условиях измерений (пашня, болото и т. п.) — $1/1000$.

Длины измерительных лент и рулеток следует проверить на полевом компараторе с одновременным определением температуры воздуха. На этом же компараторе определяют коэффициенты оптических дальномеров. Поправка за компарирование вводится, если длина мерного прибора отличается от нормальной более чем на $1/10\,000$.

Длина сторон теодолитного хода не должна быть более 350 м и менее 20 м на застроенных и менее 40 м — на незастроенных территориях города. При съемке застроенных и незастроенных территорий допускаются висячие ходы, длины которых не превышают величин, указанных в табл. 73.

Съемочное обоснование можно создавать с применением оптических насадок (Д-2, ДНР-5, ДН-8 и др.), закрепленных на зрительной трубе.

Применение оптических насадок при работах на промышленных и строительных площадках, на участках с оживленным движением транспорта, на местности, неудобной для измерения линий лентой (заросли, болота), значительно повышает производительность труда и увеличивает точность измерений.

В открытой пересеченной местности, где затруднительны линейные измерения, теодолитные ходы могут быть заменены сетями микротриангуляции, которые строят в виде цепи треугольников, центральных систем и геодезических четырехугольников, которые должны опираться на пункты триангуляции, трилатерации и полигонометрии.

Основное условие построения любого вида сетей микротриангуляции (взамен теодолитных ходов) — наличие по крайней мере двух базисов. Если микротриангуляция не опирается на стороны триангуляции или полигонометрии, то измеряют базисные стороны с погрешностью не менее $1/5000$. Развитие сетей микротриангуляции, опирающихся на одну сторону, не допускается.

Количество треугольников между базисами допускается не более:

| | | | | | | | |
|----|---|-----|--------|---|----------|-----------|----------|
| 10 | — | для | съёмки | в | масштабе | | 1 : 500 |
| 15 | — | » | » | » | » | | 1 : 1000 |
| 17 | — | » | » | » | » | | 1 : 2000 |
| 20 | — | » | » | » | » | | 1 : 5000 |

Углы в треугольниках должны быть не менее 20° , а сторона длиной не менее 150 м. Невязки в треугольниках микротриангуляции не должны быть более $1,5'$. Расхождение приведенных к общему нулю одноименных направлений из разных приемов должно быть не более $45''$. Углы измеряют теодолитами 30-секундной точности двумя круговыми приемами с перестановкой лимба между приемами на 90° .

Отдельные точки планового съемочного обоснования могут определяться методами прямой, обратной или комбинированной засечек. Прямые засечки производят не менее чем в трех пунктах плановых опорных геодезических сетей так, чтобы углы между смежными направлениями были не менее 30° и не более 150° .

Обратные засечки производятся не менее чем по четырем пунктам плановых опорных геодезических сетей при условии, что определяемая точка не находится вблизи окружности, проходящей через три исходных пункта.

Комбинированные засечки строят из прямых и обратных засечек.

§ 22. ЗАКРЕПЛЕНИЕ ПУНКТОВ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

Пункты съемочного обоснования рабочих центров (вспомогательных точек) в застроенной части города закрепляют металлическими костылями, трубками на бетоне, коваными гвоздями, болтами и др. (рис. 77).

Пунктами постоянного съемочного обоснования могут быть углы зданий, расположенные на пересечении улиц, выступы

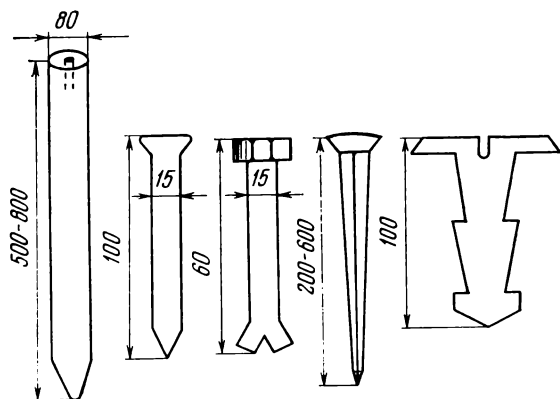


Рис. 77. Типы знаков для закрепления рабочих центров и временных точек

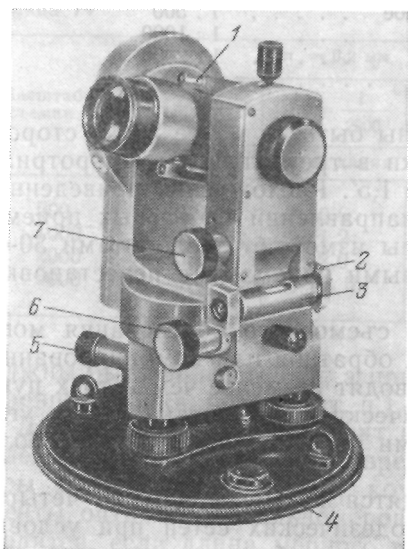
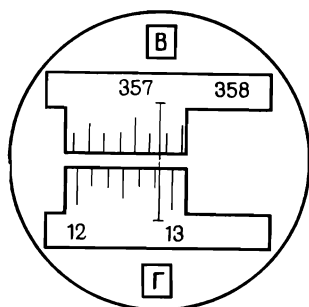


Рис. 78. Теодолит Т30:

1 — оптический визир; 2 — юстировочный винт уровня; 3 — уровень; 4 — бо-
бышка для крышки; 5 — наводящий
винт горизонтального круга; 6 — за-
крепительный винт горизонтального
круга; 7 — наводящий винт зрительной
трубы

**Рис. 79. Поле зрения отсчетного
микроскопа теодолита Т30**



капитальных зданий и сооружений, находящихся на красных линиях кварталов, центры колодцев выходов подземных сетей, стенные нивелирные реперы, а также специально закладываемые в цоколи или стены костыли, кованые гвозди и т. п.

В незастроенной части города пункты постоянного съемочного обоснования закрепляют деревянными кольями, столбами, трубками на бетоне, гвоздями, вбитыми в пни деревьев, и др.

При создании постоянного съемочного обоснования на незастроенных территориях городских земель необходимо изыскивать возможности для надежного закрепления поворотных точек теодолитных ходов. Для этих целей могут быть использованы выступы бетонных столбов (их следует отмечать краской) различных линий ЛЭП и ЛЭС, пикеты на автомобильных и железных дорогах, межевые и километровые столбы, сторожки подземных сетей, а также барочные гвозди, забиваемые в свежие пни деревьев, и др.

В тех случаях, когда теодолитные ходы являются самостоятельной опорной сетью, пятую часть общего числа поворотных пунктов теодолитных ходов закрепляют по типу грунтового полигонометрического знака и при возможности знаками типа стенного репера.

§ 23. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ И ВЫСОТ СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

Теодолиты

Теодолит ТЗО. Малогабаритный оптический повторительный теодолит с цилиндрической вертикальной осью (рис. 78). Зрительная труба переводится через зенит обоими концами. Подставка теодолита несъемная, а три подъемных винта теодолита шарнирно связаны с дном футляра, который служит основанием теодолита. Это позволяет при переходе с точки на точку закрывать теодолит футляром и предохранять его от механических повреждений, особенно при работе в лесу.

Теодолит ТЗО имеет полую вертикальную ось и отверстие в дне футляра, что создает возможность центрировать теодолит над точкой теодолитного хода при помощи зрительной трубы, устанавливаемой вертикально объективом вниз. При перевозке теодолита отверстие на дне футляра закрывается навинчивающейся крышкой, прикрепляемой к бобышке на дне футляра.

Теодолитом ТЗО можно выполнять геометрическое нивелирование с помощью цилиндрического уровня УТ20-Т2, устанавливаемого на зрительной трубе параллельно визирной оси.

Отсчетный микроскоп расположен параллельно зрительной трубе рядом с ее окуляром. Отсчитывание по угломерным кругам производится по неподвижному индексу, расположенному в центре поля зрения (рис. 79), позволяющему оценивать десятые доли наименьшего интервала между штрихами. Диафрагмой закрывается изображение штрихов, не участвующих в отсчете. Отсчет по горизонтальному кругу равен $12^{\circ}52'$, отсчет по вертикальному кругу $357^{\circ}16'$.

Горизонтальные углы измеряют способом круговых приемов или способом повторений.

Теодолит Т15. Оптический шкаловой повторительный теодолит (рис. 80). Зрительная труба дает прямое изображение, через зенит переводится обоими концами. Контактный уровень при алидаде вертикального круга расположен в подставке трубы, наблюдение за ним производится через поворотную призму.

В теодолите за основное положение принят вертикальный круг слева от наблюдателя.

Вид поля зрения отсчетного микроскопа показан на рис. 34. Отсчет по горизонтальному кругу $11^{\circ}57,6'$, отсчет по вертикальному кругу $4^{\circ}02,5'$.

Теодолит Т15К. Оптический шкаловой повторительный теодолит (рис. 81). Зрительная труба имеет прямое изображение, что позволяет быстро и безошибочно находить визирную цель.

Уровень при алидаде вертикального круга в теодолите Т15К заменен самоустанавливающимся оптическим компенсатором,

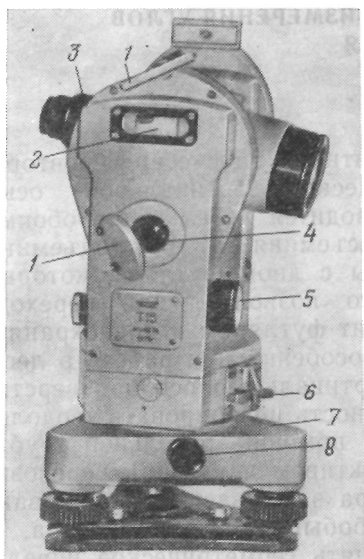


Рис. 80. Теодолит Т15:

1 — зеркало; 2 — окно уровня при вертикальном круге теодолита; 3 — диоптрийное кольцо визирной трубы; 4 — иллюминатор; 5 — установочный винт; 6 — клавиша; 7 — подставка; 8 — закрепительный винт подставки теодолита

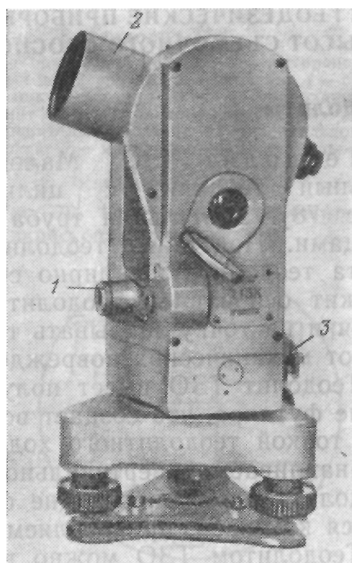


Рис. 81. Теодолит Т15К:

1 — окуляр оптического центрира; 2 — бленда; 3 — защелка повторительного устройства

который при измерении углов наклона освободил наблюдателя от приведения пузырька уровня в нуль-пункт перед отсчетом по вертикальному кругу.

Применение секторной оцифровки в вертикальном круге теодолита Т15К позволяет без дополнительных вычислений отсчитывать по шкале величину измеряемого угла наклона. Угол наклона при круге лево положительный, если цель расположена выше уровня горизонта, и отрицательный, если цель расположена ниже уровня горизонта.

В теодолите Т15К за основное положение принят вертикальный круг слева от наблюдателя.

Вид поля зрения отсчетного микроскопа теодолита Т15К показан на рис. 82. Отсчет по горизонтальному кругу равен $38^{\circ}02,5'$, отсчет по вертикальному кругу $0^{\circ}25,5'$. Если перед цифрой 0 не было бы знака минус, то отсчет был бы равен $0^{\circ}34,5'$.

Теодолит Т15К может быть использован для нивелирования горизонтальным лучом визирования. Для этого необходимо установить отсчет по микроскопу, равный месту нуля.

Технические характеристики теодолитов приведены в табл. 75. Проверки теодолитов см. в гл. II.

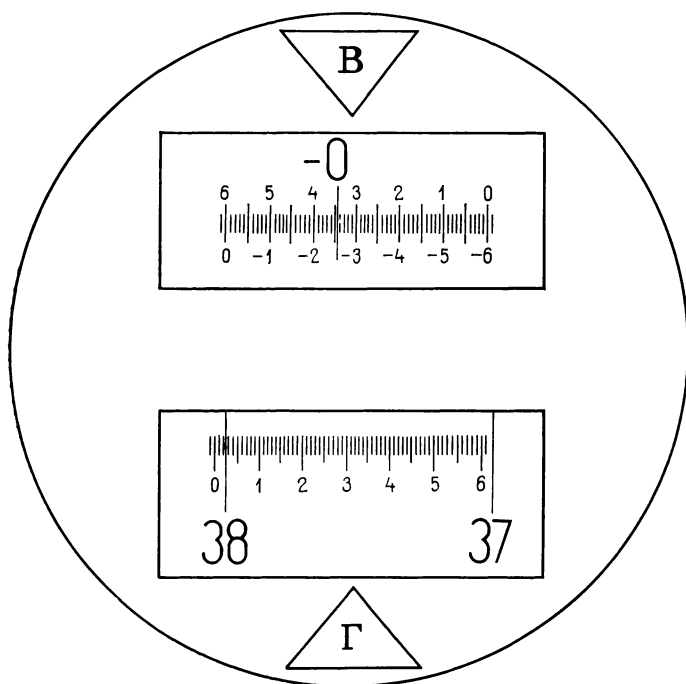


Рис. 82. Поле зрения отсчетного микроскопа Т15К

Нивелиры

Нивелир Н-10 (рис. 83) с уровнем при зрительной трубе относится к нивелирам техническим. Предназначен для выполнения высотного обоснования топографических съемок, при инженерно-геодезических изысканиях, в строительстве.

Нивелир снабжен контактным цилиндрическим уровнем *1* при зрительной трубе и элевационным винтом. Изображение концов цилиндрического уровня при помощи призмной системы передается в поле зрения трубы. Особенностью конструкции нивелира является приведение его в рабочее положение при помощи шаровой пяты штатива, заменяющей подставку с подъемными винтами. Прибор имеет фрикционный механизм наводки трубы по горизонту. Закрепительный винт зрительной трубы у нивелира отсутствует. Зрительная труба с внутренней фокусировкой дает прямое изображение предметов. Исправление угла *i* производится при помощи юстировочных винтов цилиндрического уровня. Нивелир выпускается также в варианте с горизонтальным лимбом 2Н-10Л.

Нивелир Н-10КЛ (рис. 84) с компенсатором и горизонтальным лимбом относится к нивелирам техническим. Предна-

Таблица 75

| Техническая характеристика | Норма по типу | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------|--------|-----------|
| | T30 | T15 | T15K | Theo 020A |
| | СССР | | ГДР | |
| Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла из одного приема, угл. с | 30 | 15 | 15 | 5 |
| При способе повторений из трех повторений, угл. с | 10 | 5 | 5 | 1 |
| Средняя квадратическая погрешность измерения вертикального угла, угл. с | 45 | 20 | 20 | 6—8 |
| Зрительная труба: | | | | |
| увеличение, крат | 20 | 25 | 25 | 25 |
| поле зрения | 2° | 1°30' | 1°30' | 1°65' |
| фокусное расстояние объектива, мм | 157 | 200 | 250 | 175 |
| диаметр выходного зрачка, мм | 1,35 | 1,4 | 1,4 | — |
| Пределы фокусирования, м | от 1,2 | от 1,2 | от 1,5 | от 2,1 |
| Рабочий диаметр, мм: | | | | |
| горизонтального круга | 72 | 76 | 90 | 96 |
| вертикального круга | 72 | 72 | 70 | 74 |
| Цена деления кругов | 10' | 1° | 1° | 1° |
| Увеличение микроскопа, крат | 18 | 72 | 65 | — |
| Цена наименьшего деления шкалы микроскопа, угл. мин | — | 1 | 1 | 1 |
| Точность отсчета | 1' | 0,1' | 0,1' | 0,1" |
| Цена деления уровня: | | | | |
| при алидаде горизонтального круга, угл. с на 2 мм | 45 | 45 | 45 | 20 |
| при алидаде вертикального круга, угл. с | — | 30 | 15 | — |
| Диапазон действия компенсатора, угл. мин | — | — | 3,5 | 4 |
| Точность компенсации, угл. с | — | — | 2 | 1 |
| Оптический центр: | | | | |
| увеличение, крат | — | 2,5 | 2,5 | 2,1 |
| поле зрения | — | 4°30' | 4°30' | — |
| Наименьшее расстояние визирования, м | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,5 |
| Масса, кг: | | | | |
| теодолита | 2,2 | 3 | 3 | 4,3 |
| фуляра | 1,0 | 3,5 | 3,5 | 4,4 |
| штатива | 3,8 | 5,3 | 5,3 | 5,6 |
| Размеры, мм: | | | | |
| высота теодолита | 220 | 250 | 250 | 270 |
| расстояние от головки штатива до оси вращения зрительной трубы | 175 | 210 | 210 | 240 |

значен для нивелирования при выполнении высотного обоснования топографических съемок, при инженерных изысканиях в строительстве. Нивелир может быть использован для измерения горизонтальных углов.

Нивелир снабжен оптико-механическим компенсатором. Чувствительным элементом компенсатора служит прямоугольная

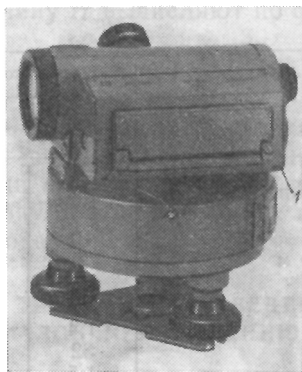


Рис. 83. Нивелир Н-10

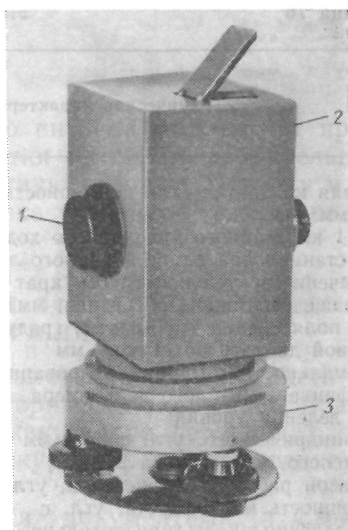


Рис. 84. Нивелир Н-10КЛ

призма на шарикоподшипниковой подвеске. Колебания компенсатора гасятся воздушным демпфером. Зрительная труба в сочетании с компенсатором дает прямое изображение предметов. Фокусировка трубы 1 осуществляется перемещением подвижной призмы компенсатора в вертикальном направлении. Оптические детали объектива и компенсатора заключены в термоизоляционный корпус 2 прямоугольной формы. В нижнюю часть нивелира вмонтирован горизонтальный лимб 3 с градуированной шкалой через 1° . Для исправления угла i служат юстировочные винты, расположенные в окулярной части трубы. Нивелир имеет фрикционный механизм горизонтальной наводки зрительной трубы от руки. Наводящий винт отсутствует. В комплект нивелира включены две нивелирные рейки типа РН-10-4000.

Основные технические характеристики нивелиров приведены в табл. 76.

Перед началом работы с нивелирами их исследуют и производят поверку (см. гл. 5).

У нивелиров с самоустанавливающейся линией визирования поверку компенсаторов и регулировку визирной оси производят следующим образом.

Поверка компенсатора. Трубу устанавливают параллельно линии, соединяющей два подъемных винта, наводят ее на нивелирную рейку, находящуюся в 10—15 м от прибора, и добиваются резкости ее изображения. Третьим подъемным винтом выводят пузырек круглого уровня до касания его с concentрической окружностью большого диаметра и отсчитывают по рейке. Затем поворачивают подъемные винты, по которым установлена труба, примерно на $1/8$ оборота и снова берут отсчет

Таблица 76

| Техническая характеристика | Норма по типу | |
|--------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| | Н-10 | Н-10КЛ |
| Средняя квадратическая погрешность измерения превышения, мм: | | |
| на 1 км двойного нивелирного хода | 10 | 10 |
| на станции при длине визирного луча 100 м | 5 | 5 |
| Увеличение зрительной трубы, крат | 23 | 20 |
| Фокусное расстояние объектива, мм | 184 | 170 |
| Угол поля зрения трубы, угл. градус | 1,4 | 1,3 |
| Световой диаметр объектива, мм | 32 | 26 |
| Минимальное расстояние визирования, м | 1,5 | 1,5 |
| Коэффициент нитяного дальномера | 100 | 100 |
| Цена деления уровня: | | |
| цилиндрического, угл. с на 2 мм | 45 | — |
| круглого, угл. мин на 2 мм | 10 | 10 |
| Диапазон работы компенсатора, угл. мин | — | ± 20 |
| Погрешность компенсации, угл. с | — | 0,5 |
| Цена деления шкалы горизонтального лимба, угл. градус | — | 1 |
| Погрешность отсчитывания по шкале лимба, угл. градус | — | 0,1 |
| Температурный диапазон работы нивелира, °С | От -40 до +50 | От -40 до +50 |
| Масса, кг: | | |
| нивелира | 2 | 2 |
| укладочного ящика | 2 | 2 |

по рейке. При правильной работе компенсатора оба отсчета должны совпасть. Потом трубу поворачивают по направлению, перпендикулярному к первому, и повторяют проверку. Если отсчеты по рейке при любых крайних положениях пузырька уровня не будут отличаться друг от друга, то компенсатор исправен. В противном случае компенсатор отправляют для исправления на завод.

Регулировка визирной оси. Нивелир устанавливают в рабочее положение и на одной прямой, проходящей через центр A прибора, выставляют в 5 м ($l_1 = l_2 = 5$ м) от него две рейки (рис. 85), по которым производят отсчеты h_1 и h_2 . Затем переносят нивелир в точку B , находящуюся на той же прямой в 3 м ($l_3 = 3$ м) от одной из реек, и берут отсчет по рейкам h_1' и h_2' . При соблюдении равенства разности отсчетов считают, что прибор отрегулирован правильно. При отсутствии равенства

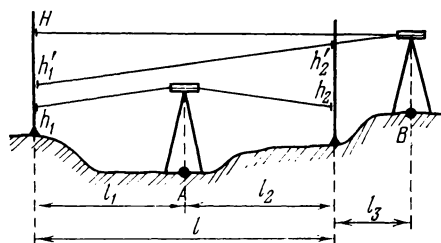


Рис. 85. Схема регулировки визирной оси нивелира

величину H вычисляют по формуле

$$H = \frac{l'_3}{l} [(h_1 - h_2) - (h'_1 - h'_2)]$$

и устанавливают горизонтальную нить на этот отсчет при помощи регулировочных винтов сетки нитей, предварительно отвинтив кольцо и сняв пылезащитную крышку. Поверку и регулировку повторяют до тех пор, пока указанное условие не будет соблюдено.

§ 24. ТРЕБОВАНИЯ К ВЕДЕНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ ПОЛЕВЫХ ЖУРНАЛОВ ПО ИЗМЕРЕНИЮ УГЛОВ И ЛИНИЙ

Все полевые геодезические измерения должны быть записаны в журналы и абрисы. Категорически запрещается записывать результаты измерений на каких-либо черновиках с тем, чтобы потом переписывать их в журналы. Такая переписка ведет к многочисленным ошибкам.

Журналы и абрисы являются документами, и страницы в них должны быть пронумерованы и соответствующим образом заверены руководителем работ.

Записи в журналах следует вести только простым карандашом четким почерком, не допуская неясных цифр и букв. Если написанные цифры плохо читаются или неправильно записаны, их нужно зачеркнуть одной чертой, но так, чтобы цифры легко читались, а необходимую запись следать на новом месте, но с припиской слова *bis*. Подчистка записей в журналах запрещается, а исправление ошибочных цифр в отсчетах и в вычислениях, обнаруженных во время проверки, делается путем аккуратного зачеркивания неверных цифр (так, чтобы осталась возможность их прочесть) и записи верных цифр над ними. Каждое исправление исходных данных (которое не связано с арифметической ошибкой) должно быть пояснено.

Все результаты измерений одной и той же точности следует записывать одинаково. При работе с точным теодолитом угол $57^{\circ}2'5''$ следует записывать как $57^{\circ}02'05''$.

В каждом журнале должен быть оформлен титульный лист: указать номер журнала, район работы, тип и номер прибора, фамилию наблюдателя, рен теодолита и т. д.; на каждой странице проставить дату начала и конца работы, записать условия видимости и т. д. В конце журнала должна быть подпись наблюдателя и принимающего работу.

§ 25. УГЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения горизонтальных углов в теодолитных ходах производятся теодолитами Т15, Т30, Theo 020А и тахеометрами.

После выполнения проверок и юстировок теодолита приступают к измерению горизонтальных углов в теодолитных ходах,

для чего над поворотной точкой хода (вершиной измеряемого угла) устанавливают теодолит и центрируют его над точкой стояния при помощи нитяного отвеса или оптического центрира с точностью 2 мм.

Приведя теодолит в рабочее положение, измеряют горизонтальный угол одним полным приемом с перестановкой лимба между полуприемами на величину, близкую к 90° .

Горизонтальные углы измеряют в такой последовательности.

Закрепляют лимб и, вращая алидаду, наводят пересечение нитей сетки трубы или биссектора на заднюю (правую) веку; действуя наводящими винтами трубы и алидады горизонтального круга, совмещают пересечение сетки нитей с наблюдаемой вехой так, чтобы оно покрывало острый конец вертикально поставленной вехи или совмещалось с ее осью возможно ближе к основанию. После этого отсчитывают градусы, минуты и секунды и записывают их в журнал.

Для получения значения правого по ходу горизонтального угла необходимо из среднего отсчета на заднюю точку вычесть средний отсчет на переднюю, а для получения левого по ходу угла из отсчета на переднюю точку вычитают отсчет на заднюю.

Затем переводят трубу через зенит (для устранения влияния коллимационной ошибки и наклона оси вращения зрительной трубы), переставляют лимб на величину, близкую к 90° , и повторяют наблюдения при положении вертикального круга при КП. Перемещая алидаду в противоположную сторону, делают отсчеты, записывают их в журнал и производят те же вычисления, что и в первом полуприеме.

Окончательное значение измеренного горизонтального угла вычисляют как среднее арифметическое из результатов, полученных в обоих полуприемах. Допустимое расхождение между значениями углов в полуприемах не должно превышать $1'$.

В тех случаях, когда стороны теодолитного хода менее 40 м или не виден низ вехи, угол измеряют либо на веку, устанавливаемую по круглому уровню, или отвесом Кардана, либо на отвес, прикрепленный к штативу и центрированный над точкой.

Закончив работу по измерению углов на данном объекте, составляют схему, на которую выписывают углы до десятых долей минуты, и подсчитывают угловые невязки как в замкнутых полигонах, так и в отдельных ходах. Допустимые невязки считают по формуле

$$f_{\text{в, доп}} \leq 1' \sqrt{n},$$

где n — число измеренных углов в полигоне или ходе.

При измерении горизонтальных углов необходимо особо обратить внимание на тщательное центрирование прибора и на

установку вех, которые должны устанавливаться отвесно над центром знака или на продолжении стороны измеряемого угла, тем более что при проложении теодолитных ходов в городских условиях преобладают короткие линии и получается много точек поворота.

§ 26. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Стороны теодолитного хода для создания планового съемочного обоснования при топографических съемках измеряют стальными лентами, рулетками и оптическими дальномерами Д-2, ДН-8 и ДНР-5 и тахеометром Редта 002 Народного предприятия «Карл Цейс» (Йена, ГДР).

Стороны теодолитного хода измеряют стальными 20-метровыми лентами, 20- или 50-метровыми стальными рулетками в прямом и обратном направлениях или двумя мерными лентами или рулетками различной длины (20, 24 или 50 м) в одном направлении.

Перед полевыми измерениями стальные ленты и рулетки должны быть прокомпарированы на полевом компараторе с указанием температуры, при которой производилось компарирование; уравнивание их длины записывают в журнал или абрис и на схему теодолитных ходов. Если поправка за компарирование превышает $1/10\,000$ длины мерного прибора, ее нужно вводить в длину, измеряемую данным прибором.

Перед измерением линии теодолитного хода определяют теодолитом угол наклона всей линии или ее частей. Если этот угол больше $1,5^\circ$, вводят поправку за наклон линии. Кроме того, термометром определяют температуру воздуха с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$. Натяжение ленты или рулетки осуществляется от руки по возможности с одинаковой силой (порядка 20 кг).

Перед измерением линий, больших 200 м, на незастроенных территориях в середине линии вешением по теодолиту выставляют створные точки. При измерении линий на застроенных территориях створные точки выставляют не реже чем через 60 м для съемок в масштабе $1:500$ и через 100 м — в масштабе $1:2000$. Расхождение между двумя измерениями одной и той же линии не должно быть больше $1/3000$ при измерении по асфальту, $1/2000$ — при менее благоприятных условиях и $1/1000$ — при неблагоприятных условиях (пашни, болотистые места и др.).

При измерении коротких линий расхождение между прямыми и обратными измерениями допускается до 3 см.

Длины линий, которые не могут быть измерены лентой или рулеткой с указанной выше точностью (овраги, речки, насыпи и др.), определяются аналитически из двух треугольников, в которых измеряют все три угла или в крайнем случае два угла, а также два базиса с точностью не ниже $1/2000$. Результаты линейных измерений записывают в журнал или абрис.

Измерение расстояний оптическими дальномерами

Оптические дальномеры двойного изображения Д-2, ДН-8 и ДНР-5 изготавливаются в двух исполнениях: в виде самостоятельного прибора (Д-2) и в виде насадки на зрительную трубу теодолита (ДН-8 и ДНР-5).

Дальномер Д-2 (рис. 86) относится к оптическим дальномерам двойного изображения с переменным параллактическим углом и постоянным базисом у цели. Расстояния измеряются с относительной погрешностью до $1/5000$.

Дальномер Д-2 выпускается как самостоятельный прибор, состоящий из дальномерного устройства 3, вертикального круга 2 для измерения углов наклона линии визирования, алидадной части 1 с осью вращения и винтами управления, съемной подставки 4 и дальномерной двусторонней рейки длиной 2 м. Рейка содержит шесть марок, образующих пять малых базисов длиной 0,4 м каждый. Длины базисов рейки на двух ее сторонах различаются на 1 %.

Рейка дальномера Д-2 устанавливается на штативе в горизонтальном или вертикальном положении. При измерениях по вертикальной рейке относительная погрешность расстояния в диапазоне до 400 м возрастает до $1/3000$ — $1/2000$.

Дальномерный блок содержит зрительную трубу с разделительным устройством и оптический компенсатор комбинированного типа. Последний включает перекидной клин, задающий постоянную часть параллактического угла β , и линзовую систему, позволяющую совместить два полуизображения рейки и задающую тем самым переменную часть угла β . В результате парал-

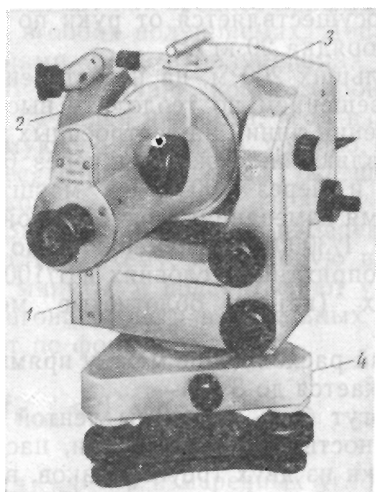


Рис. 86. Дальномер Д-2

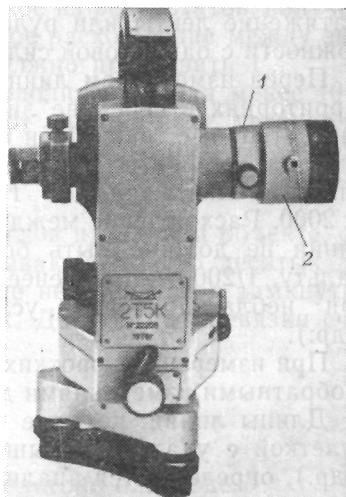


Рис. 87. Дальномер ДНР-5

лактический угол определится суммой его двух составляющих: $\beta = \beta_k + \beta_n$.

Отсчет значения β_n осуществляется по дальномерной шкале, расположенной в поле зрения трубы.

Определение расстояний дальномером Д-2 основано на решении равнобедренного треугольника по известным углу β и базе b . Рабочая формула для определения расстояния, приведенного к горизонту,

$$s = \frac{NK}{\beta} + C + \delta s_t + \delta s_\alpha,$$

где N — количество интервалов рейки, использованных при измерении параллактического угла β ; K — коэффициент дальномера; C — постоянное слагаемое; δs_t — поправка за температуру; δs_α — поправка за наклон линии визирования для горизонтального положения рейки,

$$\delta s_\alpha = -2 \sin^2 \frac{\alpha}{2};$$

для вертикального положения рейки

$$\delta s_\alpha = -\sin^2 \alpha.$$

Так как значения базисов рейки на двух ее сторонах различаются на 1 %, для вычисления среднего угла β пользуются формулой

$$\beta = (\beta_1 + 1,01\beta_2)/2.$$

При измерении параллактических углов необходимо стремиться к тому, чтобы значения N разностей номеров совмещаемых марок рейки были бы максимальными для данного расстояния.

Дальномер ДНР-5 (рис. 87) относится к дальномерам двойного изображения с переменным параллактическим углом и постоянной базой у цели.

Горизонтальные проложения определяют дальномером ДНР-5 с относительной погрешностью 1/1000—1/2000. Дальномер представляет собой насадку 2 на зрительную трубу геодезического прибора с посадочным диаметром объектива 46 мм. Используется с теодолитами серии 2Т или типа ТЗ0 с применением переходного кольца 1, так как посадочный диаметр объектива у теодолита ТЗ0 равен 38 мм. Оптический компенсатор дальномера содержит дальномерный клин, задающий параллактический угол, подвесной клин, редуцирующий наклонные расстояния, и телескопическую линзу, выполняющую роль микрометра. Особенностью дальномера является наличие подвесного

редуцирующего клина, автоматически преобразующего измеряемые наклонные расстояния в горизонтальные проложения в пределах угла наклона $\pm 10^\circ$. При больших углах наклона редуцирование производят по номограмме, прилагаемой к инструкции по эксплуатации дальномера.

Дальномер ДНР-5 снабжен двумя дальномерными рейками с инварной полосой, на которых нанесены обратный нониус и шкала делений через 2 см на обеих сторонах рейки. При измерениях рейка устанавливается в подставке на штативе по круглому уровню. Телескопический микрометр дальномера обеспечивает точность отсчитывания до $1/1000$ деления реек.

Расстояние S , определенное по дальномеру, вычисляют по формуле

$$S = K(L_1 + L_2) + C,$$

где L_1 и L_2 — первый и второй отсчеты по рейке (по ее двухсантиметровой шкале); K и C — постоянные дальномера; отсчеты L_1 и L_2 рекомендуется выполнять при вращении наводящего винта трубы в противоположных направлениях.

Оптический дальномер ДН-8. Дальномерная насадка ДН-8 (рис. 88) — дальномер с переменным углом и постоянной базой у цели, представленной горизонтальной рейкой. Погрешность измерения расстояний не превышает 0,08 м на 100 м. Насадка 2 предназначена для теодолитов Т5 и Т2. Расстояние от теодолита до горизонтальной рейки определяется по формуле

$$S = K/\varphi + C,$$

где K — коэффициент дальномера, определяемый на полевом компараторе; φ — угол, измеренный в делениях угломерной шкалы; C — постоянная величина, определяемая на полевом компараторе.

Угол φ определяется как разность отсчетов, полученных при совмещении марок. Таких совмещений и отсчетов (приемов) рекомендуется делать не менее четырех. Совмещение марок осуществляется вращением правого штурвала насадки. После каждого приема угломерная шкала насадки смещается левым штурвалом 1.

В комплект насадки входит жезл с двумя крупными марками для измерения расстояний от 200 до 700 м и двумя малыми марками для измерения расстояний от 100 до 250 м. Расстояния между крупными и малыми марками рассчитаны так, чтобы значения коэффициентов соответствовали величинам $K_1 = 21\,000$ для больших марок ($l_1 = 1018$ мм) и $K_2 = 11\,000$ для малых марок ($l_2 = 534$ мм). При работе с насадкой требуется заменить в зрительной трубе теодолита плоское стекло сетки нитей на бипризму.

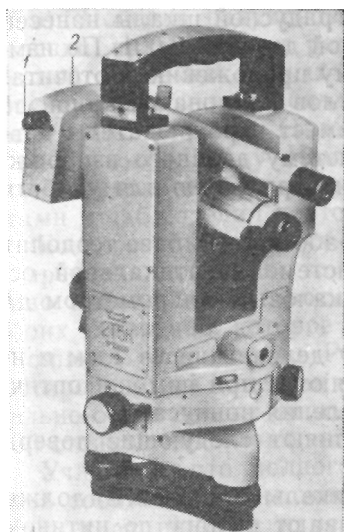


Рис. 88. Дальномер ДН-8

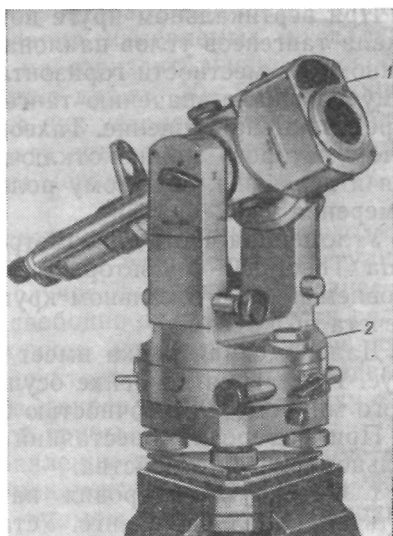


Рис. 89. Редукционный тахеометр Редта 002

Для упрощения вычислений используют формулу

$$S = \frac{K}{\varphi} + C + \Delta K \cdot s_{100},$$

где K — коэффициент, имеющий номинальное значение; $s_{100} = \frac{K}{\varphi \cdot 100}$;

$$C = \frac{a_1 s_2 - a_2 s_1}{s_2 - s_1}; \quad \Delta K = \frac{a_2 - a_1}{(s_2 - s_1)_{100}};$$

$$s_1 = K/\varphi_1; \quad s_2 = K/\varphi_2,$$

где s_1 и s_2 — длины отрезков компаратора, измеренные дальномером;

$$a_1 = s_1^0 - s_1; \quad a_2 = s_2^0 - s_2,$$

где s_1^0 и s_2^0 — значение отрезков компаратора.

Редукционный тахеометр Редта 002 (рис. 89), выпускаемый Народным предприятием «Карл Цейс» (Йена, ГДР), относится к приборам с оптико-механическим преобразователем в системе с данным изображением с базой у цели, представленной горизонтальной рейкой. Тахеометр содержит угломерную часть 2 и дальномер двойного изображения 1 с постоянным параллактическим углом.

При вертикальном круге помимо градусной шкалы нанесена шкала тангенсов углов наклона с ценой деления 0,001. По измеренному на местности горизонтальному проложению и отсчитанному по шкале значению тангенса углов наклона визирной оси определяют превышение. Тахеометр имеет переключатель, поворотом которого можно отключить систему двойного изображения и перейти к обычному полному изображению для удобства измерения угла.

Угломерная часть тахеометра разработана на базе теодолита типа Theo 020 с повторительной системой вертикальной оси, уровнем при вертикальном круге и шкаловым микрометром для отсчета по кругам.

Дальномерная рейка имеет шкалу делений через 1 см и нониус. Измерения по рейке осуществляются при помощи оптического микрометра с точностью 0,01 деления нониуса.

При измерении расстояний выполняют следующие проверки дальномерного устройства.

1. Ось круглого уровня на вертикальной штанге должна быть параллельна штанге. Устанавливают штангу по нитяному отвесу, а круглый уровень приводят на середину исправительными винтами.

2. Визирная ось коллиматора рейки должна быть перпендикулярна к плоскости дальномерной рейки.

Проверка этого условия складывается из: а) определения коллимационной ошибки коллиматора; б) проверки параллельности горизонтальной оси вращения визирной трубки коллиматора дальномерной рейки (погрешность поворота); в) проверки редукционного устройства.

- а). Для определения коллимационной ошибки на местности забивают колышек, над ним центрируют теодолит, отмеряют два прямых угла, выставляя вехи на расстоянии 50—110 м от колышка. Центрируют на штативе или вертикальной штанге рейку над точкой местности, где забит колышек, приводят ее при помощи уровня в горизонтальное положение и ориентируют по перпендикулярной линии. Визируют через коллиматор на веху, переводят трубу через зенит и наблюдают другую веху.

Если визирная линия диоптра не покрывает веху, то исправляют юстировочными винтами трубки коллиматора на половину отклонения. Для контроля проверку повторяют.

- б). Ошибку поворота оси вращения коллиматора определяют в следующем порядке: ориентируют горизонтальную рейку по направлению, перпендикулярному к линии выставленных вех и закрепляют, затем диоптром коллиматора устанавливают, проходит ли визирная линия через веху. Если это условие не соблюдено, то отпускают закрепительные винты у нижней стойки коллиматора и устраняют отклонение поворотом корпуса подшипника, в котором вращается горизонтальная ось визирной трубки. Зажимают закрепительные винты. Для контроля проверку повторяют.

в). Поверка редуccionного устройства заключается в определении правильности редуccionирования измеряемых по дальномерной рейке наклонных линий на горизонтальную плоскость. На крутом склоне разбивают линию длиной 30—50 м и закрепляют ее колышками. На одном из них устанавливают теодолит, а на другом — рейку. Измеряют эту линию 8—10 раз дальномером двойного изображения. Затем меняют теодолит и рейку местами и наблюдения повторяют.

Если результаты двух определений длины линии расходятся в пределах допусков, то редуccionное устройство отрегулировано правильно, в противном случае вычисляют среднее из обоих измерений, которое будет свободно от погрешности редуccionного устройства. Редуccionное устройство исправляют юстировочными винтами авторедуктора, для чего предварительно отвинчивают шесть винтов, закрепляющих заслонку с левой стойкой подставки зрительной трубы.

Учитывая, что полного исправления редуccionного устройства добиться невозможно, рекомендуется расстояния при больших углах наклона измерять в прямом и обратном направлении.

Теодолит устанавливают на штативе над пунктом, центрируют его, приводят ось вращения прибора в отвесное положение. На другом конце измеряемой стороны хода над пунктом ставят на штативе или вертикальной штанге горизонтальную дальномерную рейку (рис. 90), при помощи уровня приводят ее в горизонтальное положение, а при помощи коллиматора устанавливают перпендикулярно к измеряемой линии.

Перемещают рейку в треугольной пластине в ту или другую сторону так, чтобы наблюдаемые штрихи рейки располагались симметрично по отношению к оси штанги или штатива. Правильность установки рейки проверяется тем, что в зрительную трубу теодолита должен быть виден яркий вертикальный штрих, который при самом незначительном повороте рейки искривляется. Горизонтальную нить зрительной трубы наводят на рейку так, чтобы верхние и нижние штрихи были одинаковой длины. Затем совмещают концы пузырька уровня (наблюдая их через призму).

После этого при помощи рукоятки совмещают наиболее близко расположенные штрихи верньера и рейки, обращая внимание на симметричное их положение вправо и влево от совмещенного штриха. При этом дистанционную рукоятку следует вращать всегда плавно в одну сторону (вправо или влево), не допуская совмещения штрихов рейки поперечным движением рукоятки.

После совмещения штрихов определяют расстояние, пользуясь штрихами рейки и верньера, для чего считают слева направо до нуля верньера число десятков и четное число метров. Затем по верньеру находят наименование совмещенного штриха (от нуля верньера) и умножают его на 2, получают четное

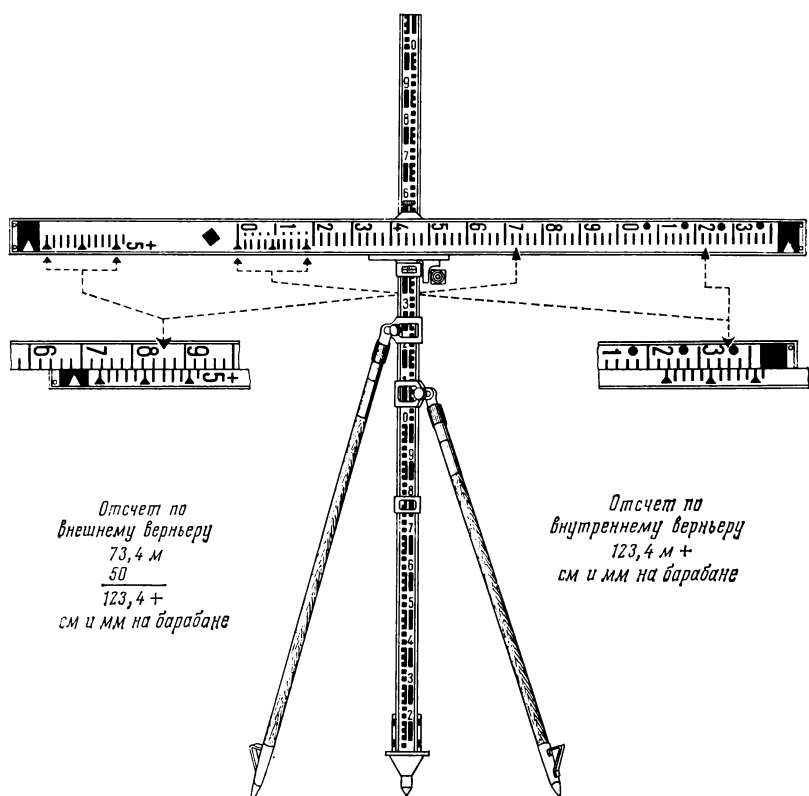


Рис. 90. Дальномерная рейка для тахеометра Редта 002

число дециметров; сантиметры и миллиметры отсчитывают по индексу дистанционной рукоятки, одно деление которого соответствует 1 см, а миллиметры отсчитывают на глаз.

Совмещать штрихи на рейке следует дважды, вращая дистанционную рукоятку первый раз по ходу часовой стрелки, а второй против хода, что составляет одно определение. В это расстояние поправка за наклон не вводится.

При измерении сторон оптическими дальномерами в теодолитных ходах следует соблюдать следующие правила:

1. Выполнять измерения в ходах должен только тот наблюдатель, который определял постоянную дальномера.

2. Если совмещение изображения штрихов из-за значительных колебаний вызывает затруднения, рекомендуется измерять отрезки линий длиной не более 80—100 м, а также применять для вертикальных реек подставки удлинителей.

Таблица 77

| Тип дальномера | Допустимое расхождение | |
|-------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------|
| | в отсчетах | в измерениях в прямом и обратном направлениях |
| Д2 | 0,15 деления | 1/5000 (горизонтальная рейка) |
| ДНР-5 | 1/1000 деления шкалы рейки | 1/1500—1/2000 (вертикальная рейка) |
| ДН-8 | 0,15 деления | 1/1200—1/1500 (горизонтальная рейка) |

3. Если угол наклона ν больше 5° , следует тщательно выверить уровень на рейке и установить ее с погрешностью не более $5'$.

4. Измерение сторон следует выполнять в прямом и обратном направлениях для компенсации погрешностей.

5. Для стабильности коэффициента K целесообразно юстировочные винты, наклоняющие дальномерный компенсатор в ДНР-5, надежно закреплять (клеем БФ-2).

6. Углы наклона для определения поправки δ_{sv} при $\nu = 10^\circ$ следует измерять с точностью до $1'$.

7. Коэффициент дальномера ДНР-5 рекомендуется контролировать ежедневно (до выхода на работу или после возвращения с работы). Для этого необходимо иметь эталонную линию длиной 60—80 м, которую измеряют в прямом и обратном направлениях.

8. Число отсчетов при измерениях не должно быть более 2—

4. Допустимые расхождения между отсчетами, а также между измерениями в прямом и обратном направлениях приведены в табл. 77.

Основные технические характеристики дальномеров приведены в табл. 78.

§ 27. МЕТОДЫ ПРИВЯЗКИ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ К СТЕННЫМ ЗНАКАМ РАЗЛИЧНОГО ТИПА

В практике съемочных и топографических работ в городах, поселках и на промышленных территориях широкое применение получили стенные знаки, которые закрепляются одним, двумя или тремя рабочими центрами.

Привязка теодолитных ходов к системам восстановительных знаков осуществляется так же, как к грунтовому знаку или рабочему центру. При восстановлении рабочего центра линейные измерения в теодолитных ходах производятся с точностью 6 мм.

В настоящем пособии рассмотрены примеры привязки теодолитных ходов к ориентирным системам стенных знаков, наиболее часто встречающихся в практике топографо-геодезических работ.

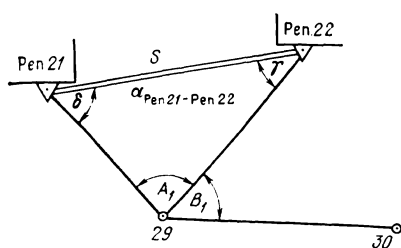


Рис. 91. Схема привязки теодолитного хода к одинарным стенным знакам

Привязка теодолитного хода к одинарному стенному знаку (рис. 91):

устанавливают теодолит над точкой 29 не дальше 20 м от стенного знака Реп. 21 с таким расчетом, чтобы был виден и соседний стенной знак Реп. 22;

измеряют расстояние l от теодолита до центра ближайшего стенного знака и угол A_1 между направлениями на ближайший и соседние стенные

вычисляют координаты точки стояния теодолита.

Пример привязки точки 29 теодолитного хода к одинарному стенному знаку при наличии видимости на соседний знак. Исходные данные:

$x_{\text{Реп. 21}} = +157,813$; $y_{\text{Реп. 21}} = +97,137$; $A_1 = 89^\circ 13' 18''$;

$x_{\text{Реп. 22}} = +233,109$; $y_{\text{Реп. 22}} = +277,211$; $l = 7,213$ м;

$\alpha_{\text{Реп. 21-Реп. 22}} = 67^\circ 18' 30''$; $s = 195,183$ м.

Таблица 78

| Техническая характеристика | Оптический дальномер | | | |
|----------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | СССР | | ГДР | |
| | Д2 | ДНР-5 | ДН-8 | Редта 002 |
| Диапазон измерения расстояний, м | 40—400 | 20—120 | 50—700 | 50—172 |
| Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний на 100 м, см | 2 | 5 | 8 | — |
| Диапазон работы по углу наклона, угл. градус | — | ± 20 | ± 30 | — |
| Диапазон работы системы редуцирования, угл. градус | ± 22 | ± 10 | — | — |
| Минимальное расстояние визирования, м | 16 | — | — | 2,5 |
| Коэффициент дальномера | 100 | 100 | 12 000 21 000 | 100 |
| Посадочный диаметр, мм | — | 46 | 46 | — |
| Длина базы дальномерной рейки, м: максимальная | 2 | 2 | 2 | 2,09 |
| минимальная | 0,4 | — | — | — |
| Длина базы дальномерной рейки, мм: большой | — | — | 1018 | — |
| малой | — | — | 350 | — |
| Длина шкалы дальномерной рейки, м | — | 1,5 | — | — |
| Цена деления шкалы дальномерной рейки, см | — | 2 | — | — |
| Температурный диапазон работы, $^\circ\text{C}$ | От -30 до $+50$ | От -30 до $+50$ | От -30 до $+50$ | От -30 до $+50$ |
| Масса прибора, кг | 4,0 | 0,6 | 0,6 | 6,5 |

Таблица 79

| Номер знака | Дирекционный угол | Длина стороны, м | Приращения координат, м | | Координаты, м | |
|-------------|-------------------|------------------|-------------------------|------------|---------------|---------|
| | | | Δx | Δy | x | y |
| Реп. 22 | 247°18'30" | | | | | |
| Реп. 21 | 155°58'08" | 7,213 | —6,588 | +2,937 | 157,813 | 97,137 |
| 29 | 65 11 26 | 195,148 | +81,884 | +177,137 | 151,225 | 100,074 |
| Реп. 22 | 247 18 30 | 195,183 | —75,296 | —180,074 | 233,109 | 277,211 |
| Реп. 21 | | | | | 159,813 | 97,137 |

Вычисление по формулам:

$$\sin \gamma = \frac{l_1 \sin A_1}{s}; \quad \delta = 180^\circ - (A_1 + \gamma);$$

$$\alpha_{\text{Реп } 21 - \text{Реп } 29} = \alpha_{\text{Реп } 21 - \text{Реп } 22} + \delta;$$

$$x_{29} = x_{\text{Реп } 21} \pm l \cos \alpha_{\text{Реп } 21 - \text{Реп } 29};$$

$$y_{29} = y_{\text{Реп } 21} \pm l \cos \alpha_{\text{Реп } 21 - \text{Реп } 29}.$$

Для определяемой точки 29 находим

$$\sin \gamma = \frac{7,213 \cdot 0,999\,908}{195,183} = 0,036\,952;$$

$$\gamma = 2^\circ 07' 04''; \quad \delta = 88^\circ 39' 38''.$$

Вычисление координат точки 29 представлено в табл. 79.

Привязка теодолитного хода к одинарным стенным знакам способом редуцирования применяется в том случае, когда по условиям местности невозможно выбрать для установки теодолита такое место, с которого видны сразу два одинаковых стенных знака. Для этого способа выбирают две точки 1 и 2 (рис. 92) против стенных знаков с таким расчетом, чтобы углы A_1 и A_2 были в пределах $88-92^\circ$, а длины сторон l_1 и l_2 не

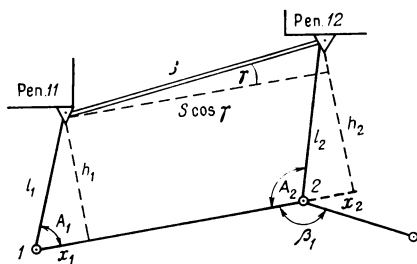


Рис. 92. Схема привязки теодолитного хода к одинарным стенным знакам способом редуцирования

превышали 20 м. Измеряют углы A_1 и A_2 , стороны l_1 и l_2 и вычисляют координаты точки стояния теодолита.

Пример.

Исходные данные:

Результаты измерений:

$$\begin{aligned} x_{\text{Реп } 11} &= 112,173; & y_{\text{Реп } 11} &= 77,834; & A_1 &= 85^\circ 13' 18''; \\ x_{\text{Реп } 12} &= 174,129; & y_{\text{Реп } 12} &= 286,192; & A_2 &= 92^\circ 40' 43''; \\ \alpha_{\text{Реп } 11-\text{Реп } 12} &= 73^\circ 18' 40''. & \beta_1 &= 178^\circ 14' 19''; \\ & & s &= 217,83 \text{ м}; \\ & & l_1 &= 7,981 \text{ м}; \\ & & l_2 &= 10,017 \text{ м}. \end{aligned}$$

Вычисление по формулам:

$$\begin{aligned} h_1 &= l_1 \sin A_1; & h_2 &= l_2 \sin A_2; & \sin \gamma &= \frac{h_2 - h_1}{s}; \\ x_1 &= l_1 \cos A_1; & x_2 &= l_2 \cos A_2; & l_{1-2} &= \cos \gamma + x_1 - x_2; \\ \alpha_{1-2} &= \alpha_{\text{Реп } 11-\text{Реп } 12} + \gamma. \\ h_1 &= 7,981 \cdot \sin 85^\circ 13' 18'' = 7,981 \cdot 0,996\,525 = 7,753; \\ x_1 &= 0,665; \\ h_2 &= 10,017 \cdot \sin 92^\circ 40' 43'' = 10,017 \cdot 0,998\,917 = 10,006; \\ x_2 &= 0,468; & \sin \gamma &= \frac{10,006 - 7,753}{217,833} = 0,009\,425; \\ s \cos \gamma &= 217,823; & l_{1-2} &= 218,020 \text{ м}. \end{aligned}$$

Вычисление координат точек 1 и 2 приведено в табл. 80.

Таблица 80

| Номер знака | Дирекционный угол | Длина стороны, м | Приращения координат, м | | Координаты, м | |
|-------------|-------------------|------------------|-------------------------|------------|---------------|----------|
| | | | Δx | Δy | x | y |
| Реп. 11 | 168°37'46" | 7,981 | —7,824 | +1,574 | +112,173 | +77,834 |
| 1 | 73 51 04 | 218,020 | +60,639 | +209,217 | +104,349 | +79,408 |
| 2 | 346 31 47 | 10,017 | +9,741 | —2,333 | +164,988 | +288,825 |
| Реп. 12 | 253 18 40 | 217,833 | —62,556 | —208,658 | +174,729 | +286,492 |
| Реп. 11 | | | | | +112,173 | +77,834 |

Привязка к двум стенным знакам способом угловых засечек (по условному базису) (рис. 93). Этот способ целесообразно применять, когда непосредственное измерение расстояний от теодолита до центров стенных знаков затруднено (например, из-за ведения в этой зоне земляных работ).

Параллельно зданию, на котором установлены стенные знаки, разбивают базис l_3 , длину которого принимают примерно равной расстоянию s между реперами; расстояние от здания до базиса также выбирают примерно равным величине s . Измеряют углы $1, 2, 3, 4$ и вычисляют условные координаты точек Реп. 17 и Реп. 18, для чего предварительно решают треугольники и определяют их стороны по формулам

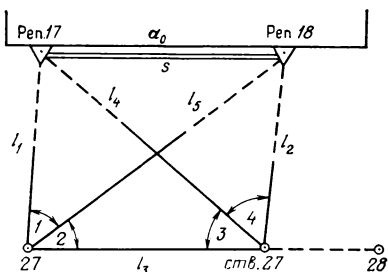


Рис. 93. Схема привязки теодолитного хода к двум стенным знакам способом угловых засечек

$$l_1 = \frac{l_3 \sin 3}{\sin (1 + 2 + 3)}; \quad l_2 = \frac{l_3 \sin 2}{\sin (2 + 3 + 4)}.$$

Затем вычисляют условные координаты стенных знаков Реп. 17 и Реп. 18, используя вычисленные значения сторон l_1 и l_2 . По вычисленным условным координатам определяют расстояние s_0 и дирекционный угол α_0 . По определенной стороне s_0 вычисляют масштаб m по формуле $m = s/s_0$, после чего получают значения сторон l_1 и l_2 по формулам $ml_1' = l_1$ и $ml_2' = l_2$, где l_1' и l_2' — длины сторон, полученные из решения треугольников с условной длиной базиса l_3 , равной 20 м. Затем вычисляют окончательные координаты точек 27 и ств. 27 и для контроля измеряют расстояние между ними.

Пример. Определяемые точки 27 и ств. 27 (см. рис. 93). Исходные данные: Результаты измерения:

$$x_{\text{Реп. 17}} = 147,821; \quad y_{\text{Реп. 17}} = 179,817; \quad \angle 1 = 49^\circ 19' 21''$$

$$x_{\text{Реп. 18}} = 147,084; \quad y_{\text{Реп. 18}} = 198,776; \quad \angle 2 = 40^\circ 08' 17''$$

$$\alpha_{\text{Реп. 17—Реп. 18}} = 92^\circ 13' 30''; \quad s = 18,973 \text{ м.} \quad \angle 3 = 47^\circ 18' 11''$$

$$\angle 4 = 51^\circ 27' 47''$$

$$l_3 = 16,600 \text{ м.}$$

s' — расстояние между реперами 17 и 18, полученное из решения треугольника с условной длиной базиса $l_3' = 20$ м.

Решение треугольников приведено в табл. 81.

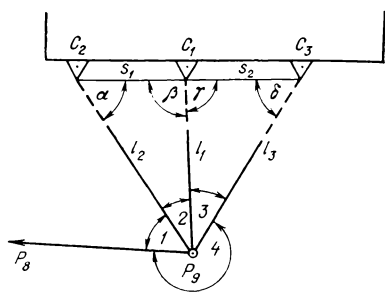


Рис. 94. Схема привязки теодолитного хода к трем стенным знакам

Вычисление координат точек 27 и ств. 27 до уравнивания сторон (с условным базисом) приведено в табл. 82.

Привязка теодолитного хода к трем стенным знакам. При этом способе на точке P_9 (рис. 94) теодолитного хода измеряют углы 1, 2, 3 и 4 и расстояние l_1 до знака C_1 . Для знаков C_2 , C_1 и C_3 известны координаты и дирекционные углы $\alpha_{C_2-C_1}$ и $\alpha_{C_1-C_3}$, расстояния s_1 , s_2 .
Формулы для вычисления:

$$M = \frac{s_1}{\sin 2}; \quad N = \frac{s_2}{\sin 3};$$

$$A = 360^\circ - (\angle 2 + \angle 3) + \beta + \gamma = \alpha + \delta;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{N \sin A}{M + N \cos A}; \quad \delta = A = \alpha.$$

Пример. Определяемая точка P_9 (см. рис. 94).

Исходные данные:

Результаты измерений:

$$x_{C_1} = 437,366; \quad y_{C_1} = 336,532; \quad \angle 1 = 57^\circ 31' 45''$$

$$x_{C_2} = 442,728; \quad y_{C_2} = 338,842; \quad \angle 2 = 23 \quad 34 \quad 10$$

$$x_{C_3} = 432,013; \quad y_{C_3} = 334,222; \quad \angle 3 = 23 \quad 25 \quad 40$$

$$\alpha_{C_2-C_1} = 203^\circ 18' 24''; \quad \alpha = 203^\circ 20' 20''; \quad \angle 4 = 245 \quad 28 \quad 25;$$

$$s_1 = 5,838 \text{ м}; \quad s_2 = 5,830 \text{ м}.$$

$$l_1 = 13,420 \text{ м (контроль)}$$

Вычисление азимута:

$$A = 360^\circ - (23^\circ 34' 10'' + 23^\circ 25' 40'' + 179^\circ 58' 04'') = 133^\circ 02' 06''.$$

Решение треугольников приведено в табл. 83.

Контрольные вычисления:

$$M = 14,6001;$$

$$N \cos A = -10,0069;$$

$$M + N \cos A = 4,5932;$$

$$N \sin A = 10,7179;$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 2,33341;$$

$$\alpha = 66^\circ 48' 07,5''.$$

Вычисление координат точки P_9 приведено в табл. 84.

Таблица 81

| Номер знака | Значение угла | \sin угла | Длина стороны, м | Числовое значение величины |
|-------------|---------------|-------------|------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 27 | 89°25'38" | | | $\sum \Delta x = -2,059 \text{ м}; s = 18,973 \text{ м}$ |
| ств. 27 | 47 18 11 | 0,734 951 | 21,445 | $\sum \Delta y = +22 775; s' = 22,868 \text{ м}$ |
| Реп. 17 | 43 16 11 | 0,685 434 | 20,000 | $\operatorname{ctg} \alpha' = 0,0904061; K \frac{s}{s'} = 0,829 679$ |
| 27 | 40 08 17 | 0,644 232 | 19 614 | $\alpha' = 95^{\circ}09'57''$ |
| ств. 27 | 98 45 58 | | | $\alpha = 92^{\circ}13'30''$ |
| Реп. 18 | 41 05 45 | 0,657 321 | 20.000 | $\Delta \alpha = \alpha + \alpha' = 2^{\circ}36'27''$ |
| | | | | $\frac{\sum \Delta y}{\sin \alpha'} = Q = 22,868 \text{ м}$ |

Таблица 82

| Номер знака | Дирекционный угол | Длина стороны, м | Приращения координат, м | | Координаты, м | |
|-------------|-------------------|------------------|-------------------------|------------|---------------|---------|
| | | | Δx | Δy | x | y |
| Реп. 17 | 180°34'20" | 21,445 | -21,144 | -0,214 | | |
| 27 | 90 00 00 | 20,000 | 0,000 | +20,000 | | |
| ств. 27 | 8 45 58 | 19,614 | +19,385 | +2,980 | | |
| | | | -2,059 | +22,775 | | |
| Реп. 18 | | | | | 147,821 | 179,817 |
| Реп. 17 | 177 37 55 | 17,792 | -17,777 | +0,735 | 130,044 | 180,552 |
| 27 | 87 03 33 | 16,594 | +0,851 | +16,572 | 130,895 | 197,124 |
| ств. 27 | 5 49 31 | 16,273 | +16,189 | +1,652 | 147,084 | 198,776 |
| Реп. 18 | | | | | | |

§ 28. ОСОБЕННОСТИ УГЛОВЫХ И ЛИНЕЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ПЛАНОВЫХ ПРИВЯЗКАХ ЗНАКОВ ПОСТОЯННОГО СЪЕМОЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ

Передачу координат с временных точек (рабочих центров) на центры ственных знаков постоянного съёмочного обоснования следует выполнять с суммарной средней квадратической погрешностью 3 мм. Для контроля независимо от выбранного

Таблица 83

| Номер знака | Обозначение угла | Значение угла | sin угла | Длина стороны, м | Обозначение стороны |
|-------------------------|---------------------------|------------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|
| C_2 C_1 P_9 | α β 2 | 66°48'07,5" 89 37 42,5" 23 34 10,0 | 0,919149 0,999979 0,399860 | 13,420 14,600 5,838 | l_1 l_2 s_1 |
| C_1 C_3 P_9 | γ δ 3 | 90 20 21,5 66 13 58,5 23 45 40,0 | 0,999981 0,915191 0,397593 | 14,6001 14,663 13,420 5,830 | M l_3 l_1 s_2 |
| | | | | 14,6632 | N |

Таблица 84

| Номер знака | Дирекционный угол | Длина стороны, м | Приращения координат, м | | Координаты, м | |
|-------------------------|-------------------|------------------|-------------------------|------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | | | Δx | Δy | x | y |
| C_1 P_9 C_2 | 293°40'41,5" | 13,420 | +5,389 | —12,290 | 437,366 442,755 442,728 | 336,532 324 242 338,842 |
| P_9 C_3 | 270 06 31,5 | 14,600 | +0,028 | —14,600 | 442,756 432,013 | 324,242 334,222 |
| P_9 | 317 06 21,5 | 14,663 | +10,742 | —9,980 | 442,755 | 324,242 |

способа передачи координат на стенные знаки выполняют избыточное число измерений.

Передачу координат со стенных знаков на рабочие центры при восстановительных системах необходимо производить с суммарной средней квадратической погрешностью 6 мм. Для обеспечения необходимой точности установленный на рабочем центре теодолит центрируют со средней квадратической погрешностью 2 мм.

В ходах постоянного съемочного обоснования углы поворота и углы при визировании на стенные знаки (полярные направления или углы засечки) измеряют в следующем порядке: наводят пересечение сетки нитей зрительной трубы на заднюю точку хода; визируют на переднюю точку хода; изменяют фокусировку зрительной трубы и наводят пересечение сетки нитей на стенные знаки.

Переводят зрительную трубу через зенит и производят измерение углов в обратном порядке, начиная со стенных знаков; наводят пересечение сетки нитей зрительной трубы на стенные

знаки; меняют фокусировку зрительной трубы и визируют на переднюю точку хода; визируют на заднюю точку хода.

При измерении углов на узловой точке хода результаты измерений необходимо контролировать замыканием горизонта.

Измерение полярных расстояний и расстояний при линейных засечках выполняют стальной компарированной рулеткой с натяжением ее от руки при длине линии не более 10 м и с помощью динамометра с силой в 10 кг при расстоянии больше 10 м. В измеренные рулеткой расстояния вводят поправки за ее компарирование, за изменение температуры воздуха и за наклон линии к горизонту.

Компарирование рулетки производят женевской линейкой на плоскости или на полевом компараторе в подвешенном состоянии, тогда необходимо в измеренные расстояния вводить поправки за провес рулетки: при расстоянии, равном 10 м,— 0,1 мм; 15 м — 0,2 мм; 20 м — 0,5 мм.

Температуру воздуха для введения поправки в измеренные рулеткой расстояния необходимо определять обыкновенным термометром с точностью до 2 °С. Превышения между концами рулетки определять нивелированием с погрешностью не более 4—5 мм. Измерение отрезков линий рекомендуется выполнять в безветренную погоду. В исключительных случаях допускается производство измерений при скорости ветра не более 10 м/с.

Практика производства работ показала, что временные точки (рабочие центры), по которым велись измерения теодолитных ходов, могут долгое время сохраняться, и их можно использовать при производстве съемочных и разбивочных работ. Поэтому в каталоги координат стенных знаков рекомендуется включать координаты временных точек. Кроме того, в каталог рекомендуется помещать значения горизонтальных проложений отрезков линий, определяемых засечками с тем, чтобы их можно было использовать для восстановления временных точек с точностью 2—3 см, достаточной для съемочных работ.

§ 29. ТЕХНИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Отметки точек съемочного обоснования определяют техническим нивелированием (геометрическим или тригонометрическим).

Тригонометрическое нивелирование производится теодолитом с точностью отсчетов по вертикальному кругу не менее 1' при соблюдении следующих требований:

1. Длина теодолитного хода, отметки точек которого определяются тригонометрическим нивелированием, не должна быть более 2 км между пунктами, определенными техническим нивелированием IV и более высокого классов, при условии, что при съемке рельефа с этих точек горизонтали будут проводиться через 1 м и более.

2. Измерение вертикальных углов производится теодолитом одним полным приемом при двух положениях круга.

3. С одной станции необходимо измерять все вертикальные углы на смежные пункты. Место нуля, определенное на станции, должно быть не больше двойной точности верньеров вертикального круга.

4. Высоты съемочных точек определяются из прямых и обратных наблюдений, за исключением створных точек, отметки которых определяются дважды из прямых наблюдений. Превышения вычисляют, пользуясь тахеометрическими таблицами.

5. Расхождение между прямым и обратным превышениями или между превышениями, определенными с одной станции на разные высоты рейки одной и той же точки, не должно превышать 4 см на каждую сотню метров ($0,04s$ м, где s — длина линии в сотнях метров).

6. Сумма превышений, определенных с двух точек на створную, не должна отличаться более чем на $0,06s$ м.

7. Допустимые невязки в замкнутых полигонах и ходах определяют по формуле

$$f_{h_{\text{доп}}} = 0,04s \sqrt{n},$$

где n — число линий в ходе или полигоне.

8. При определении превышений рекомендуется визировать на высоту прибора, что облегчает вычисления.

9. При отсутствии таблиц превышения можно вычислять с помощью логарифмической линейки по формуле

$$h = D \operatorname{tg} v,$$

где D — горизонтальное проложение между точками съемочного обоснования.

Геометрическое нивелирование производится между марками и реперами нивелирования II, III и IV классов по точкам съемочного обоснования отдельными ходами, системами ходов и замкнутыми полигонами. В исключительных случаях допускается проложение висячих ходов с обязательным их нивелированием в прямом и обратном направлениях. Геометрическое нивелирование производится нивелирами с увеличением не менее $20\times$, ценой деления не более $25''$ на 2 мм.

Нивелирование выполняют с соблюдением следующих требований:

1. Применяя двусторонние рейки при одном горизонте с отсчетами по одной нити, делают ход в одном направлении.

2. Применяя односторонние рейки при двух горизонтах, делают ход в одном направлении с отсчетами по рейкам по одной нити или при одном горизонте, но с отсчетами по трем нитям.

3. Расстояния от прибора до реек должны быть по возможности равными, для чего реечник измеряет эти расстояния шагами или нивелировщик определяет их по дальномеру.

4. Высоты створных точек определяют как промежуточные точки.

5. Предельная невязка (мм) хода или замкнутого полигона определяется по формуле

$$f_{h_{\text{доп}}} = 50 \sqrt{L}, \text{ или } f_{h_{\text{доп}}} = 10 \sqrt{n},$$

где L — число км в ходе или полигоне; n — число станций в ходе или полигоне.

Б. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

§ 30. УРАВНИВАНИЕ ТЕОДОЛИТНЫХ ХОДОВ

При уравнивании теодолитных ходов применяют способ эквивалентной замены проф. А. С. Чеботарева, способ узлов или способ полигонов проф. В. В. Попова. В сетях с незначительным числом пунктов и в сетях, простых по своей конструкции, уравнительные вычисления следует вести средствами малой вычислительной техники. Сложные и громоздкие сети надо уравнивать строгими методами с использованием ЭВМ.

Перед уравниванием теодолитных ходов необходимо проверить журналы измерения углов и сторон теодолитного хода и выписать их значения на схему хода. На схеме показывают все точки проложенных теодолитных ходов (поворотные, створные и висячие), все пункты полигонометрии, углы наклона сторон хода, а также данные компарирования мерных приборов или коэффициент дальномера. Обработку угловых и линейных измерений теодолитных ходов начинают с заполнения ведомости вычислений значениями измеренных горизонтальных углов (правых или левых по ходу) и сторон хода.

Полученная в теодолитном ходе угловая невязка f_{β} сопоставляется с допустимой предельной невязкой. Если угловая невязка превышает предельную, то проверяют вычисление измеренных углов по отсчетам и их выписку на схему. Если этого недостаточно, выполняют контрольные измерения углов хода, обращая особое внимание на центрирование теодолита и вех или марок.

Допустимую угловую невязку теодолитного хода распределяют с обратным знаком на все углы поровну, после чего вычисляют дирекционные углы по формуле:

$$\text{при левых углах хода } \alpha_{n+1} = \alpha_n + \beta - 180^\circ,$$

$$\text{при правых углах хода } \alpha_{n+1} = \alpha_n + 180^\circ - \beta.$$

Контролем служит получение дирекционного угла линии, к которой привязан ход.

Вычисляют приращения координат и подсчитывают сумму приращений по оси x и оси y , а также длину хода. Невязки в приращениях координат определяют по формулам

$$f_{\Delta x} = \Sigma \Delta x - (x_{\text{кон}} - x_{\text{нач}});$$

$$f_{\Delta y} = \Sigma \Delta y - (y_{\text{кон}} - y_{\text{нач}}).$$

214

Таблица 85

| Обозначение пункта | Измеренный угол | Дирекционный угол α | Длина стороны, м | Приращения координат, м | | Координаты, м | |
|-----------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---------------|--------|
| | | | | Δx | Δy | x | y |
| Шпиль башни 15 | 79°12,8' +0,3' | 301°18,4' | | | | 404,21 | 439,08 |
| | | 200 31,5 | 180,17 | -168,7' +3 | -63,17 +3 | | |
| | 173 40,8 +0,4 | 194 12,7 | 147,16 | -142,66 +3 | -36,13 +3 | 235,51 | 373,94 |
| | 167 18,4 +0,4 | 181 32,0 | | | | 92,88 | 337,84 |
| 926 927 | $n = 2; f_B = -1,1'$ $n + 1 = 3; f_{\text{доп}} = 1,7'$ | | $327,33$ $f_s = 0,09$ $F_s = \frac{1}{3600}$ | -311,39 $f_{\Delta x} = -0,06$ | -99,30 $f_{\Delta y} = -0,06$ | 852,87 | 552,19 |
| | | | | | | | |
| | 180°40,2' +0,5' | 187°13,2 187 53,9 | 183,87 | -182,13 +4 | -25,27 -1 | | |

Продолжение табл. 85

| Обозначение пункта | Измеренный угол | Дирекционный угол α | Длина стороны, м | Приращения координат, м | | Координаты, м | |
|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------|
| | | | | Δx | Δy | x | y |
| 10 | 189 52,7 +0,5 | 197 47,1 | 144,20 | -137,31 +3 | -44,04 -1 | 670,78 | 526,91 |
| 12 | 181 41,7 +0,5 | 199 29,3 | 137,18 | -129,32 +3 | -45,77 -1 | 533,50 | 482,86 |
| 15 | 101 48,6 +0,5 | 121 18,4 | | | | 404,21 | 437,08 |
| Шпиль башни | $n = 3; f\beta = -2,0'$ $n+1 = 4; f\beta_{доп} = 2,0'$ | | $465,25$ $f_s = 0,10$ $F_s = \frac{1}{4600}$ | -448,76 $f_{\Delta x} = -0,10$ | -115,08 $f_{\Delta y} = +0,03$ | | |
| | | | | | | | |
| Азимутальный пункт Новая | 144°17,3' -0,1 | 275°38,1 | 217,40 | -108,96 -1 | -188,13 +6 | 714,62 | 872,59 |
| | | 239 55,3 | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|---------------|--------|--------|
| 5 | 153 16,2 | 213 11,4 | 212,80 | —178,08 —0 | —116,49 +6 | 605,65 | 684,52 |
| 6 | 217 18,5 —0,1 | 250 29,8 | 97,50 | —32,55 | —91,91 +2 | 427,57 | 568,09 |
| 7 | 212 43,5 —0,2 | 283 13,1 | 40,18 | +9,19 | —39,12 0 | 395,02 | 476,20 |
| 15 | 18°05,4' —0,1 | 121°18,4' | | | | 404,21 | 437,08 |
| Шпиль башни | | | | | | | |
| $n = 4; f_{\beta} = +0,5'$ $n + 1 = 5; f_{\beta\text{доп}} = 2,2'$ | | $f_s = 0,14$ $F_s = \frac{1}{4000}$ | —310,20 $f_{\Delta x} = +0,01$ | —435,65 $f_{\Delta y} = -0,14$ | | | |

дирекционный угол $301^{\circ}15,0'$ и подсчитывают $p\Delta\alpha$, где $\Delta\alpha$ — отклонение от приближенного значения угла; $p\Delta\alpha_1 = 0,33 \cdot 4,5 = 1,5$; $p\Delta\alpha_2 = 0,25 \cdot 1,4 = 0,35$. Дирекционный угол, полученный по эквивалентному ходу $z_{1,2}$, имеет $n+1$ углов, получаемых по формуле $(n+1)_{1,2} = 1/(p_1 + p_2) = 1/0,58 = 1,7$,

$$\alpha_{1,2} = 301^{\circ}15,0' + \frac{1,5 + 0,35}{0,58} = 301^{\circ}18,2'.$$

К ходу $z_{1,2}$ присоединяют ход z_3 , имеющий 5 углов, а следовательно, одиночный ход, эквивалентный всей данной системе ходов, имеет 6,7 углов. Угловая невязка данного эквивалентного хода $f_b = 301^{\circ}18,2' - 301^{\circ}19,0' = -0,8'$, которая должна распределяться на 6,7 углов поровну. Для хода z_3 поправка равна $-0,6'$, а для хода $z_{1,2}$ $+0,2'$. Таким образом, уравненный дирекционный угол получают дважды: $301^{\circ}18,2' + 0,2' = 301^{\circ}18,4'$ (по ходу $z_{1,2}$) и $301^{\circ}19,0' - 0,6' = 301^{\circ}18,4'$ (по ходу z_3). Теперь можно определять невязку по ходу z_1 : $301^{\circ}19,5' - 301^{\circ}18,4' = +1,1'$ и по ходу z_2 : $301^{\circ}16,4' - 301^{\circ}18,4' = -2,0'$, которые следует распределить поровну соответственно на 3 и 4 угла.

В результате данная система распадается на ряд самостоятельных одиночных ходов, имеющих определенные угловые невязки. Остается сравнить их с допустимыми, которые указываются в ведомости вычислений (см. табл. 85).

Систему теодолитных ходов можно уравнивать также методами узлов и полигонов, разработанными проф. В. В. Поповым. Применяя метод узлов для уравнивания полигона, приведенного на рис. 95, выписывают полученные по каждому ходу дирекционные углы узловой стороны и число углов, с помощью которых был получен дирекционный угол. Затем вычисляют веса дирекционных углов по формуле $p_i = 1/(n_i + 1)$. В табл. 86 вычисляют величины отклонений от приближенного произвольно взятого угла ($121^{\circ}19,0'$) и определяют окончательный дирекционный угол стороны 15 — Шпиль башни по формуле

$$\alpha_{15-\text{Шпиль башни}} = \alpha_0 + \frac{\Delta\alpha_1 p_1 + \Delta\alpha_2 p_2 + \Delta\alpha_3 p_3}{p_1 + p_2 + p_3}.$$

$$m_\alpha = 0,97 = 0,84 \sqrt{1,27}; \quad \delta_\alpha = \frac{[p\Delta\alpha]}{[p]} = \frac{0,483}{783} = 0,617;$$

$$\alpha = 121^{\circ}19,0' - 0,617' = 121^{\circ}18,383';$$

$$m = \sqrt{\frac{[pf_\alpha^2]}{R - q}} = \sqrt{\frac{1,48}{2}} = \sqrt{0,74} = \sqrt{0,86}.$$

В этих уравнениях m_α — погрешность дирекционного угла; δ_α — поправка к принятому дирекционному углу; m — средняя квадратическая погрешность измеренного угла; R — число ходов (3); q — число узлов (1).

При уравнивании системы теодолитных ходов способом полигонов составляют нормальные уравнения.

Таблица 86

| Обозначение хода | Дирекционный угол | Число углов | Вес p | $\Delta\alpha$ | $p\Delta\alpha$ | $f_{\Delta x}$ | $p f_{\Delta x}$ | $p f^2_{\Delta x}$ |
|------------------|-------------------|-------------|---------|----------------|-----------------|----------------|------------------|--------------------|
| z_1 | 121°19,5' | 3 | 0,333 | +0,5 | +0,167 | +1,1 | +0,37 | +0,41 |
| z_2 | 121 16,4 | 4 | 0,250 | -2,6 | -0,650 | -2,0 | -0,50 | +1,00 |
| z_3 | 121 19,0 | 5 | 0,200 | 0 | 0,000 | +0,6 | +0,12 | +0,07 |
| | 121°18,383' | | 0,783 | | -0,483 | | -0,01 | +1,48 |

Из решения уравнений получают поправки в углы для каждого хода.

После распределения невязок поровну на каждый угол вычисляют дирекционные углы. По сходимости последнего дирекционного угла с определенным ранее убеждаются, что они вычислены верно (см. табл. 85). Далее в ведомость вычислений выписывают горизонтальные проложения сторон хода и вычисляют приращения координат. При вычислении рекомендуется пользоваться полученными дирекционными углами. Затем вычисляют координаты узловой точки и периметр хода до узловой точки.

Имея координаты, полученные по ходам z_1 и z_2 , пользуясь весами, которые следует принять как 1000/[s], определяют вероятнейшее значение координат узловой точки по формулам

$$x_{1,2} = x_0 + \frac{p_1 \delta x_1 + p_2 \delta x_2}{p_1 + p_2}; \quad y_{1,2} = y_0 + \frac{p_1 \delta y_1 + p_2 \delta y_2}{p_1 + p_2},$$

где x_0 и y_0 — приближенное значение координат узловой точки.

Рекомендуется за x_0 и y_0 принимать координаты, полученные по одному из ходов с наименьшим их значением. Пользуясь суммой весов, определяют длину эквивалентного хода, т. е. систему ходов сводят к одиночному ходу.

Если длина всего хода оказалась меньше 900 м (максимальной длины, предусмотренной инструкцией), то следует продолжить уравнивание этого хода, т. е. определить невязку хода путем сравнения координат, получая их по ходу z_3 и ходу $z_{1,2}$.

Распределяя невязку пропорционально длинам ходов, получают поправки для хода z_3 и для хода $z_{1,2}$ и определяют окончательные координаты узловой точки. Распределив пропорционально длинам сторон полученную поправку с обратным знаком, определяют координаты промежуточных точек в каждом ходе. Контролем служат координаты узловой точки, вычисления которых по каждому ходу должны дать одну и ту же величину.

Таблица 87

| Название хода | Периметр хода, км | Вес p | f_x | f_y | pf_x | pf_y | pf_x^2 | pf_y^2 |
|---------------|-------------------|---------|-------|-------|---------|---------|----------|----------|
| z_1 | 0,327 | 3,058 | —6 | —6 | —18,348 | —18,348 | 110 | 110 |
| z_2 | 0,465 | 2,151 | —10 | +3 | —21,510 | —6,453 | 215 | 19 |
| z_3 | 0,568 | 1,761 | +1 | —14 | +1,761 | —24,654 | 2 | 345 |
| $z_{1-2,3}$ | 0,143 | 6,970 | | | | | 327 | 474 |

Следует произвести оценку точности каждого хода, подсчитывая абсолютную погрешность $f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$ и относительную $F_s = \frac{f_s}{[s]}$, которые не должны превышать предельной величины.

Пример вычисления погрешности определения координат узловой точки приведен в табл. 87.

$$m_x = \sqrt{\frac{[pf_x^2]}{q-r}} = \sqrt{\frac{327}{2}} = \sqrt{164} = 12,8 \text{ см};$$

$$m_y = \sqrt{\frac{[pf_y^2]}{q-r}} = \sqrt{\frac{474}{2}} = \sqrt{237} = 15,4 \text{ см};$$

погрешности координат узловой точки:

$$f'_x = 12,8 \sqrt{0,143} = 4,8 \text{ см};$$

$$f'_y = 15,4 \sqrt{0,143} = 5,8 \text{ см};$$

$$f'_s = 7,5 \text{ см}.$$

§ 31. УРАВНИВАНИЕ СЕТЕЙ МИКРОТРИАНГУЛЯЦИИ

Сети микротриангуляции, взамен теодолитных ходов, можно строить в виде цепей треугольников, центральной системы, геодезического четырехугольника и др.

Наиболее часто микротриангуляцию создают в виде цепей треугольников (рис. 96). В каждом треугольнике различают связующие углы A_1, B_1, A_2, B_2 и т. д., лежащие против связующих сторон $a_1, a_2, a_3 \dots$, и промежуточные углы $C_1, C_2 \dots$, лежащие против промежуточных сторон $c_1, c_2, c_3 \dots$.

Приступая к уравниванию, необходимо проверить журналы измерения углов и базисных сторон. Составляют сеть микротриангуляции и исходные данные записывают в таблицу (табл. 88).

Рис. 96. Схема сети микротриангуляции

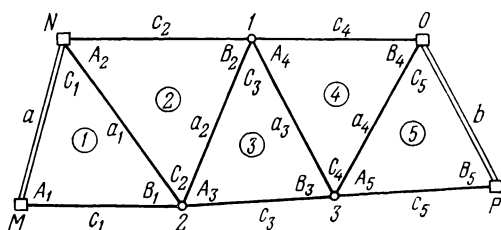


Таблица 88

| Обозначение вершины | Обозначение угла | Значение измеренного угла | $\frac{w_i}{3}$ | $\frac{w_\alpha}{s}$ | Исправленный угол | \sin угла | Длина стороны, м |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|----------------------|-------------------|-------------|------------------|
| 2 N M | B_1 C_1 A_1 | 47°13,1' | −0,2 | +0,1 | 47°13,0' | 0,73 392 | 39,94 |
| | | 42 18,9 | −0,2 | −0,2 | 42 18,5 | 0,67 312 | 36,64 |
| | | 90 28,5 | −0,1 | +0,1 | 90 28,5 | 0,99 998 | 54,42 |
| | | 180 00,5 | | | 180 00,0 | | 54,426 |
| 1 2 N | B_2 C_2 A_2 | 39 13,5 | +0,3 | −0,1 | 39 13,7 | 0,63 242 | 54,42 |
| | | 47 52,3 | +0,3 | +0,2 | 47 52,8 | 0,74 175 | 63,84 |
| | | 92 53,2 | +0,4 | −0,1 | 92 53,5 | 0,99 878 | 85,96 |
| | | 179 59,0 | | | 180 00,0 | | 86,072 |
| 3 1 2 | B_3 C_3 A_3 | 45 14,0 | +0,1 | +0,1 | 45 14,2 | 0,71 002 | 85,96 |
| | | 43 19,0 | +0,1 | −0,2 | 43 18,9 | 0,68 601 | 83,05 |
| | | 91 26,7 | +0,1 | +0,1 | 91 26,9 | 0,99 968 | 121,02 |
| | | 179,59,7 | | | 180 00,0 | | 121,07 |
| O 3 1 | B_4 C_4 A_4 | 53 37,9 | +0,4 | −0,1 | 53 38,2 | 0,80 526 | 121,02 |
| | | 49 27,9 | +0,4 | +0,2 | 49 28,5 | 0,76 012 | 114,26 |
| | | 76 53,0 | +0,4 | −0,1 | 76 53,3 | 0,97 393 | 146,40 |
| | | 179 58,8 | | | 180 00,0 | | 150,315 |
| P O 3 | B_5 C_5 A_5 | 61 44,0 | −0,3 | +0,1 | 61 43,8 | 0,88 072 | 146,40 |
| | | 60 03,3 | −0,4 | −0,2 | 60 02,7 | 0,86 640 | 144,03 |
| | | 58 13,7 | −0,3 | +0,1 | 58 13,5 | 0,85 011 | 141,34 |
| | | 180 01,0 | | | 180 00,0 | | 166,24 |

Сеть микротриангуляции уравнивают в такой последовательности:

1. Подсчитывают сумму углов в каждом треугольнике и определяют его угловую невязку w_i .

2. Полученную невязку w_i с обратным знаком распределяют поровну в углы.

3. Подсчитывают азимутальную невязку w_α по формуле

$$w_\alpha = \alpha_{MN} - C_1 + C_2 - C_3 + C_4 - C_5 - \alpha_{PO}$$

и распределяют ее поровну с соответствующим знаком в углы C_1, C_2, C_3 и т. д.

4. В связующие углы с противоположным знаком вводят половину этой поправки.

5. Сумму поправок за невязку в треугольнике $w_i/3$ и поправку за азимутальную невязку w_α/s вводят в углы треугольников и находят исправленные углы.

6. Пользуясь исправленными углами, решают треугольники, получают невязку несмыкания и исправляют значения сторон $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$.

7. Вычисление заканчивают уравниванием двух одиночных ходов по промежуточным сторонам c_1, c_2, c_3, \dots , которые при правильно выполненной работе должны давать примерно одинаковую невязку.

8. Если невязка допустима, ее распределяют пропорционально сторонам хода.

§ 32. УРАВНИВАНИЕ НИВЕЛИРНЫХ ХОДОВ

Уравнивание нивелирных ходов производится обычно между двумя исходными реперами путем распределения невязки на каждое превышение пропорционально числу станций.

Когда невязка в нивелирной сети близка к предельным или ее нельзя уравнивать двумя порядками, вычисления выполняют методом эквивалентной замены, методом узлов или полигонов.

§ 33. ПЕРЕХОД ОТ ОДНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ К ДРУГОЙ

Для упрощения вычислений при переносе в натуру красных линий теодолитные ходы ориентируют вдоль фасадов зданий, так, чтобы ось одной из координат была бы им параллельна.

Разность координат по этой оси между точками, полученными при помощи одинаковых по длине перпендикуляров к зданию, будет равна длине этого здания, что значительно упрощает перенос проекта в натуру, так как значительно облегчает связанные с этим вычисления.

Пусть

$$\Delta x = s \cos \alpha; \quad \Delta y = s \sin \alpha.$$

Если повернуть систему на некоторый угол ψ , то приращения координат вычисляются по формулам

$$\begin{aligned}\Delta x' &= s \cos(\alpha + \psi) = s(\cos \alpha \cos \psi - \sin \alpha \sin \psi) = \\ &= \Delta x \cos \psi - \Delta y \sin \psi;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta y' &= s \sin(\alpha + \psi) = s(\sin \alpha \cos \psi + \cos \alpha \sin \psi) = \\ &= \Delta y \cos \psi + \Delta x \sin \psi.\end{aligned}$$

Координаты любой точки в старой системе можно рассматривать как $x = x_0 + \Delta x$; $y = y_0 + \Delta y$, следовательно,

$$x' = x_0 + \Delta x \cos \psi - \Delta y \sin \psi;$$

$$y' = y_0 + \Delta y \cos \psi + \Delta x \sin \psi.$$

Эти формулы дают возможность переходить от одной системы координат к другой, не прибегая к вычислению приращений с новыми дирекционными углами, а пользуясь исключительно двумя значениями — коэффициентами $\cos \psi$ и $\sin \psi$.

ГЛАВА 7

НАЗЕМНЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ СЪЕМКИ В МАСШТАБАХ 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500

§ 34. ВЫБОР МАСШТАБА И ВЫСОТЫ СЕЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ПЛАНОВ И КАРТ ПРИ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМКАХ

Масштабы и высоты сечения рельефа топографических съемок населенного пункта выбираются в соответствии с основными положениями, которые предполагают:

создание топографических карт и планов (цифровых планов) населенных пунктов в масштабах 1 : 10 000, 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500 для топографического обеспечения работки проектов планировки и застройки, эксплуатации объектов коммунального хозяйства, проведения различных инженерных мероприятий и решения других инженерных задач;

использование топографических карт и планов для получения информации о топографических условиях местности, для получения метрической информации, для решения обзорных и графических задач и графического изображения проектных решений;

выполнение топографических съемок на всей территории населенного пункта в процессе картографирования, а также отдельных участков в составе инженерно-геодезических изысканий и исполнительных съемок.

Топографические съемки территории населенного пункта выполняются не более двух раз: одна съемка обеспечивает

одновременное или последовательное составление топографических планов и карт в масштабах 1:2000 — 1:10 000, другая — в масштабах 1:500 и 1:1000. Во всех случаях, где это возможно и экономически целесообразно, топографические карты и планы составляются с использованием топографических планов более крупных масштабов.

Выбору масштабов и высот сечения рельефа топографических съемок отдельных участков предшествует определение: назначения топографических карт или планов; характера существующей застройки; характера рельефа; технико-экономических перспектив использования картографируемой территории.

Масштаб топографической съемки устанавливается в зависимости от масштаба топографического плана или карты, создаваемых по результатам съемки, и типа картографируемой территории.

Топографические карты и планы на территории населенных пунктов в зависимости от этапов разработки проектов планировки и застройки создаются в масштабах:

для крупнейших городов — 1:500, 1:2000, 1:5000 и 1:10 000;

для крупных, больших и средних городов — 1:500, 1:1000, 1:2000 и 1:5000;

для остальных населенных пунктов — 1:500, 1:1000, 1:2000 и в случае необходимости 1:5000.

При съемках отдельных участков для определенных целей масштаб топографической карты или плана устанавливается по назначению:

| Проекты или отдельные проектные решения | Масштаб карты или плана |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Технико-экономические основы (ТЭО) развития крупнейшего города | 1 : 10 000 |
| Генеральный план крупнейшего города | 1 : 10 000 |
| Проекты размещения строительства первой очереди крупнейшего города | 1 : 10 000 |
| Схемы размещения проектируемых жилых или промышленных районов в системе крупнейшего города | 1 : 10 000 |
| Проекты планировки сложных узлов пригородной зоны | 1 : 10 000 |
| Обзорные планы инженерных сооружений значительной протяженности, инженерных мероприятий и др. | 1 : 10 000 |
| Генеральный план крупного, большого или среднего города | 1 : 5000 |
| Проекты размещения строительства первой очереди крупного, большого или среднего города | 1 : 5000 |
| Проекты планировки промышленных районов с территорией, превышающей 1000 га | 1 : 5000 |
| Проекты наиболее сложных транспортных развязок при разработке генерального плана крупнейшего города | 1 : 5000 |
| Схемы размещения проектируемых жилых или промышленных районов в системе крупного, среднего или малого города | 1 : 5000 |
| Проекты наиболее сложных узлов при решении планировки пригородной зоны | 1 : 5000 |
| Обзорные планы проектов инженерных сооружений, инженерных мероприятий и др. | 1 : 2000 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Генеральный план малого города, поселка городского типа и сельского населенного пункта | 1 : 2000 |
| Проект детальной планировки и эскизы застройки | 1 : 2000 |
| Проект планировки городских промышленных районов | 1 : 2000 |
| Проекты наиболее сложных транспортных развязок в городах на стадии разработки генерального плана | 1 : 2000 |
| Технические проекты и рабочие чертежи застройки для незастроенной территории или территории с одноэтажной застройкой | 1 : 1000 |
| Технические проекты и рабочие чертежи застройки для территории с многоэтажной застройкой | 1 : 500 |

Тип картографируемой территории определяется характером существующей застройки и перспективами дальнейшего ее использования: I тип — территория с многоэтажной застройкой или территория крупнейшего города; II тип — территория с одноэтажной застройкой или незастроенная территория.

Масштаб топографической съемки населенного пункта устанавливается в зависимости от картографируемой территории:

| Масштаб плана или карты | Тип картографируемой территории | |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------|----------|
| | I | II |
| 1 : 500 | 1 : 500 | — |
| 1 : 1000 | — | 1 : 1000 |
| 1 : 2000 | 1 : 2000 | — |
| 1 : 5000 | Картосоставление, обновление или топографическая съемка | 1 : 5000 |
| 1 : 10 000 | | — |

При необходимости разрешается для рабочих чертежей застройки на территории типа II планы масштаба 1 : 1000 увеличивать до масштаба 1 : 500, для составления проекта детальной планировки территории типа II планы масштаба 1 : 5000 увеличивать до масштаба 1 : 2000.

Для проектов или отдельных проектных решений, перечисленных выше, разрешается сначала выполнять топографическую съемку в масштабе 1 : 2000 или 1 : 5000 и в дальнейшем топографическую съемку в масштабе 1 : 500 или 1 : 1000.

Специализированные топографические съемки в населенных пунктах для решения конкретных задач выполняются по требованиям, согласованным с ГУГК.

Во всех случаях технология картосоставительских и издательских работ должна соответствовать тому масштабу, в котором топографический план (карта) составляется и издается.

Высота сечения рельефа устанавливается в зависимости от масштаба топографического плана или карты и максимального доминирующего угла наклона местности (табл. 89).

Максимальный доминирующий угол определяют следующим образом. На имеющихся топографических картах или планах определяют не менее 100 углов наклона местности, равномерно распределяя их, и составляют ряд распределения углов по значению. Максимальному доминирующему углу

Таблица 89

| Характер рельефа | Высота сечения рельефа, м для масштабов | | | |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|----------|----------|------------|
| | 1 : 500— — 1 : 1000 | 1 : 2000 | 1 : 5000 | 1 : 10 000 |
| Равнинный с углами наклона до 2° | 0,5 | 0,5 (1) | 1 (0,5) | 1 (2) |
| Всхолмленный с углами наклона до 4° | 0,5 | 1 | 2 (1) | 2 (2,5) |
| Пересеченный с углами наклона до 6° | 0,5 | 2 (1) | 2 (5) | 5 (2,5) |
| Горный и предгорный с углами наклона более 6° | 1 | 2 | 5 | 5 |

Примечание. В скобках приводятся возможные (неосновные) высоты сечения допустимые при особых условиях, оговоренных техническими проектами (программами)

наклона соответствует значение угла в ряду на границе, отсекающей 10 % наибольших углов наклона.

Если на значительных по площади участках съемочной трапедии доминирующие углы наклона местности различаются на 2° и более, то разрешается при необходимости для изображения рельефа горизонталями применять два сечения.

При съемке в масштабах 1:500—1:1000 спланированных территорий и участков с твердым покрытием с максимальными доминирующими углами менее 2° допускается устанавливать высоту сечения рельефа 0,25 м.

Полугоризонтالي обязательно проводят на участках, где расстояние между основными горизонталями превышает 2,5 см на плане.

При составлении топографических планов и карт с использованием планов и материалов съемок более крупных масштабов высота сечения рельефа может быть равна высоте сечения исходного топографического материала. При этом необходимо, чтобы заложение горизонталей, соответствующее максимальному доминирующему углу, было не менее 2 мм.

Согласно требованиям СН 225—79 масштабы и высоты сечения рельефа топографических съемок участков строительства должны устанавливаться в зависимости от типов проектируемых зданий и сооружений:

| Участки топографических съемок | Масштаб съемки | Высота сечения рельефа, м |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Участки строительства (реконструкции, расширения зданий и сооружений в пределах промышленной площадки) | 1 : 2000; 1 : 1000 | 2; 1; 0,5 |
| Участки строительства ограждающих дамб (плотин), накопителей промышленных отходов и стоков . . . | 1 : 2000; 1 : 1000 | 2; 1; 0,5 |
| Участки строительства сооружений водопровода на базе подземных и поверхностных вод | 1 : 2000; 1 : 1000; 1 : 500 | 1; 0,5 |

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------|
| Участки строительства канализации: очистных сооружений, насосных и воздухоудных станций, полей фильтрации и орошения | 1 : 2000; 1 : 1000; 1 : 500 | 1; 0,5 |
| Трассы внеплощадных дорог и железнодорожных путей, трубопроводов, водоснабжения, канализации, промышленных стоков и др.): полосы местности вдоль трасс, переходы трасс через естественные препятствия (водостоки, водоемы и др.), пересечения и сближения трасс с транспортными и другими коммуникациями и сооружениями | 1 : 5000; 1 : 2000; 1 : 1000; 1 : 500 | 2; 1; 0,5 |

Более крупные масштабы топографических съемок следует устанавливать при сложном рельефе (пересеченном, горном), при проектировании крупных и сложных объектов, а также трасс коммуникаций на застроенных территориях.

Высоты сечения рельефа необходимо устанавливать также с учетом характеристики рельефа местности и масштаба съемки.

Топографическая съемка в масштабе 1 : 500 производится, как правило, на застроенных территориях; на незастроенных территориях допускается выполнять съемку в масштабе 1 : 500 в случаях, предусмотренных СНиП 11-9—78 (Прил. 1).

Топографическую съемку контуров застройки, подлежащей сносу, допускается выполнять с меньшей детальностью, чем для съемки контуров капитальной застройки в соответствующем масштабе.

При наличии топографических планов в требуемых масштабах следует выполнять их полевое обследование. В случаях несоответствия содержания этих планов современному состоянию ситуации и рельефа местности они должны обновляться.

§ 35. ЭЛЕМЕНТЫ СИТУАЦИИ, ПОДЛЕЖАЩИЕ СЪЕМКЕ

Съемке и отображению на планах в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 подлежат все элементы ситуации существующей застройки и благоустройства, подземных и наземных сетей и сооружений, выражающиеся в масштабе плана и предусмотренные для указанных масштабов действующими условными знаками. К ним относятся следующие:

Опорная геодезическая сеть (пункты триангуляции, трилатерации, полигонометрии, реперы нивелирования и точки теодолитных ходов и строительной сетки, если последние закреплены на местности по типу полигонометрических знаков) наносится на планы по координатам: на незастроенных землях — все пункты сети города с их высотами, на застроенных территориях эти данные наносятся и подписываются в зависимости от масштаба плана.

Границы кварталов застройки, все здания и сооружения, жилые и нежилые, с указанием их этажности, назначения, материала стен, с архитектурными выступами, уступами и изломами фасадной линии, если величина их более 0,5 мм на плане, номера домов, а для масштаба 1:5000 только угловых домов в кварталах, границы владений, ситуация внутри квартала (сады, огороды, отдельно стоящие деревья и др.), ситуация на улицах и площадях, памятники, трамвайные и рельсовые пути, трамвайные и троллейбусные мачты, фонари, покрытия, канавы, лотки, решетки дождеприемников, водостока, выходы подземных сетей, люки смотровых колодцев водопровода, канализации, теплосети, газа, водостока, телеграфной сети и другие выходы подземных инженерных сетей снимаются и показываются в масштабе 1:2000—1:500, а в масштабе 1:5000 — на участках, используемых для сельскохозяйственного строительства.

Пути сообщения: железные, шоссейные, грунтовые дороги, трамвайные пути и сооружения на них (станции, будки, мосты и др.).

Линии электропередач и связи, телефон, телеграф и электросети; снимают и показывают в масштабе 1:5000 только опоры и поворотные столбы этих линий.

Водная сеть: береговая линия морей, озер, рек, ручьев, каналов с местными предметами и застройкой при ней. На плане через каждые 15 см подписывают отметки урезов воды рек и ручьев с указанием даты их определения. Съемку ручьев и канав, если ширина их на плане больше 3 мм, независимо от масштабов съемок ведут по двум сторонам, при меньшей ширине на плане — только по одной стороне.

Границы города, полосы отвода железных, шоссейных и грунтовых дорог, территорий энергетических установок общего пользования и высоковольтных передач, территорий радиостанций, защитных зон и зон санитарной охраны водопровода в пределах городской черты, существующих промышленных предприятий и др. снимают в том случае, если они закреплены на местности (заборами, канавами, изгородями и др.); при съемках в масштабах 1:500—1:2000 снимают километровые и пикетные столбы, а в масштабе 1:5000 — только километровые.

Линии подземных коммуникаций: водопровод, канализация, газификация, теплосети, электрокабели и др.

Отдельно стоящие деревья и деревья толщиной свыше 5 см, расположенные на проездах и площадях, внутри кварталов и дворов, в аллеях, скверах и садах, наносят на планы, за исключением фруктовых садов, где в границах сада фруктовые деревья и участки, занятые ягодниками и виноградниками, показывают условными знаками.

Контуры и характеристики угодий, лес, кустарник, выгон, луг, питомник и др.; на плане показывают породу леса, сред-

ную высоту деревьев, толщину на высоте груди; выделяют контуры вырубок, гарей, поляны сельскохозяйственных угодий, находящихся среди леса; наименьшую площадь участков, ценных в хозяйственном отношении, величиной 20 мм², а не имеющих хозяйственного значения — 56 мм² на плане.

При съемке ограждений их подразделяют на металлические, каменные, глинобитные, деревянные, растительные и т. д.; для фундаментальных, кирпичных и бетонных заборов указывают толщину, если она выражается в масштабе плана.

При съемке болот определяют их глубину, проходимость и характер растительного покрова.

При съемке территорий, где имеют место карстовые явления, показывают все западины («блюдца»), а при съемке оползневых территорий — «пьяный лес» и рельеф. Оползневые участки оконтуривают, дают отметки верха и низа оползня. Направление его сдвига указывают стрелкой и отмечают места выхода грунтовых вод.

Рельеф местности изображают горизонталями и отметками.

Условные знаки дополняют пояснительными надписями на планах.

На территориях городов и поселков не подлежат съемке все временные и переносные сооружения на проездах и внутри дворов (ларьки, палатки, киоски, изгороди и др.), а также временные сооружения и заборы на строительных площадках.

При съемке в масштабах 1:5000 застроенных территорий не снимают границы владений и заборы внутри застроенных кварталов, индивидуальные усадебные огороды, палисадники за красной линией кварталов, тротуары, выходы колодцев подземных сооружений (если нет задания на их съемку), линии связи и электролинии низкого напряжения, стенные реперы и нежилые строения индивидуального пользования.

§ 36. ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СЪЕМКА ЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Наиболее сложными работами являются съемки застроенных территорий города в масштабах 1:500, 1:1000, 1:2000. Большое число предметов местности и элементов ситуации, зеленых насаждений, выходов подземных сетей, сложная конфигурация архитектурных деталей, требуемая высокая точность нанесения их на план для проектных работ заставляют выполнять съемочные работы с большой тщательностью и надежным контролем.

Съемка застроенных территорий в масштабах 1:500, 1:1000 и 1:2000, как правило, делится на две части — на съемку фасадов и проездов и внутриквартальную съемку.

Съемка застроенных территорий производится методами: перпендикуляров (абсцисс и ординат), линейных засечек,

полярным, створов и комбинированным (т. е. мензулой в сочетании с теодолитом и обмером габаритов зданий).

При выполнении работ по горизонтальной съемке застроенных территорий необходимо вести зарисовку в абрисе (рис. 97) всех контуров и предметов местности, подлежащих съемке, обмеров фасадных линий по проезду и контуров всех строений внутри кварталов.

Абрисы рекомендуется изготовлять размером 13×33 см. Они должны представлять собой тетради с твердым переплетом или иметь мягкий переплет при наличии специальных корочек. Бумага для абриса должна быть плотная и хорошего качества. Количество листов должно быть около десяти.

На титульном листе абриса указывают наименование организации, производящей съемку, номер абриса, район и год производства работ, фамилию исполнителя, масштаб съемки и адрес, по которому следует возвратить абрис в случае его утери.

На первой странице абриса помещается оглавление с наименованием улиц, переулков, частей улиц или населенных пунктов с указанием страниц.

При ведении абриса руководствуются следующими правилами:

1. Зарисовку в абрисе производят простым карандашом (в летнее время карандашом 2Т, в осеннее и зимнее время — Т, применение химических карандашей не допускается).

2. Съёмочный ход наносят в абрисе одной или двумя линиями, расположенными друг от друга на расстоянии около 1 см.

3. Все снимаемые контуры и предметы местности зарисовывают в абрис в произвольном масштабе, придерживаясь принятых для составления плана условных знаков.

4. Записи цифр должны быть легко читаемы, прямые линии вычерчивают по линейке, кривые — тщательно от руки. В контурах ситуации делают пояснительные надписи.

5. При наличии предметов, назначение которых съёмщику неизвестно, в абрисе дают описание или зарисовку их внешнего вида.

6. При ведении абриса неизбежны зарисовки выносок отдельных деталей, которые необходимо делать так, чтобы при составлении плана не возникало сомнений, к какому месту относится вынесенная деталь.

7. Ординаты и засечки прочерчивают пунктиром или тонкими сплошными линиями вправо от правой съёмочной линии и влево от левой (при условии, если съёмочный ход нанесен двумя линиями), абсциссы подписывают между двумя линиями съёмочного хода и ординаты — в середине их.

8. При нанесении в абрисе съёмочного хода в одну линию абсциссы подписывают с противоположной стороны у основания перпендикуляров и засечек.

промеры — тонкими. При зарисовке зданий сокращенно указывают этажность, материал стен и номера домов.

Метод перпендикуляров. Мерную 20-метровую ленту укладывают по линии съёмочного теодолитного хода между створными точками, которые намечают теодолитом через 80 м для масштаба 1:2000, 60 м — для масштаба 1:1000 и 40 м — для масштаба 1:500.

Когда при измерении линий применяют 50-метровые стальные рулетки (ленты), расстояние между створными точками соответственно увеличивают: 100 м при съёмке в масштабе 1:2000 и 50 м при съёмке в масштабах 1:1000 и 1:500. Затем на снимаемой точке строят перпендикуляр и при помощи стальной рулетки измеряют его длину, а по ленте делают отсчет, определяющий расстояние от основания перпендикуляра до начальной точки теодолитного хода.

Мерную ленту следует укладывать в створе линии с помощью теодолита. Ошибка уклонения от створа в этом случае не превысит 1,5—2 см, ошибка отсчета по ленте близка к 1—2 см. Ошибка построения перпендикуляра на глаз равна 30', тогда ошибка Δl в длине перпендикуляра, построенного на глаз, определяется по формуле

$$\Delta l = \frac{1}{2} \sin^2 30' \cdot l = \frac{1}{25\,000} l.$$

Ошибку в положении основания перпендикуляра съёмочной линии, построенного на глаз, определяют по формуле

$$\Delta a = l \sin 30' = 0,01l.$$

Отсюда видно, что ошибкой в определении длины перпендикуляра во всех случаях можно пренебречь. Ошибку в отсчитывании по ленте основания перпендикуляра следует учитывать, поскольку она зависит от длины перпендикуляра. Теодолитный съёмочный ход следует прокладывать ближе к фасадам проездов и внутриквартальной ситуации. Чтобы выдерживать при съёмке точность масштаба, длина перпендикуляров должна быть не более 8 м при съёмке в масштабе 1:2000, 6 м — в масштабе 1:1000 и 4 м — в масштабе 1:500. При увеличении длины перпендикуляров необходимо делать засечки, величина которых не должна превышать 20—50 м. Отсчеты по ленте берут с таким расчетом, чтобы длины засечек с отрезками между отсчетами по ленте образовывали треугольник, близкий к равностороннему.

Для уточнения отсчета по ленте, определяющего основание перпендикуляра, необходимо начальный конец рулетки приложить к снимаемой точке контура и рулеткой у ленты описать дугу, при этом наименьший отсчет определит длину перпендикуляра и его основание.

При съёмке ситуации методом перпендикуляров необходимо учитывать, что очень короткие перпендикуляры создают боль-

Таблица 90

| Масштаб съемки при измерении расстояний | Предельное расстояние до точки ситуации, м | |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------|
| | твёрдой | нетвёрдой |
| Лентой | | |
| 1 : 500 | 120 | 150 |
| 1 : 1000 | 180 | 200 |
| 1 : 2000 | 250 | 300 |
| Нитяным дальномером | | |
| 1 : 500 | 40 | 80 |
| 1 : 1000 | 60 | 100 |
| 1 : 1000 | 100 | 150 |
| Оптическим дальномером | | |
| 1 : 500 | 80 | 120 |
| 1 : 1000 | 120 | 180 |
| 1 : 2000 | 180 | 250 |

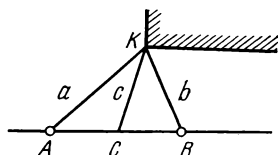


Рис. 98. Схема съемки ситуации способом линейных засечек

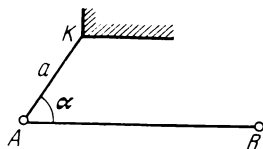


Рис. 99. Схема съемки ситуации способом полярных координат

шое неудобство при накладке планов, так как перпендикуляр длиной 0,5 м на плане в масштабе 1 : 500 будет выражаться величиной в 1 мм.

Когда перпендикуляр пересекает контуры ситуации, следует отсчитывать точки пересечения от нуля рулетки по направлению к ленте.

Перпендикуляры, определяющие углы кварталов, подкрепляются не менее чем двумя линейными засечками.

Для контроля, осуществляемого при составлении плана, необходимо обмерить габариты всех строений; обмеры по фасадной линии и обмеры габаритов зданий тесьмяной рулеткой не разрешаются.

Съемка точек ситуации способом перпендикуляров позволяет вычислить координаты оснований перпендикуляров и координаты углов зданий и кварталов.

При методе перпендикуляров может быть применен эккер; тогда длину перпендикуляров разрешается увеличивать до 20 м при съемке в масштабе 1 : 500, до 40 м — в масштабе 1 : 1000 и до 60 м — в масштабе 1 : 2000.

Способ линейных засечек (рис. 98). Ленту укладывают в створе съемочной линии по точкам, намеченным при помощи теодолита.

От точек *A* и *B*, которые следует брать от целых метров ленты, измеряют рулеткой расстояния *a* и *b* до снимаемой точки контура *K*. Отсчеты по ленте выбирают таким образом, чтобы отрезок, образованный ими на ленте, составлял с линиями *a* и *b* треугольник, близкий к равностороннему. Пересечение отрезков *a* и *b* определит положение точки *K* на плане.

Углы между смежными направлениями засечек у определяемой точки ситуации должны быть не менее 30° и не более 120°.

Определение положения точки при помощи двух засечек бесконтрольно. Для контроля делают третий промер c . Длина засечек измеряется стальной рулеткой и не должна превышать 20—50 м.

Способ полярных координат. Этот способ применяется для съемки точек ситуации, удаленных от съемочного хода в пределах расстояний, указанных в табл. 90.

На точке съемочного теодолитного хода или на створных точках линии этого хода устанавливают теодолит, которым измеряют угол α (рис. 99), расстояние точки K измеряют лентой, стальной рулеткой, нитяным или оптическим дальномером.

При съемке точек ситуации способом полярных координат углы измеряют до всех снимаемых точек ситуации при одном круге. Перед измерением направлений нули лимба и алидады совмещают и, закрепив алидаду, наводят трубу теодолита на пункт теодолитного хода; направление на этот пункт принимают за начальное. В абрисе на указанном направлении делают соответствующую надпись. Закрепив лимб и вращая алидаду по ходу часовой стрелки, последовательно наводят трубу на снимаемые точки ситуации, производя отсчеты по горизонтальному кругу теодолита и делая соответствующие записи в журнале.

Последнее наведение делают снова на точку теодолитного хода, т. е. на начальное направление. Отсчет не должен отличаться от нуля более чем на $2'$, в противном случае измерение направлений необходимо повторить.

При применении способа полярных координат в масштабах 1:500 и 1:2000 предельные расстояния до точек и контуров ситуации приведены в табл. 90.

Для контроля необходимо измерять габариты строений. Построение контуров на плане производят транспортиром, если полярные расстояния до твердых контуров не превышают величин:

| Масштаб съемки | Предельное расстояние, м |
|----------------|--------------------------|
| 1 : 500 | 30 |
| 1 : 1000 | 60 |
| 1 : 2000 | 120 |

Способ полярных координат может быть использован для съемки второстепенной ситуации (бордюрный камень, границы угодий, деревья, кусты и т. д.). С точек, полученных данным способом, можно вести съемку, используя способ перпендикуляров и способ засечек.

Способ створов заключается в следующем. Створ стены AB здания № 3 выносят на стену здания № 7 (рис. 100), получают точку C . Для контроля измеряют расстояние от угла D здания № 7 до точки C . От линии AB производят съемку здания № 5 методом перпендикуляров или засечек. Длина створа не должна быть более 60 м.

Способ створов широко применяется при съемке внутриквартальной ситуации, а также при полевом контроле составленных планов.

Комбинированный способ заключается в следующем. Предварительно на планшет по координатам наносят углы кварталов, изломы фасадных линий и углы отдельных капитальных зданий. Съемка деталей фасадов зданий, проездов и внутриквартальной ситуации производится при помощи мензулы и кипрегеля с точек съемочного обоснования, створных точек и с пунктов полигонометрии.

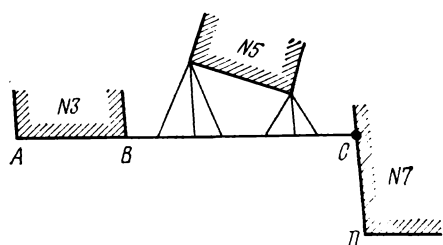


Рис. 100. Схема съемки ситуации способом створов

Применением этого способа создается наглядность планов, но необходимость ведения абриса остается.

Определение переходных точек при съемке застроенной территории не разрешается.

Особое внимание при комбинированном способе съемки следует обращать на центрирование и ориентирование мензулы. Центрирование мензулы должно производиться с точностью 5 см при съемке в масштабах 1:500 и 1:1000, 10 см — при съемке в масштабе 1:2000 и 25 см — в масштабе 1:5000.

Для более точного ориентирования мензулы по коротким линиям съемочного обоснования на продолжении этих линий вычисляют координаты вспомогательных точек; такая ориентировочная линия должна быть не менее 10 см на плане.

Съемка застроенных территорий в масштабе 1:5000 производится мензулой с обмером зданий и сооружений с одновременным составлением плана. Расстояние до снимаемой точки ситуации измеряют лентой, стальной рулеткой, нитяным и оптическим дальномерами.

При комбинированном способе одновременно со съемкой ситуации производят съемку рельефа, что является преимуществом перед другими способами съемки.

Особенности съемки отдельных элементов ситуации застроенной территории. При съемке колодцев подземных сооружений промеры делают до центров колодцев, а у люков, имеющих квадратную или прямоугольную форму, снимают два угла и измеряют ширину. При внутриквартальной съемке колодцы и отдельно стоящие предметы (столбы) должны быть связаны между собой промерами.

При съемке столбов (телеграфных, телефонных, осветительных и др.) и деревьев промер делают до середины контура, к отсчету по рулетке прибавляют половину диаметра столба или дерева.

При съемке нежилых деревянных строений, не имеющих ценности (самodelьные сараи), снимают только угловые точки; промежуточные незначительные изломы размером до 1 м съемке не подлежат. Деревянные заборы снимают по изломам без указания деревянных столбов. При съемке деревянных ворот и калиток обмеры делают по внешним крайним точкам. Каменные столбы ворот и калиток подлежат съемке. При выполнении съемок в лесных массивах, парках и садах рекомендуется каждое дерево очерчивать мелом вокруг ствола во избежание пропусков. Съемка деревьев, выполненная полярным способом, контролируется дополнительными промерами. При съемке деревьев способом перпендикуляров выгодно применять эккер, прикрепленный к специальной вешке на уровне глаз наблюдателя.

Камеральные работы при составлении планов застроенных территорий. Работа начинается с построения координатных сеток на планшетах, затем по координатам наносят точки съемочного обоснования, вычерчивают проезды и внутриквартальную ситуацию по данным абриса. Необходима корректура составления плана.

Планы городских проездов и кварталов составляют на плотной чертежной бумаге, наклеенной на фанеру или алюминий размером 60×60 см с полезной площадью 50×50 см.

Разграфка планов. Планы составляют в условной системе координат, согласованной с ГУГК. За основу прямоугольной разграфки планов города принимают планшеты в масштабе 1:5000 с размером рамок 40×40 см и обозначают их арабскими цифрами (рис. 101). Порядок нумерации планшетов устанавливает главный архитектор города.

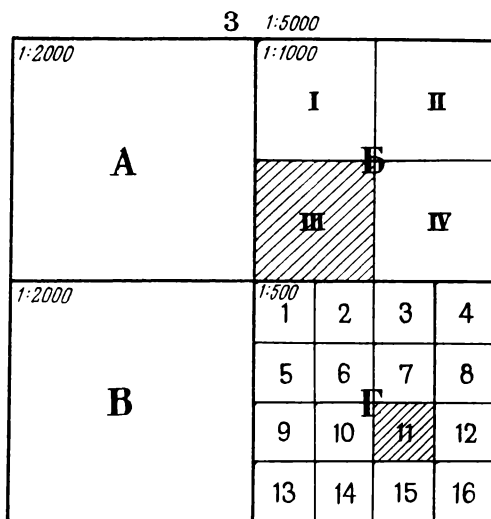
Планшет масштаба 1:5000 делят на четыре части, обозначая их заглавными буквами А, Б, В и Г, получают планшеты масштаба 1:2000. Для получения плана масштаба 1:1000 планшет масштаба 1:2000 делят на четыре части и обозначают римскими цифрами I, II, III и IV. Планшет масштаба 1:2000 для получения плана 1:500 делят на 16 частей, которые обозначают арабскими цифрами от 1 до 16.

Номенклатура планшета масштаба 1:2000: 3-Б; номенклатура планшета масштаба 1:1000: 3-Б-III; масштаба 1:500: 3-Г-11.

При такой разграфке размер рамок и полезная площадь планшетов будет для масштаба 1:5000 40×40 см (в натуре 4 км²), для масштаба 1:2000—50×50 см (1 км²), для масштаба 1:1000—50×50 см (0,25 км²) и для масштаба 1:500—50×50 см (0,0625 км²).

Для нанесения на планшеты пунктов съемочного обоснования по их прямоугольным координатам необходимо построить координатную сетку, состоящую из квадратов размером 10×10 см, которую строят на координатографе или при помощи линейки Ф. В. Дробышева.

Рис. 101. Разграфка планов в городе



Нанесение по координатам точек съемочного обоснования, составление планов проездов и внутриквартальной ситуации по полевым обрисам. Перед нанесением точек съемочного обоснования на план необходимо проверить сетку координат, измеряя стороны квадратов и диагонали, расхождения не должны превышать 0,2 мм. После этого подписывают сетку координат у вершин кварталов, расположенных по рамкам планшета. Затем определяют квадрат сетки, в котором находится точка теодолитного хода. На противоположных сторонах этого квадрата откладывают при помощи поперечного масштаба значения разностей координат пункта и соответствующей линии координатной сетки. При помощи масштабной линейки наносят отрезки прямых линий (расположенных вблизи точки теодолитного хода), соединяющих точки, отмеченные циркулем. Пересечение этих взаимно перпендикулярных прямых и определяет точку теодолитного хода.

Правильность нанесения двух соседних точек съемочного обоснования проверяют измерением расстояния между ними при помощи циркуля и поперечного масштаба. Эти расстояния должны совпадать с горизонтальными расстояниями линий, записанными в ведомости вычисления координат. В противном случае нанесение точек следует проверить. Если и в этом случае расстояние, записанное в ведомости, не совпадает с измеренным, следует проверить вычисления.

Когда две соседние точки попадают на разные планшеты, их наносят за рамкой планшета или вычисляют координаты вспомогательной точки.

Пример. Вычислить координаты пересечения рамки планшета с линией теодолитного хода.

Даны координаты смежных точек A и B : $x_A=347,15$; $y_A=581,27$; $x_B=431,87$; $y_B=618,30$.

Требуется определить координаты вспомогательной точки C пересечения линии теодолитного хода с рамкой планшета $y_0=600,00$.

Определяют величину

$$k = \frac{y_B - y_0}{y_B - y_A} = \frac{618,30 - 600,00}{-618,30 - 581,27} = \frac{18,30}{37,03} = 0,4942.$$

Находят приращение координат и умножают на k : $\Delta x = x_B - x_A = +84,72$; $k\Delta x = 41,87$.

Координаты точки пересечения: $x_0 = x_B - k\Delta x = 390,00$; $y = 600,00$.

Координаты точки пересечения теодолитного хода с рамкой планшета можно получить по формуле

$$x_0 = x_A + \frac{x_B - x_A}{y_B - y_A} (y_0 - y_A);$$

$$x_0 = 347,15 + \frac{84,72}{37,03} \cdot 18,73 = 390,00.$$

Нанесение контуров ситуации в застроенной части города или поселка начинают с нанесения проездов.

Планы проезда составляют в следующем порядке.

1. На плане на съемочной линии откладывают расстояния (отсчеты по ленте) до оснований перпендикуляров и засечек, которые подписывают карандашом.

2. Наносят точки контуров и измерением расстояний между ними контролируют правильность их нанесения, сравнивая эти расстояния с измеренными. Расхождения между промером, взятым с плана, и измерением на местности не должны превышать точности масштаба, в противном случае точки необходимо проверить.

3. При построении на плане контура здания необходимо сначала построить все углы, определенные способом перпендикуляров или засечек, а затем углы и другие точки ситуации, полученные полярным способом. Если полярные расстояния до твердых контуров превышают предельные, то точки ситуации, полученные полярным способом, наносят по координатам.

4. Получив основной контур, приступают к построению второстепенных элементов (пристроек, входов и т. д.).

5. Построение ситуации, снятой висячими ходами, делают после того, как контур, снятый основными ходами, хорошо увязан.

6. Когда съемочная линия проходит через несколько планшетов, чтобы обеспечить сводку по рамкам, необходимо нанести ситуацию и за рамкой планшета, создавая перекрытие.

При составлении проездов на план выписывают высотные отметки с левой стороны от пикета, при вычерчивании плана или получении с него копии на восковке — справа от пикета. Такой порядок подписи отметок дает возможность при корректуре проверить правильность вычерченных тушью цифр.

Отметки колодцев, крышки которых находятся на разных уровнях с поверхностью земли, подписывают в виде дроби — в числителе отметку кольца колодца, в знаменателе — отметку поверхности. Отметку входа в здание дают кружком перед входом, а слева пишут отметку поверхности. Отметки площадки перед входом, порога и пола здания пишут внутри контура.

После нанесения планов проездов составляют внутриквартальную ситуацию. Одновременно с составлением внутриквартального плана наносят на план и выписывают также с левой стороны отметки пикетов. Выписанные на план отметки отмечают в нивелирном журнале.

После составления плана производится его корректура, в процессе которой проверяют:

- полноту и правильность заполнения журналов, абрисов, калек сводок по рамкам и т. д.;
- построение координатной сетки;
- нанесение точек съемочного обоснования;
- правильность составления застроенных территорий;
- сводки по рамкам;
- надписи.

При корректуре точек съемочного обоснования обращают внимание на правильность построения опорных зданий.

Проверяют надписи, характеризующие здания (каменное, деревянное, жилое и нежилое и др.), названия улиц, номера домов и т. д. Границы угодий, контуры болот, прудов, озер, рек должны иметь округлые очертания.

Одновременно с корректурой ситуации проверяют отметки пикетов, колодцев, урезов воды, входов. При корректуре рельефа проверяют интерполирование горизонталей, при этом учитывают только отметки поверхности земли.

Все замечания по плану записывают в корректурный лист и одновременно заполняют корректурную кальку. Места, подлежащие исправлению на планшете, обводят по кальке овалом, внутри которого ставят порядковый номер замечания. Указания об исправлении следует излагать кратко, четко и понятно. Границы участков, подлежащих исправлению, наносят на корректурную кальку. В процессе исправления замечаний исполнитель делает пометку в корректурном листе. Кроме камерального просмотра делают полевые контрольные измерения, которые должны удовлетворять следующим требованиям:

средние ошибки в положении на плане предметов и контуров местности с четкими очертаниями относительно ближайших точек съемочного обоснования не должны превышать

0,5 мм, а в горных и залесенных районах — 0,7 мм в масштабе плана;

на территориях с капитальной застройкой предельные ошибки взаимного положения точек на плане не должны превышать 0,4 мм в масштабе плана.

После исправления по замечаниям корректуры планшет вычерчивают в принятых условных знаках, вновь корректируют и составляют новый корректурный лист. После исправления повторных замечаний камеральная работа считается законченной.

§ 37. НИВЕЛИРОВАНИЕ ЗАСТРОЕННЫХ И НЕЗАСТРОЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Для получения высотного плана застроенной территории города, необходимого для составления поперечных и продольных профилей улиц и проездов, проектов и вертикальной планировки, проектов подземных сетей и сооружений (водопровода, канализации и др.), дорожных работ, трамвайных линий и пр., производится съемка рельефа.

Рельеф застроенной части территории отображается на плане горизонталями и отметками, которые выписывают на план с округлением до 1 см.

На плане масштаба 1:500 для территории с плотной застройкой горизонтали не проводят, рельеф характеризуется только отметками точек. Не проводят горизонтали и через карьеры, изрытые места, осыпи и по крутым обрывистым скалам, не имеющим естественного покрова. Эти места обводят контуром, по границе которого и внутри его дают отметки точек.

Нивелирные работы в застроенной части города разделяют на нивелирование проездов и нивелирование кварталов и отдельных участков.

Нивелирование проездов выполняется с целью получения продольных и поперечных профилей, необходимых для решения ряда инженерных задач, связанных с проектированием и строительством.

Работы по нивелированию проездов делят на две части — разбивку пикетов и точек поперечных профилей и их нивелирование.

Все нивелируемые точки поперечных профилей наносят на копию плана проезда. При отсутствии такого плана точки поперечных профилей разбивают одновременно с ведением абриса. В абрисе показывают привязку точек поперечных профилей к фасадам зданий или другим контурам. Работы по нивелированию проездов целесообразно вести одновременно с их съемкой.

Разбивку пикетов можно вести по фасадам зданий (фасадным линиям) или по оси проезда. Разбивку пикетов по фасадным линиям обычно производят одновременно со съемкой во

время измерения линий 20-метровыми лентами, 20- или 50-метровыми стальными рулетками.

За начальную (нулевую) точку принимают постоянный контур (угол дома, каменного забора и др.). Нулевые точки на фасадных линиях проезда следует выбирать так, чтобы они располагались друг против друга. Это необходимо для того, чтобы линии поперечных профилей занимали примерно перпендикулярное положение к оси проезда. Расстояния при обмере фасадных линий отсчитывают от начальных точек нарастающим итогом и через каждые 20, 30, 40, 50 или 100 м отмечают мелом на заборах, стенах зданий или деревянными колышками. Одновременно намечают характерные точки рельефа местности.

При одновременном выполнении работ по съемке проезда и разбивке пикетов и поперечных профилей зарисовку съемки проезда ведут на двух развернутых страницах абриса. Точки поворота проездов при отсутствии планов привязывают при помощи стальных рулеток тремя промерами к постоянным предметам местности и зарисовывают в абрисе с указанием строений, к которым сделаны привязки.

Для составления поперечных профилей намечают следующие характерные точки: у фасадной линии, верх бордюрного камня, или бровка тротуара, низ бордюрного камня, ось проезда. Когда на проездах имеются кюветы, необходимо отмечать бровку и дно кювета, а также все характерные точки рельефа. Расстояние между нивелирными точками на линиях поперечных профилей не должно превышать 20 м при составлении планов масштабов 1:500 и 1:1000 и 40 м — при составлении планов масштаба 1:2000.

При нивелировании проездов ведут нивелирный журнал, где записывают номера пикетов и отсчеты по черным и красным сторонам рейки с одновременной отметкой в абрисе месторасположения пикетов.

Отметки на проезде определяют техническим нивелированием, отсчеты берут по двум сторонам рейки при одном горизонте. Расстояние от прибора до реек не должно превышать 150 м, невязка в ходах (в мм) не должна превышать

$$f_n = 50 \sqrt{L} = 10 \sqrt{n},$$

где L — длина хода в км; n — число станций.

Порядок работы на станции следующий: устанавливают нивелир в рабочее положение, берут отсчеты на репер или связующую точку по черным сторонам реек, отсчеты по красным сторонам на промежуточные точки. Расхождения в превышениях пикетов, определенных по разным сторонам реек, не должны превышать 20 мм.

По окончании нивелирования точек поперечных профилей сверяют нумерацию пикетов в нивелирном журнале с нумерацией, указанной в абрисе или на копии плана.

Кроме отметок точек поперечных профилей, плюсовых и связующих точек на проездах нивелируют выходы подземных сооружений (колодцев водопровода, канализации, связи). Нивелируют все входы в капитальные здания, при этом определяют отметки земли или покрытия у входа, порога и пола. Когда здание имеет несколько входов на одинаковой высоте, определяют отметки только у крайних входов. При отсутствии входа в здание со стороны улицы нивелируют вход в здание со стороны двора.

Нивелирование кварталов рекомендуется производить после того, как произведена горизонтальная съемка застроенной территории. При наличии копии с планов съемка рельефа нивелиром значительно упрощается. При отсутствии плана необходимо составлять специальные абрисы. Пикеты намечают у зданий, контуров ситуации и на характерных точках рельефа. На копии плана пикеты нумеруют и отмечают кружком. Отсчеты по рейкам записывают в нивелирном журнале. Направление скатов, лощин и тальвегов показывают стрелками.

На каждой станции необходимо иметь не менее двух контрольных пикетов, которые бы нивелировались с другой станции. Сравнение контрольных пикетов, вычисленных на различных станциях, даст возможность судить о точности полученных отметок, расхождения между которыми допускаются до 20 мм. Контрольные пикеты выбирают на таких точках, которые не могут изменить свою высоту за время производства работ на данном участке. Такими точками могут служить каменные ступеньки, цоколи зданий, люки колодцев, выходов подземных сооружений, костыли, забитые в асфальт, и деревянные колышки, забитые в землю.

Кроме отметок, характеризующих рельеф, определяют находящиеся внутри кварталов выходы подземных сооружений (колодцы, водосточные решетки, приемники), входы в капитальные здания со стороны двора, бровок, дна кюветов и канав. У всех водоемов (рек, ручьев, прудов) определяют урезы воды, при этом колышек забивают так, чтобы уровень поверхности воды совпадал с поверхностью колышка.

Нивелирование незастроенных территорий. Топографические планы масштабов 1:500, 1:1000 и 1:2000 необходимы для проектирования и строительства жилых и общественных зданий, подземных сетей и сооружений дорожного строительства. Они могут быть получены: на основе теодолитных и нивелирных ходов с разбивкой поперечных профилей; нивелированием поверхности по квадратам или прямоугольникам; нивелированием в комбинации с мензульной или тахеометрической съемкой на открытой с пересеченным рельефом местности.

Для получения плана участка, подлежащего застройке, прокладывают теодолитные и нивелирные ходы по характерным точкам рельефа (водоразделам, тальвегам, перегибам скатов и др.). По обе стороны от них разбивают пикеты для получе-

ния поперечных профилей через 20 м при съемке в масштабах 1:500 и 1:1000 и через 40 м — при съемке в масштабе 1:2000. Длина поперечных профилей не должна превышать 300 м для масштабов 1:500 и 1:1000 и 500 м — для масштаба 1:2000, в противном случае их привязывают к соседним точкам ходов.

Теодолитные и нивелирные ходы следует располагать примерно параллельно друг другу на расстоянии 600 м для съемки в масштабах 1:500 и 1:1000 и 1000 м — для съемки в масштабе 1:2000. Их следует связывать между собой через 600 м в масштабах 1:500 и 1:1000 и через 1000 м — для масштаба 1:2000. Кроме того, необходимо дополнительно определять отметки точек, чтобы обеспечить нужную точность проведения горизонталей.

Одновременно с разбивкой пикетов производится съемка контуров и ситуации при помощи стальной рулетки и ведется абрис, в который вносят все пикеты, плюсовые и дополнительные точки, а также стрелками показывают направления скатов.

Съемку ситуации при помощи рулетки можно производить методом перпендикуляров, створов, засечек и полярным способом.

На местности с ровным рельефом рекомендуется производить нивелирование поверхности по квадратам или прямоугольникам.

Предварительно на схеме с имеющимися пунктами геодезической сети составляют проект, чтобы рассчитать необходимые данные для перенесения сетки прямоугольника в натуру и ее ориентирования.

Разбивку на местности сетки квадратов следует начинать с построения при помощи теодолита двух взаимно перпендикулярных осей, на которых строятся основные квадраты со сторонами 200—400 м, которые в свою очередь разбивают на заполняющие квадраты со сторонами 100, 40, 20 м. В случае необходимости стороны квадратов могут быть уменьшены до 10 м. Стороны квадратов при съемке в масштабах 1:500 и 1:1000 принимают равными 20 м, а для масштаба 1:2000 — 40 м.

Вершины основных квадратов закрепляют металлическими трубками или деревянными столбами, координаты и отметки которых определяют теодолитными и нивелирными ходами, опирающимися на пункты опорной геодезической сети.

Нивелирование вершин заполняющих квадратов должно производиться по двусторонним рейкам внутри основных квадратов. Отметку каждой вершины сетки определяют как разность между горизонтом прибора и отсчетом по рейке на данную точку. Превышения двух связующих точек, полученные с разных станций, не должны различаться между собой более чем на 10 мм, а повторные наблюдения на станции — более чем на 5 мм.

Когда нельзя выполнять наблюдения с одной станции, следует наметить несколько станций, с которых можно отнивелировать все вершины, причем каждая пара станций должна иметь не менее двух связующих точек для контроля.

При нивелировании по кварталам отсчеты по рейкам рекомендуется записывать около точек на полевой схеме.

Вершины сетки нумеруют в шахматном порядке, по одной оси сетки обозначают стороны квадратов римскими цифрами или заглавными буквами алфавита, а по другой оси — арабскими цифрами.

Если внутри основных квадратов из-за пересеченности рельефа затруднено нивелирование, то для съемки оврагов и ложин применяют мензульную или тахеометрическую съемку.

По окончании полевых работ составляют схему, на которой показывают главные оси, основные и заполняющие квадраты, пункты опорной геодезической сети и съемочного обоснования с указанием исходных реперов, пикетов и невязок по полигонам.

После обработки полевых материалов составляют план на планшетах размером 60×60 см, нанося на них по координатам точки съемочного обоснования, поперечные профили, а по абрисам — ситуацию.

В случае нивелирования по квадратам на плане строят сетку основных и заполняющих квадратов и все плюсовые точки, отражающие характер рельефа, контур и ситуацию местности. Проводят горизонтالي по отметкам, которые выписывают на план с округлением до 0,01 м. После составления плана производят сводку планшетов по рамкам и проверяют правильность рисовки рельефа. Затем планы корректируют и вычерчивают в принятых условных знаках.

Горизонтальную и вертикальную съемки незастроенных территорий производят мензулой, тахеометром или нивелиром.

В зависимости от масштаба съемки и принятой высоты сечения рельефа допустимые расстояния между пикетами и от прибора до рейки приведены в табл. 91.

§ 38. МЕНЗУЛЬНАЯ СЪЕМКА

Мензульная съемка дает возможность получать непосредственно на местности план или карту снимаемой территории, пользуясь мензулой и кипрегелем.

Мензулы бывают с деревянной и металлической подставкой, К мензуле предъявляют следующие требования:

1. Мензула должна быть устойчивой. На мензульный планшет устанавливают кипрегель, уровень на линейке кипрегеля приводят на середину подъемными винтами мензулы, затем визируют на какую-нибудь четкую точку местности и по скошенному краю линейки проводят карандашом линию. Легким нажимом пальца вблизи угла планшета выводят доску из не-

Таблица 91

| Масштаб съемки | Высота сечения рельефа, м | Вид съемки | Максимальное расстояние, м | | | |
|----------------|---------------------------|------------------|----------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------|
| | | | между пикетами | от прибора до рейки при съемке | | |
| | | | | рельефа | постоянных контуров | непостоянных контуров |
| 1 : 500 | 0,5 | Мензульная | 20 | 100 | 60 | 80 |
| | 0,5 | Тахеометрическая | 15 | 100 | 60 | 80 |
| | 1 | Мензульная | 30 | 150 | 60 | 80 |
| | 1 | Тахеометрическая | 20 | 150 | 80 | 80 |
| 1 : 1000 | 0,5 | Мензульная | 30 | 150 | 80 | 100 |
| | 0,5 | Тахеометрическая | 20 | 150 | 80 | 100 |
| | 1 | Мензульная | 60 | 200 | 80 | 100 |
| | 1 | Тахеометрическая | 50 | 200 | 80 | 100 |
| 1 : 2000 | 0,5 | Мензульная | 50 | 200 | 100 | 150 |
| | 0,5 | Тахеометрическая | 40 | 200 | 100 | 150 |
| | 1 | Мензульная | 70 | 250 | 100 | 150 |
| | 1 | Тахеометрическая | 60 | 250 | 100 | 150 |
| | 2 | Мензульная | 70 | 250 | 100 | 150 |
| | 2 | Тахеометрическая | 60 | 250 | 100 | 150 |
| 1 : 5000 | 0,5 | Мензульная | 70 | 250 | 150 | 200 |
| | 0,5 | Тахеометрическая | 60 | 250 | 150 | 200 |
| | 1 | Мензульная | 100 | 300 | 150 | 200 |
| | 1 | Тахеометрическая | 80 | 300 | 150 | 200 |
| | 2 | Мензульная | 120 | 350 | 150 | 200 |
| | 2 | Тахеометрическая | 100 | 350 | 150 | 200 |
| | 5 | Мензульная | 150 | 350 | 150 | 200 |
| | 5 | Тахеометрическая | 120 | 350 | 150 | 200 |

подвижного положения. Отстранив палец, убеждаются в том, что скошенный край не сдвинулся с прочерченной линии, пересечение нитей сетки не сместилось с наблюдаемой точки местности, а пузырек уровня возвратился в прежнее положение — мензула устойчива. Если условие устойчивости не соблюдается, мензулу отправляют в мастерскую для исправления.

2. Поверхность планшета должна быть плоскостью. Для проверки этого условия прикладывают скошенный край линейки к поверхности планшета по разным направлениям и, если он каждый раз плотно прилегает к поверхности планшета, условие выполнено. Если просветы превышают 0,5 мм, планшет отправляют в мастерскую на исправление.

3. Верхняя плоскость планшета должна быть перпендикулярной к вертикальной оси мензулы. На планшет ставят кипрегель с выверенным уровнем, приводят плоскость планшета

в горизонтальное положение подъемными винтами подставки мензулы и вращают мензульную доску вокруг вертикальной оси. Если пузырек смещается от нуля-пункта в пределах 1—2 делений, то условие выполнено. Если пузырек смещается на большее число делений, то исправление мензулы поручают механику.

4. Поверка мензульной вилки. Устанавливают мензулу, приводят планшет в горизонтальное положение, намечают на планшете точку, к которой прикладывают острие вилки, и после того как отвес успокоится, забивают на местности колышек точно над острием отвеса. После этого прикладывают острие вилки к той же точке с противоположной стороны планшета. Если отвес совпадает с колышком, условие выполнено, если нет, то место прикрепления шнура отвеса необходимо передвинуть на половину величины расхождения между острием отвеса и колышком.

Кипрегель в комплекте с мензулой предназначен для топографической съемки на фотопланах и на чистой основе. В практике производства работ в настоящее время широкое распространение получили кипрегели КА-2 и КН, которые дают возможность определять автоматически горизонтальное расстояние и превышение.

Перед производством работ необходимо выполнить следующие проверки кипрегелей КА-2 и КН.

1. По скошенному краю линейки кипрегеля должна прочерчиваться прямая линия, а нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью.

Устанавливают кипрегель на планшет и остро заточенным карандашом по скошенному краю линейки прочерчивают линию на всю длину линейки. Переставляют кипрегель на 180° и прикладывают линейку к двум точкам, намеченным на этой линейке на расстоянии 20—30 см друг от друга, и прочерчивают линию. Если обе прочерченные линии совпадают, условие выполнено, если нет — исправление производится в мастерской.

Поставив кипрегель на планшет, убеждаются, что между нижней поверхностью линейки и планшетом нет просвета.

2. Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

Устанавливают кипрегель на середине планшета таким образом, чтобы скошенный край линейки располагался по направлению двух подъемных винтов мензулы. Действуя винтами, приводят пузырек уровня на середину, вдоль края линейки карандашом прочерчивают линию и переставляют кипрегель около этой линии на 180°. Если пузырек уровня остался на середине или отклонился не более чем на одно деление, условие выполнено. В противном случае пузырек перемещают к середине на половину дуги отклонения исправительным винтом уровня, другую половину дуги отклонения исправляют подъемным винтом. Поверку повторяют.

Для приведения верхней плоскости планшета в горизонтальное положение устанавливают линейку кипрегеля по направлению двух подъемных винтов и приводят пузырек уровня на середину, затем устанавливают линейку кипрегеля по направлению третьего подъемного винта и также приводят пузырек на середину третьим винтом. Поверку повторяют. Затем на планшете устанавливают линейку кипрегеля в любом направлении и, если пузырек уровня будет находиться на середине или уклоняться не более чем на 1—2 деления, считается, что верхняя поверхность планшета установлена в горизонтальное положение.

3. Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.

Для проверки этого условия верхнюю поверхность планшета приводят в горизонтальное положение, устанавливают на планшет кипрегель и визируют на удаленный хорошо видимый предмет. Затем вдоль скошенного края линейки прочерчивают прямую и намечают на ней в произвольном месте точку. После этого переводят трубу через зенит и переставляют кипрегель на 180° , устанавливают линейку кипрегеля около намеченной точки, визируют на тот же предмет и прочерчивают вдоль скошенного края линейки прямую. При соблюдении этого условия прямые линии, прочерченные вдоль скошенного края линейки, должны совпасть.

При несовпадении линий угол, заключенный между ними, будет равен двойной коллимационной ошибке. Для исправления ее полученный угол делят пополам и прочерчивают биссектрису. Совмещают с ней скошенное ребро линейки и боковыми исправительными винтами сетки нитей перемещают сетку до тех пор, пока она не совпадает с наблюдаемой точкой.

4. Ось вращения зрительной трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

Для проверки этого условия на планшет, приведенный в горизонтальное положение, устанавливают кипрегель и визируют на близко расположенную на стене высокую точку M . Затем опускают трубу, не сдвигая линейки, примерно до горизонтального ее положения и на этой же стене намечают карандашом точку m_1 , затем переводят трубу через зенит, а кипрегель переставляют на 180° и снова визируют на точку M , после чего опускают трубу и намечают точку m_2 . При соблюдении условия точки m_1 и m_2 должны совпасть. В противном случае прибор отправляют на исправление к механику.

5. Вертикальная нить сетки нитей зрительной трубы должна быть вертикальна.

Для выполнения проверки планшет приводят в горизонтальное положение, устанавливают на него кипрегель, а вертикальную нить сетки наводят на нить отвеса, подвешенного на 30—40 м от кипрегеля в защищенном от ветра месте. Если нить сетки не совпадает с нитью отвеса, необходимо повернуть

кольцо сетки, ослабив предварительно исправительные винты, и добиться совпадения. После исправления поверку необходимо повторить.

6. Коллимационная плоскость зрительной трубы должна проходить через скошенный край линейки кипрегеля или быть ему параллельной.

Приводят планшет в горизонтальное положение, устанавливают на нем кипрегель и пересечение сетки нитей визирной трубы наводят на удаленный хорошо видимый предмет. Около скошенного края линейки на расстоянии 25—30 см друг от друга вкалывают в планшет две иголки и наблюдают, закрывают ли эти иголки тот же предмет. Если это условие не соблюдено, прибор отправляют на исправление.

Кроме указанных выше проверок для всех конструкций кипрегелей определяют место нуля.

7. Для кипрегеля КА-2 место нуля вертикального круга должно равняться 90° .

Для проверки этого условия необходимо определить место нуля, для чего пересечением начальной окружности H и правой вертикальной грани серебряной полоски наводят на удаленный предмет при круге право и при круге лево, производят отсчет по горизонтальной полоске, оценивая минуты на глаз. Место нуля и угол наклона вычисляют по формулам

$$MO = \frac{KP + KL - 180^\circ}{2}; \quad v = \frac{KP - 180^\circ - KL}{2};$$

$$v = (KP - 180^\circ) - MO;$$

$$v = MO - KL.$$

Если место нуля не равно 90° , то при круге лево пузырек уровня при вертикальном круге приводят на середину и, вращая трубу, устанавливают отсчет, равный месту нуля. После этого наводящим винтом уровня вертикального круга вертикальную нить сетки совмещают со штрихом 90° на начальной окружности H , после чего пузырек уровня уклонится от середины. Исправительными винтами уровня пузырек приводят на середину, поверку повторяют. Место нуля, отличающееся от 90° на $1-2'$, исправляют нецелесообразно.

8. Вертикальный круг кипрегеля не должен иметь эксцентриситета.

Поверяют это условие вращением трубы при круге лево, наблюдая за положением нитей горизонтальной посеребренной Г-образной пластинки. При отсутствии эксцентриситета нижние концы делений начальной окружности должны лежать на этой горизонтальной границе. Исправление производится в мастерской.

После поверок и юстировок кипрегеля определяют коэффициент и постоянную C нитяного дальномера. С этой целью на горизонтальном участке местности измеряют лентой от точки A расстояния $a_1=40$ м, $a_2=60$ м, $a_3=80$ м, $a_4=100$ м и отмечают их кольями.

Устанавливают кипрегель на точке A . При горизонтальном положении трубы получают при помощи нитяного дальномера ряд значений, устанавливая последовательно рейку на все кольца, причем эти определения производят многократно. Пусть b_1, b_2, b_3, b_4 — средние значения, полученные по рейке для расстояний, измеренных лентой a_1, a_2, a_3, a_4 .

Введем обозначения

$$a_0 = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4}; \quad b_0 = \frac{b_1 + b_2 + b_3 + b_4}{4}.$$

Тогда получим четыре значения коэффициента k для нитяного дальномера:

$$k_1 = \frac{a_1 - a_0}{b_1 - b_0}; \quad k_2 = \frac{a_2 - a_0}{b_2 - b_0}; \quad k_3 = \frac{a_3 - a_0}{b_3 - b_0}; \quad k_4 = \frac{a_4 - a_0}{b_4 - b_0}.$$

Если эти коэффициенты не отличаются между собой более чем на 0,3, берут среднее значение и постоянную C нитяного дальномера определяют по формуле

$$C = a_0 - kb_0.$$

Если коэффициент k значительно отличается от 100, то целесообразно составить таблицу, по которой можно получить измеренное расстояние d , пользуясь определенной величиной b .

Иногда бывает целесообразно сделать специальную рейку, деления которой наносят с учетом полученного коэффициента.

Для кипрегелей-автоматов, кроме того, проверяют коэффициенты кривых расстояний и превышений, для чего выбирают 20 точек, расстояние между которыми должно быть примерно 100 м, с таким расчетом, чтобы 10 из них имели положительные, а 10 — отрицательные значения превышений в пределах от 7 до 10 м. Превышения определяют нивелированием IV класса и кипрегелем, кривые превышений которого проверяются. Затем фактические коэффициенты определяют по формуле

$$k = \frac{k_0 h_0}{h},$$

где k — номинальное значение коэффициента дальномера; k_0 — значение коэффициента, равное 10, 20, 100; h_0 — превышение, определенное нивелированием; h — превышение, определенное кипрегелем.

Перед производством работ на планшетах разбивают координатную сетку со сторонами 10×10 см. Разбивку сетки проверяют по диагоналям, длина которых должна иметь значение $14,14 \text{ см} \pm 0,3 \text{ мм}$.

Подписывают номенклатуру и углы рамки планшета, наносят по координатам пункты триангуляции, трилатерации, полигонометрии и точки съемочного обоснования, подписывают названия или номера пунктов и их отметки с точностью до 1 см. По данным абрисов наносят контуры ситуации и предметы местности, заснятые с теодолитных ходов.

Каждый журнал топографической съемки должен быть пронумерован и заполнен титульный лист.

Перед началом работ все приборы должны быть проверены и отъюстированы исполнителем. Для самостоятельно изготовленных реек коэффициент дальномера должен равняться 100.

Планшет прикрепляется к мензульной доске при помощи небольших гвоздиков. Перед производством полевых работ необходимо проинструктировать реечника и вычислителя. Вычислитель должен знать порядок записи в журнале, уметь пользоваться таблицами превышений. Реечник должен знать, сколько обычных его шагов соответствует расстоянию в 20 м, и как устанавливать рейку при съемке контуров угодий, ситуации, как выбирать характерные точки для правильного изображения рельефа, пользоваться с ним о способах сигнализации.

Порядок работы на станции:

1. Устанавливают вешки на двух точках съемочного обоснования.

2. Мензулу примерно ориентируют и центрируют над точкой стояния. Для этого планшет устанавливают так, чтобы точка, нанесенная на планшете, находилась на той же точке местности. Верхнюю плоскость планшета приводят в горизонтальное положение, а затем планшет центрируют при помощи вилки с точностью 5 см для масштабов 1:500 и 1:1000, 10 см — для масштаба 1:2000 и 25 см — для масштаба 1:5000.

3. Ориентируют планшет, прикладывают скошенный край линейки к двум наиболее удаленным точкам и при помощи наводящего винта мензулы совмещают вертикальную нить сетки нитей кипрегеля с вешкой или другим пунктом, нанесенным на планшет. После этого проверяют центрировку и в случае отклонения от установленных допусков планшет центрируют и ориентируют заново. Ориентирование по линии длиной менее 5 см не разрешается. Необходимо вычислить координаты дополнительной точки, которая находится на ориентируемой линии.

4. Для обеспечения возможности ориентирования мензулы по точкам опорной сети, расположенным на командных высотах или в других характерных местах, рекомендуется заблаговременно выставлять вехи.

5. Определяют место нуля по двум-трем расположенным на разных зенитных расстояниях удаленным точкам. Полученные результаты наблюдений должны находиться в пределах $1'$, из них берут среднее. Результаты измерений должны быть записаны в журнале.

6. Мензула должна быть защищена зонтом, причем палка зонта должна быть не ближе 15 см от планшета.

7. На рейке при помощи резиновой тесьмы фиксируют высоту прибора, а при использовании реек с выдвинутым концом нуль рейки устанавливают на высоту прибора.

Съемка предметов местности и контуров угодий производится полярным способом, определением по дальномеру кипрегеля расстояний от прибора до пикетов.

Отдельные точки ситуации можно определять не менее чем тремя засечками, причем крайние засечки должны пересекаться под углом не более 60° .

Визирование на пикеты производят при одном положении круга, при котором произведена ориентировка мензулы, и, как правило, при круге лево.

В зависимости от масштаба съемки и принятой высоты сечения рельефа расстояния между пикетами и расстояния от прибора до рейки не должны превышать величин, приведенных в табл. 91.

При съемке прямолинейных и резко очерченных контуров следует тщательно определять углы, а затем соединить точки линейкой. Если это длинный прямолинейный контур, целесообразно взять контрольные пикеты, которые не должны отклоняться от прямой линии более чем на 20 см для масштаба 1 : 500, 40 см для масштаба 1 : 1000.

Пикеты, определяющие положение грунтовой дороги, берут только с одной стороны, измеряют ширину дороги и наносят ее вторую сторону (если ширина дороги выражается в масштабе плана). Если ширина грунтовой дороги не выражается в масштабе, то пикеты берут по оси дороги и изображают ее на плане условным знаком.

При съемке дорог показывают материал покрытия, ширину проезжей части, сооружения на дорогах, мачты, все поворотные столбы линий электропередач и линий связи.

Неопределенные очертания (редколесье, кустарник и др.) наносят на планшет с точностью возможного установления границы контура в натуре. Отдельные предметы местности, не выражающиеся в масштабе (колодцы, столбы, отдельные деревья), снимают так, чтобы их центры совпадали с центром условного знака.

Названия рек и ручьев должны быть подписаны, а направления течений показаны стрелками.

При съемке контура рейку ставят на всех поворотах границы контура; съемку замкнутого контура необходимо закончить на той точке, с которой начиналась съемка.

При съемке рельефа прежде всего необходимо определять линии водоразделов и тальвегов. Для этого определяют отметки вершин и подошв скатов, вершин и устьев ложин и их разветвлений, отметки перегибов седловин и скатов, водоразделов, котловин, ям, воронок. Отметки у берегов рек, прудов, озер

и ручьев определяют на уровне воды с таким расчетом, чтобы они не только характеризовали местность по высоте, но и показывали направление скатов. С каждой точки стояния зарисовывают рельеф, который непосредственно виден с данной станции. Кроме высот пикетов, необходимых для проведения горизонталей, следует определять отметки каменных, бетонных и земляных плотин, дамб, шлюзов, мостов, путепроводов, труб, пересечение осей дорог, имеющих покрытие, фундаментов металлических мачт, линий электропередач и связи, углов кварталов, насыпей, выемок, земляных откосов, курганов, карьеров, больших ям, канав, шурфов, буровых скважин, питьевых колодцев и естественных обрывов.

Отметки урезов воды определяют кипрегелями КА-2 и КН дважды, используя разные части рейки, и записывают в журнал даты их определения.

Определяют и выписывают на планшет высоту и глубину искусственных сооружений, курганов, валов, дорожных насыпей, выемок, рвов, искусственных образований, промоин. Речные точки (пикеты) должны быть набраны такой густоты, чтобы расстояния между ними были не более 20 м для масштаба 1 : 500, 30 м для масштаба 1 : 1000, 50 м для масштаба 1 : 2000 и 100 м для масштаба 1 : 5000.

Отметки пикетов при высоте сечения рельефа 1 м и более выписывают на планшете с точностью 0,1 м, а вычисляют до 0,01 м, при высоте сечения рельефа менее 1 м отметки вычисляют и выписывают с точностью до 1 см.

Горизонтали, кратные 5 м, утолщают и подписывают, направление скатов показывают бергштрихами. В тех местах, где основными горизонталями детали рельефа не отражаются, проводят полугоризонтالي, при этом одноименные полугоризонтали обязательно проводят на противоположных склонах. На крутых склонах, где горизонтали провести затруднительно, их проводят через одну.

Съемку рельефа в застроенной части города производят на планшетах после нанесения контура застройки, если он снимался другим методом.

Мензульные ходы и переходные точки. Когда количество пунктов съемочного обоснования недостаточно для мензульной съемки данной территории, а дальнейшее сгущение съемочного обоснования экономически нецелесообразно, между точками съемочного обоснования и точками опорной геодезической сети прокладывают мензульные ходы. Мензульные ходы должны удовлетворять требованиям, приведенным в табл. 92.

Висячие мензульные ходы не допускаются. При проложении мензульного хода расстояния между точками измеряют дальномером в прямом и обратном направлениях. При углах наклона более 3° в измеренные расстояния вводят поправку за угол наклона. Расхождение между прямым и обратным определением расстояния не должно превышать 1/200. Относительная невязка

Таблица 92

| Масштаб съёмки | Максимальная длина, м | | | Максимальное число точек в ходе |
|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------------------|
| | засечки | хода между опорными точками | стороны хода | |
| 1 : 5000 | 600 | 1000 | 250 | 5 |
| 1 : 2000 | 300 | 500 | 200 | 5 |
| 1 : 1000 | 150 | 250 | 100 | 3 |
| 1 : 500 | — | 200 | 100 | 1 |

Таблица 93

| Опреде- ляемый пункт | Номер точки, с которой получена отметка | s, м | s ² , сотни м | $p = \frac{s_0^2}{s_l^2}$ | $p' = \frac{p}{[p]}$ | Получен- ная отметка, м | v | Допусти- мая невязка |
|----------------------------|-----------------------------------------------------|------|--------------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------------|----|----------------------------|
| Точка 147 | 113 | 113 | 1,277 | 0,592 | 0,062 | 147,26 | —3 | +4 |
| | 119 | 137 | 1,877 | 0,403 | 0,056 | 147,20 | +3 | ±5 |
| | 125 | 87 | 0,757 | 1,000 | 0,138 | 147,22 | +1 | ±4 |
| | 143 | 38 | 0,144 | 5,257 | 0,725 | 147,23 | 0 | ±2 |
| | | | | 7,252 | 1,001 | 147,23 | | |

мензульного хода не более 1/300 общей длины хода, линейная невязка — 0,8 мм на плане. Полученную линейную невязку распределяют по способу параллельных линий.

При работе кипрегелями-автоматами превышение определяют при круге лево дважды. Расхождение между прямым и обратным превышениями для одной линии не должно превышать 4 см на каждые 100 м длины линии. Допустимая невязка по высоте в мензульном ходе, состоящем из нескольких линий, не должна превышать $0,04s\sqrt{n}$, где s — длина мензульного хода в сотнях метров. Полученную высотную невязку распределяют с обратным знаком на каждое превышение пропорционально квадратам длин линий хода (табл. 93).

Для съёмки участков, которые невозможно заснять с точек съёмочного хода или с точек мензульного хода, съёмка производится с переходных точек. Переходные точки определяют с пунктов съёмочного обоснования опорной сети, имеющих отметки, полученные из технического нивелирования. Для этого на местности выбирают точку, наблюдают ее, прочертив на планшете линию, измеряют расстояние и определяют превышение при двух положениях круга в прямом и обратном направлениях.

Переходные точки можно определять также измерениями стальной лентой или стальной рулеткой в створе между точками съемочного обоснования. Для более надежного определения переходных точек рекомендуется проверять их с помощью обратных засечек на пункты, не участвующие в определении переходной точки. Такая проверка необходима, когда расстояние до переходных точек определяется по дальномеру.

При контроле ситуации расстояние, определенное по плану и измеренное на местности, для масштаба 1:500 не должно превышать 0,3 м, для масштаба 1:1000—0,6 м, для масштаба 1:2000—1,2 м, для масштаба 1:5000—4 м.

Ошибки высот, рассчитанные по горизонталям, допускаются не более $1/2$ сечения для местности с уклоном до 2° при высоте сечения рельефа 0,25 и 0,5 м, не более $1/3$ сечения при высоте сечения рельефа через 1 м и более для местности с уклоном от 2 до 6° . Для местности с уклоном свыше 6° число горизонталей должно соответствовать разности высот, определенных на перегибах скатов; в лесной местности указанные допуски могут быть увеличены в 1,5 раза.

Калька высот и контуров. В процессе мензульной съемки в масштабах 1:2000 и 1:5000 составляют кальку высот, а если планшеты не подвергаются полевому вычерчиванию, то составляют также и кальку контуров. Для территорий с сложным рельефом, малым количеством контуров и редкой застройкой при съемке в масштабе 1:2000 целесообразно кальки высот и контуров совмещать в одну.

Кальку высот составляют на специальном бланке, отпечатанном на восковке, и вычерчивают черной тушью. Она служит для восстановления на планшете пикетов и высотных точек. Пункты опорной сети и съемочного обоснования вычерчивают согласно действующим условным знакам. Названия пунктов и номера точек выписывают с левой стороны знака, а отметки — с правой стороны в виде дроби, в числителе которой пишется отметка пункта, а в знаменателе — отметка земли около пункта. При сечении рельефа через 0,5 м отметки пункта и земли выписывают до 0,01 м, а при сечении рельефа через 1 м отметку пункта выписывают до 0,01 м, а земли — до 0,1 м.

Местоположение пикета, определяющего урез воды, обводят на кальке зеленым кружком радиуса 0,7 мм, выписывают отметку уреза воды до 0,01 м и указывают дату определения. При сложном рельефе и значительном числе пикетов на планшете и кальку высот выписывают не все пикеты, а только те, которые характеризуют основные формы рельефа.

Стороны сетей микротриангуляции и теодолитных ходов на кальке высот рекомендуется вычерчивать цветной тушью. Калька высот должна быть подписана исполнителем.

Калька контуров служит для восстановления нанесенной на планшет ситуации местности и пояснительных надписей. На кальку контуров наносят условными знаками и поясни-

тельными надписями все заснятые элементы ситуации без пропусков и искажений.

Кальку контуров вычерчивают черной тушью, кроме номеров домов, которые подписывают красной тушью. Канавы, урезы воды в реках, водоемы вычерчивают зеленой тушью. Местоположение отметок показывают на кальке контуров кружочками. Калька контуров должна быть подписана исполнителем, производившим съемку.

Сводка по рамкам планшетов. Если участок съемки расположен на нескольких планшетах, то для сводки их между собой съемку продолжают за рамки каждого планшета на 1 см, независимо от масштаба съемки.

Сводку производят на выкопировках по южной и восточной рамкам планшетов, для чего берут полоски кальки шириной в 10 см и длиной 64 см. Ширина полосы выкопировки от рамки в глубь планшета равна 2 см. По сводимым рамкам на выкопировку наносят всю зарамочную съемку.

Обнаруженные допустимые расхождения в ситуации и горизонталях исправляют смещением их на одинаковую величину до полного совпадения на двух смежных планшетах. Согласованное положение высот и контуров показывают на сводной полоске красной тушью и переносят на сводимые рамки планшетов. После этого правильность совпадения по рамкам проверяют, откладывая циркулем расстояние от координатной сетки. Сводные полоски подписывают исполнитель и проверивший сводку.

Каждый планшет до его вычерчивания должен быть проверен в поле. Контрольные пикеты показывают цветной тушью на кальке высот, а контрольные промеры — на кальке контуров.

Планшет корректируют, проверяя правильность разбивки координатной сетки, нанесения точек съемочного обоснования и выписки отметок. Выбирают пикеты, подлежащие вычерчиванию, отмечая их цветным карандашом. Их должно быть не меньше четырех на 1 дм² плана для масштабов 1:2000 и 1:5000 (для масштабов 1:1000 и 1:500 вычерчивают отметки всех пикетов).

На каждый планшет ведут корректурную кальку и корректурный лист, записи делают разборчиво мягким карандашом.

Исправленный исполнителем планшет после корректуры передают на повторный просмотр, затем планшет вычерчивают соответствующими условными знаками.

После вычерчивания проводят корректуру и исправление замечаний ректора.

§ 39. ТАХЕОМЕТРИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

Тахеометрическая съемка выполняется самостоятельно или в сочетании с другими видами работ на небольших площадях или в сложных условиях местности.

Тахеометрическая съемка в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 выполняется для рисовки рельефа и ситуации в застроенных и незастроенных территориях, а также для съемки узких полос местности при дорожных изысканиях.

Тахеометрическая съемка должна быть организована таким образом, чтобы параллельно с полевыми работами выполнялись и работы по составлению плана.

Отметки точек тахеометрического хода и висячих переходных точек определяются техническим нивелированием.

Тахеометрическую съемку производят теодолитами Т30, Т15, Theo 020, тахеометром Редта 002 и Дальта 020.

Станциями, с которых ведется тахеометрическая съемка, служат точки съёмочного обоснования и тахеометрических ходов, а также переходные и висячие точки, требования к которым предъявляются такие же, как и при мензульной съемке.

Расстояния между пикетами и от прибора до рейки не должны быть более приведенных в табл. 91, а реечные точки при средней сложности рельефа рекомендуется набирать так, чтобы расстояния между ними были около 2—3 см на планшете.

Порядок работы на станции

1. Устанавливают теодолит над точкой съёмочного обоснования или тахеометрического хода, центрируют и приводят его в рабочее положение.

2. Наводят трубу на веху, установленную на точке съёмочного обоснования или тахеометрического хода, и совмещают нуль лимба горизонтального круга с нулем алидады.

3. Определяют место нуля вертикального круга по трем точкам.

4. При прокладке тахеометрического хода измеряют угол поворота и угол наклона при двух положениях вертикального круга; превышение определяют дважды из прямого и обратного измерений. Расхождение в превышениях не должно быть больше 4 см на каждые 100 м.

5. При определении пикетных точек измерения ведут при одном положении круга; для определения превышений трубу наводят на высоту прибора.

6. При углах наклона более 3° вводят поправку в измеренную по дальномеру длину линии.

7. В процессе работы через каждые 25—30 пикетов, а также по окончании работы на станции проверяют ориентирование прибора. Расхождения в отсчетах не должны превышать 2'.

8. Одновременно с ведением журнала на отдельном листе специального абриса ведут зарисовку местности и рельефа и указывают характерные линии рельефа (тальвеги, водоразделы, перегибы скатов и др.). Зарисовки делают примерно в масштабе съемки, а листы ориентируют по ходу и указывают не менее двух смежных пунктов и направление, по которому ориентирован теодолит.

9. Пикеты, между которыми следует проводить интерполирование горизонталей, соединяют стрелками; номера пикетов в журнале должны совпадать с номерами пикетов в абрисе.

10. Для контроля выполнения работ необходимо определять несколько пикетов, взятых с других точек.

Абрис отображает ситуацию и рельеф снимаемого участка. На нем показывают контуры условными знаками и пояснительными подписями. Желательно в абрисе показывать рельеф схематично горизонталями.

Камеральные работы начинают с проверки журналов, составления подробной схемы съемочного обоснования, вычисления координат и отметок всех станций и всех речечных точек. Вычисления ведут в журналах и ведомостях чернилами. При вычислении координат и высот тахеометрических ходов дирекционные углы выписывают до $1'$, а приращения координат и превышения определяют до $0,01$ м.

Допустимые угловые невязки в тахеометрическом ходе определяют по формуле

$$f_{\beta_{\text{доп}}} = 1' \sqrt{n},$$

где n — число углов в ходе.

Допустимая линейная невязка при измерении линий дальномером определяется по формуле $f_{h_{\text{доп}}} = \frac{d}{400 \sqrt{n}}$; допустимая относительная ошибка при измерении линии лентой равна $1/1000$.

Допустимые невязки по высоте $0,04s \sqrt{n}$, где s — средняя длина линии, выраженная в сотнях м; n — число сторон хода.

По результатам тахеометрической съемки составляют в карандаше план, который до вычерчивания необходимо проверить в поле с использованием мензулы с кипрегелем. Контрольные пикеты, взятые при проверке, показывают цветной тушью на кальке высот.

Корректуру планшетов и вычерчивание ведут в той же последовательности и с теми же требованиями, какие предъявляются к мензульной съемке.

Преимущество тахеометрической съемки перед мензульной состоит в том, что ее можно применять в неблагоприятных климатических условиях, на небольших площадях и при съемке трасс. Основной недостаток состоит в том, что составление плана ведется в камеральных условиях, и поэтому возможны пропуски отдельных контуров и излишнее обобщение деталей рельефа.

§ 40. ПОДДЕРЖАНИЕ ПЛАНОВ НА УРОВНЕ СОВРЕМЕННОСТИ

Огромный размах жилищного, гражданского и промышленного строительства в нашей стране требует наличия крупномасштабных топографических планов, отражающих современ-

ное состояние ситуации и рельефа. Чем крупнее масштаб съемки, тем быстрее стареет план. Например, план масштаба 1 : 500 участка с подземными коммуникациями и сооружениями, отведенного под строительство, после завершения последнего уже не отражает действительного положения, так как на нем появился выстроенный объект, вновь проложены подземные коммуникации и в связи с этим реконструированы существующие, проведено благоустройство и озеленение участка.

Большую роль в поддержании планов городов на современном уровне играют правильно осуществленные исполнительные съемки вновь выстроенных зданий, сооружений и подземных коммуникаций, которые должны производиться в масштабах 1 : 500 и 1 : 1000 и, как правило, до сдачи зданий и сооружений в эксплуатацию.

За основной топографический план города и его пригородной зоны принимают план города в наиболее крупном масштабе. Основной план города должен систематически и периодически обновляться как наземными съемками, так и аэрофотосъемкой.

Обновление топографических планов в масштабах 1 : 2000 и 1 : 5000 рекомендуется осуществлять по материалам аэрофотосъемки, для чего составляют проект полевых работ, в котором учитывают все имеющиеся плановые материалы и намечают территории для аэрофотосъемки.

При наличии фотопланов и уточненных фотосхем удаление с планов отсутствующих элементов ситуации и выявление вновь появившихся контуров, зданий, сооружений и других предметов местности выполняется камеральным дешифрированием. Нанесение на план вновь появившейся ситуации производится путем полевого дешифрирования с необходимыми измерениями на местности.

Когда аэрофотосъемочные работы произвести невозможно, планы обновляют по данным полевых обследований и съемок текущих изменений ситуации и рельефа с использованием имеющихся материалов съемок в масштабе 1 : 500.

Полевое обследование заключается в сличении плана с местностью и в нанесении на план или его копию изменений ситуации и рельефа. При обследовании определяют места и объекты, подлежащие съемке, для чего все изменения схематически примерно в том же масштабе наносят на копию плана, а места с явно выраженными изменениями в рельефе оконтуривают. Отсутствующие на местности здания, сооружения, контуры ситуации зачеркивают на копии плана.

Съемка изменений ситуации и рельефа, а также вновь выстроенных объектов производится методами горизонтальной и вертикальной съемок с соблюдением требований, предусмотренных для данного масштаба съемки. При небольших изменениях ситуации съемка текущих изменений производится путем промеров от постоянных точек ситуации, снятых теодолитным

ходом. Результаты съемки текущих изменений и вновь выстроенных объектов заносят в абрис.

После камеральной обработки материалов съемки текущих изменений их наносят на оригиналы планшетов, при этом места, где имеются изменения в ситуации и рельефе, тщательно счищают. Вновь нанесенную на планшет ситуацию и рельеф после корректуры и контроля вычерчивают, а на обратной стороне планшета делают соответствующие записи. В тех случаях, когда изменения в ситуации и рельефе значительны, целесообразно изготовить новый оригинал планшета.

В городах, где на одну и ту же территорию имеются планы в масштабах 1:500 и 1:2000, изображение всех деталей местности нецелесообразно. Исключают следующие объекты: точки съемочного обоснования, столбы граничные (кроме полос отвода), столбы закрепления проекта планировок, реперы временные, марки и реперы стенные (наносятся условные знаки и номера), реперы для закрепления строительной сетки, поперечные профили, пикеты (кроме характерных высот), все нежилые деревянные постройки размером менее 3×3 м (группа сараев этого размера объединяется общим контуром), караульные посты, беседки деревянные размером менее 3×3 м (кроме каменных), будки, посты регулирования, пожарные лестницы (опирающиеся на землю), иллюминаторы и приемники размером до 2×2 м, выгребные ямы (каменные показывают, если они выражаются в масштабе 1:2000), столбы деревянные, светофоры, линии телефонной и телеграфной связи, распределительные телефонные шкафы, телефонные будки, уклоноуказатели и ветроуказатели, сточные решетки и все смотровые колодцы выходов подземных сетей.

Отдельно стоящие деревья внутри кварталов объединяют общим контуром. Аллеи изображают отдельно стоящими деревьями на концах аллей, соединенных пунктиром, со схематическим показом промежуточных деревьев.

Текущие плановые изменения и рельеф на планшетах в масштабе 1:5000 снимают с помощью мензулы с обмером зданий и сооружений по габаритам, с составлением плана на местности.

Топографический план в масштабе 1:2000, отражающий современное состояние ситуации и рельефа, служит для обновления планов более мелких масштабов (1:5000, 1:10 000 и др.) и для определения целесообразности полевого обследования планшетов более крупных масштабов (1:1000, 1:500) и съемки текущих изменений, а также для издания планов с красными линиями кварталов, зеленых насаждений, водных поверхностей и планов с подземными сетями и сооружениями.

Съемки городов и поселков следует выполнять с использованием материалов аэрофотосъемки.

Фотографическое изображение местности на фотопланах или фотосхемах дает проектировщику наглядное и полное представление о территории города, внутриквартальной застройке и ее состоянии, об отдельных сооружениях, характера и густоте зеленых насаждений, поймах рек, оврагов и т. п.

Преимущество аэрофотосъемочных материалов заключается также в том, что по материалам одного и того же залета, не дожидаясь завершения полного цикла съемочных работ, можно быстро получить фотопланы или фотосхемы различных масштабов для топографического обеспечения соответствующих видов проектно-планировочных работ.

Большое значение имеет применение аэрофотосъемки для обновения и уточнения имеющихся топографических планов.

Различают в основном два метода аэрофототопографической съемки:

комбинированный, когда контурную часть плана получают в виде фотоплана, а съемка рельефа выполняется непосредственно на местности (на фотоплане) с применением мензулы или нивелира;

стереотопографический, когда по аэрофотоснимкам получают изображение контуров и рельефа с помощью стереофотограмметрических приборов.

Применительно к съемке городов, особенно в масштабах 1 : 1000 и 1 : 500, возможно сочетание этих двух методов съемки, когда с помощью стереофотограмметрических приборов получают план ситуации и горизонтالي внутри кварталов и на незастроенных территориях, а вертикальную съемку проездов выполняют с помощью нивелира.

§ 41. ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ АЭРОФОТОГРАФИРОВАНИЯ ДЛЯ СЪЕМКИ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Для получения фотопланов (особенно при комбинированном методе съемки) стремятся применять длиннофокусные нормальноугольные или узкоугольные аэрофотоаппараты (АФА) для того, чтобы смещения изображения из-за рельефа местности, а также крыш построек (из-за их высоты) находились в допустимых пределах. Выбор фокусного расстояния АФА, таким образом, будет зависеть от масштаба составляемого плана, характера рельефа и застройки. При формате аэрофотоснимков 18×18 см для создания фотопланов можно применять АФА с фокусными расстояниями 200, 350 и 500 мм. При этом АФА с $f_k = 200$ мм следует применять только при соз-

дании фотопланов масштабов 1:1000, а АФА с $f_k=350$ и 500 мм — при создании фотопланов масштаба 1:500.

Масштаб фотографирования задается в несколько раз мельче, чем масштаб создаваемого фотоплана. Выбор масштаба фотографирования обусловлен в основном возможными коэффициентами увеличения имеющихся фототрансформаторов, а также информационной емкостью аэрофотоснимков, обеспечиваемой АФА. Для получения фотопланов определенных масштабов установлены соответствующие масштабы фотографирования:

| Масштаб фотоплана | Масштаб фотографирования |
|-------------------------|--------------------------|
| 1:5000 | 1:15 000—1:20 000 |
| 1:2000 | 1:8000 |
| 1:1000, 1:500 | 1:5000—1:6000 |
| 1:2500 | 1:3000 |

Известно, что при одном и том же масштабе фотографирования стереофотограмметрические определения высот точек местности получаются тем точнее, чем больше угол поля зрения аэрофотоаппарата. Поэтому для стереотопографического метода съемки незастроенных территорий широко применяются сверхширокоугольные АФА. Однако при съемках застроенных территорий применять эти АФА нецелесообразно, так как перспективные изображения построек будут закрывать значительную часть проездов, тем большую, чем больше широкоугольность АФА и чем выше застройка. В частности, при $f_k=70$ мм и при нормальных перекрытиях снимков ширина «мертвой зоны» будет равна высоте построек. Поэтому при стереотопографической съемке застроенных территорий применяют широкоугольные АФА с $f_k=100$ или 140 мм, а в некоторых случаях и более узкоугольные (например, при съемках в масштабах 1:1000 и 1:500). Применять сверхширокоугольные АФА (с $f_k=70$ мм) для фотографирования застроенных территорий возможно только при малоэтажной застройке и при выполнении второго залета с нормальноугольными или узкоугольным АФА для составления фотопланов.

Выбор аэрофотоаппарата и масштаба фотографирования при стереотопографической съемке зависит от характера застройки (этажности и плотности) и от заданной высоты сечения рельефа, а следовательно, от требуемой точности определения фотограмметрических высот точек местности.

Величины относительных ошибок фотограмметрических высот, определенных по аэроснимкам масштабов 1:10 000 и крупнее, составляют 1/3000—1/4000 при $f_k=100$ мм, 1/3500—1/5000 при $f_k=140$ мм, 1/4500—1/6000 при $f_k=200$ мм.

При более мелких масштабах фотографирования величины относительных ошибок будут несколько меньше.

Таким образом, например, стереотопографическая съемка с высотой сечения рельефа 1 м может обеспечить требуемую точность изображения рельефа (со средней квадратической

ошибкой 0,30 м) при масштабах фотографирования 1 : 10 000—1 : 12 000 при $f_k=100$ мм ($H=1000-1200$ м), 1 : 8500—1 : 10 000 при $f_k=140$ мм ($H=1200-1400$ м) и 1 : 7000—1 : 9000 при $f_k=200$ мм ($H=1400-1800$ м).

В то же время при выборе масштаба фотографирования следует учитывать, какое увеличение масштаба плана по сравнению с масштабом аэрофотосъемки может быть обеспечено имеющимся парком стереофотограмметрических приборов. При работе на СПР без координатографа масштаб плана может быть крупнее масштаба снимков только в 2 раза, на СД-3 — в 3 раза (можно и в 4, но тогда координатограф не сможет обслужить всю площадь стереопары), на СПР-3М с координатографом и на стереометрографе практически ограничений нет. Кроме того, для застроенных территорий существенное значение имеет съемка контуров, точность положения которых будет снижаться при слишком большом уменьшении масштаба фотографирования.

При съемке в масштабе 1 : 5000 с высотой сечения рельефа 1 м наиболее рационально выполнять фотографирование в масштабе 1 : 12 000 аэрофотоаппаратом с $f_k=100$ мм. При сплошной многоэтажной застройке и той же высоте сечения следует учесть, что перспективные изображения зданий, деревьев будут закрывать площадь, равную примерно 0,7 от их высоты при $f_k=100$ мм и примерно 0,5 от их высоты при $f_k=140$ мм. В этом случае целесообразно применять АФА с $f_k=140$ мм и масштабом фотографирования 1 : 10 000. Если же стереоскопическую рисовку рельефа выполнять по аэроснимкам, полученным АФА с $f_k=100$ мм, то для составления фотоплана целесообразно было бы выполнить второй залет с использованием АФА с $f_k=200$ мм при заданном масштабе фотографирования 1 : 20 000.

При съемке в масштабе 1 : 2000 с высотой сечения рельефа 1 м масштаб фотографирования целесообразно задавать мельче 1 : 8000, а в некоторых случаях и 1 : 6000 (при использовании СД-3). Поэтому фотографирование можно выполнять как АФА с $f_k=140$ мм, так и АФА с $f_k=200$ мм. На незастроенных территориях целесообразно применять АФА с $f_k=100$ мм, тогда можно делать разреженную высотную подготовку.

Продольное и поперечное перекрытия, прямолинейность маршрутов аэрофотосъемки и остальные показатели качества залета должны соответствовать установленным техническим требованиям.

В застроенной части каждого города имеется много деревьев и зеленых насаждений, кроны которых летом закрывают на аэроснимках от 40 до 80 % территории улиц и проездов. На 1 км проезда приходится в среднем до 45 колодцев выходов подземных коммуникаций, из которых около 50 % закрывается кронами деревьев. Поэтому аэрофотосъемку населенных пунктов с большим количеством зеленых насаждений целесообразно

производить весной до появления листвы или осенью, когда листья с деревьев опадут, до появления снежного покрова.

Аэросъемку выполняют в облачную погоду или в утренние и вечерние часы, когда тени наиболее прозрачны. При проявлении аэрофильмов, полученных в солнечную погоду, нельзя допускать чрезмерной контрастности изображения.

На территории городов и поселков имеется густая сеть пунктов опорной геодезической сети, которую необходимо использовать при комбинированном и стереотопографическом методах аэрофотосъемки, что повысит точность планов и удешевит стоимость работ по плановой привязке аэроснимков.

Перед аэрофотосъемочными работами производят маркировку пунктов опорной геодезической сети, оформляя их в виде белых квадратов $0,3 \times 0,3$ м или крестов несмываемой краской на тротуарах и проезжей части. В городах с малоэтажной застройкой и проездами без дорожных покрытий в качестве маркировки можно применять окопку, например четырехугольником. Размеры квадрата рассчитывают так, чтобы его изображение на аэроснимке имело размеры $0,4—0,5$ мм.

Если размеры изображения пунктов триангуляции превышают $0,5$ мм, маркируют центр знака так, чтобы его диаметр на снимке был $0,1—0,2$ мм. При малом контрасте знака с окружающим фоном середину его рекомендуется засыпать известью или мелом.

Материалы аэрофотосъемки передают на дальнейшую обработку в следующем объеме: пронумерованные по съемочным маршрутам аэронегативы с цифровой схемой, контактные отпечатки в двух экземплярах, негативы накидного монтажа, репродукции с негативов накидного монтажа в двух экземплярах, паспорта аэрозалетов, журналы оценки фотографического качества негативов, показания радиовысотомеров и статоскопов, характеристика аэрофотоаппарата и затвора, краткая пояснительная записка с указанием оценки качества выполненных работ.

§ 42. ПЛАНОВАЯ ПРИВЯЗКА АЭРОФОТОСНИМКОВ

Геодезическая привязка аэрофотоснимков состоит из комплекса работ, имеющих целью получение опорных точек (опознаков) для составления фотопланов или графических планов. Этот комплекс работ состоит из следующих этапов:

составление проекта размещения зон опознавания на снимаемый участок;

опознавание на аэроснимках контурных точек, принятых в качестве опознаков, их закрепление на местности; контроль опознавания и геодезическое определение координат опознаков;

вычислительные работы и составление каталогов координат опознаков.

Составление проекта размещения опознаков. Перед началом составления проекта размещения опознаков следует детально изучить материалы аэрофотосъемок и ранее выполненных геодезических работ с учетом требований фотограмметрической обработки с тем, чтобы объем геодезических работ по определению опознаков был минимальным.

Плановые опознаки выбирают таким образом, чтобы в начале и в конце каждого маршрута имелось по две опорные точки, расположенные по обе стороны от оси маршрута, и одна опорная точка в середине маршрута.

Расстояния между плановыми опознаками вдоль маршрута не должны превышать 100 см в масштабе составляемого плана, если фотограмметрическое сгущение плановой опорной сети проектируется выполнять с помощью универсальных стереофотограмметрических приборов, и 140 см в масштабе плана, если оно будет выполняться аналитическим способом по измерениям на стереокомпараторах. Если на какой-либо части снимаемой территории имеются крупные водоемы, занимающие значительную площадь (около $1/3$ — $1/4$ площади стереопары), необходимо определить в этой зоне дополнительные опознаки. Если изображение водоема занимает несколько стереопар, что приводит к разрыву фотограмметрической сети, то на берегах его для каждого маршрута аэросъемки определяют по два опознака.

При съемках застроенных территорий в масштабе 1:5000 замаркированных точек обязательного геодезического обоснования будет вполне достаточно; при съемке в масштабе 1:2000 потребуются небольшие дополнения, а при съемках в масштабах 1:1000—1:500 следует дополнительно определить 70—80 % плановых опорных точек.

Выбранные зоны опознавания обводят на снимках кружком диаметром 2—3 см, а на репродукции накидного монтажа — кружком диаметром 3—4 см. Составленный проект привязки аэроснимков сопровождается пояснительной запиской.

Опознавание и определение геодезических координат опознаков на аэрофотоснимках. Опознавание контурных точек на местности — процесс очень ответственный, так как неправильно опознанная точка не может быть использована при увязке фотограмметрической сети. Процесс опознавания заключается в том, что в намеченной зоне аэрофотоснимка выбирают точку, затем опознают и закрепляют ее на местности. Контроль опознавания заключается в сличении промеров от постоянных контуров, расположенных вблизи опознанной точки, на местности и на снимке.

Плановыми опознаками могут являться замаркированные пункты геодезической (плановой) основы и контурные точки местности, которые должны быть опознаны с точностью 0,1 мм (в масштабе плана).

Контурными точками при опознавании могут быть пересечения дорог, канав, основания столбов, заборы, знаки границ землепользований, дорожки в парках, люки подземных коммуникаций и т. п.

Не следует брать в качестве опознаков расплывчатые контуры (например, кусты и деревья, если не просматриваются их основания). Если невозможно выбрать опознаваемый контур в намеченной зоне аэроснимка, то контурную точку можно выбрать за пределами зоны, не ухудшая при этом фотограмметрических условий размещения опознаков.

Следует учитывать, что использование в качестве плановых опознаков немаркированных контурных точек крайне нежелательно, особенно при съемке в масштабах $1:1000$ — $1:500$.

Опознанные точки накалывают тонкой иглой на аэроснимках, увеличенных до масштаба плана. На обороте снимка накол точки обводят кружком диаметром 3 мм, подписывают номер опознака и делают подробную в укрупненном масштабе зарисовку расположения опознака, дают пояснительную подпись, характеризующую опознанную точку, а также дату опознавания и подпись исполнителя. Опознаки закрепляют временными знаками (кольями, трубами и т. п.).

Контрольное опознавание выполняется на других снимках другим исполнителем. Контрольному опознаванию обычно подвергается около 60 % всех опознаков.

Определение геодезических координат производится различными способами, но с условием, чтобы ошибки в положении плановых опознаков относительно пунктов геодезической основы не были больше 0,2 мм (в масштабе плана). Одновременно с определением плановых координат опознаков должны

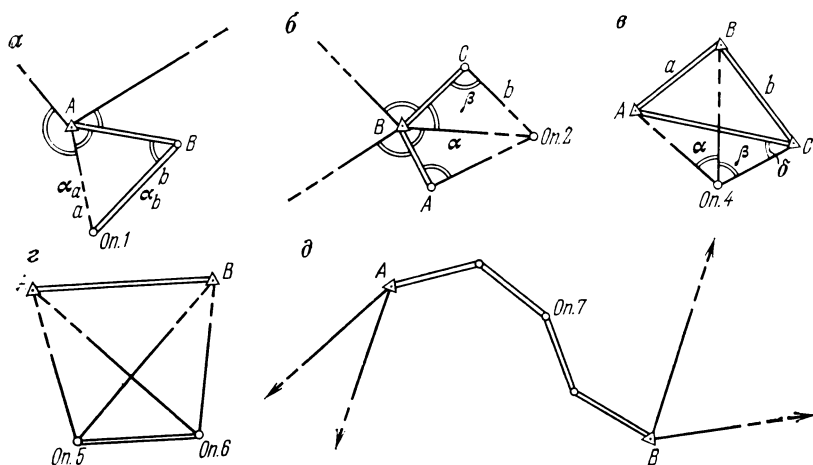


Рис. 102. Типовые схемы привязки опознаков:

а, б — прямая засечка; в — обратная засечка; г — геодезический четырехугольник; д — привязка с помощью теодолитного хода

быть определены и их высоты (геометрическим или тригонометрическим нивелированием).

Для определения координат опознаков применяют различные виды засечек — прямую, обратную и комбинированную. В городах привязку аэроснимков выполняют главным образом с помощью теодолитных ходов или заменяющих их сетей микротриангуляции, опирающихся на пункты опорной геодезической сети (триангуляции или полигонометрии). Типовые схемы привязок приведены на рис. 102.

При определении опознанных контурных точек прямой засечкой нужно учитывать, что наилучшие засечки получаются под углом 80° — 100° и производятся не менее чем с трех пунктов геодезической основы; засечку под углом менее 30° и более 150° применять не рекомендуется.

Координаты опознаков, определенных прямой засечкой, вычисляют по формулам (см. рис. 102, а и б)

$$x_{оп} = b \cos \alpha_b + x_B; \quad y_{оп} = b \sin \alpha_b + y_B;$$

$$b = \frac{\Delta x_{BC} \sin \alpha_a - \Delta y_{BC} \cos \alpha_a}{\sin (\alpha_a - \alpha_b)};$$

$$x_{оп} = \frac{x_a \operatorname{tg} \alpha_a - x_b \operatorname{tg} \alpha_b - (y_b - y_a)}{\operatorname{tg} \alpha_a - \operatorname{tg} \alpha_b};$$

$$y_{оп} = (x_{оп} - x_B) \operatorname{tg} \alpha_a + y_A.$$

Для опознаков, определенных обратной засечкой, вычисления делают по формуле (см. рис. 102, в)

$$\operatorname{tg} \alpha_A = \frac{A_y + B_x \sin \delta - B_y \cos \delta}{A_x - B_x \cos \delta - B_y \sin \delta},$$

где

$$A_x = \frac{x_B - x_A}{\sin \alpha}; \quad B_x = \frac{x_C - x_B}{\sin \beta};$$

$$A_y = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha}; \quad B_y = \frac{y_C - y_B}{\sin \beta},$$

после чего задача решается по формулам прямой засечки.

§ 43. ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ И СОСТАВЛЕНИЕ КАТАЛОГОВ КООРДИНАТ ОПОЗНАКОВ

По мере накопления материалов полевых работ вычисляют координаты опознаков. Перед началом вычислений проверяют все полевые журналы и схемы геодезических определений.

Координаты опознаков вычисляют в местной системе координат, принятой для города.

Уравнивание теодолитных ходов производят методами, изложенными в гл. 6.

Когда в результате привязки аэроснимок обеспечивается четырем или более опознакам, правильность опознавания, определения и вычисления координат может быть проверена следующим способом. На лист восковки размером в 2 раза больше размера снимка накладывают аэроснимок и переносят все опознаки и центр аэроснимка, который определится как пересечение прямых, соединяющих противоположные координатные метки аэроснимка. На восковке через наколы центра снимка и каждого опознака проводят линии. Восковку с проведенными направлениями накладывают на планшет, на котором нанесены по координатам опознаки, так, чтобы все направления одновременно прошли через соответствующие опознаки. Если этого достигнуть не удастся, то в привязке какого-либо опознака (в опознавании, определении или вычислениях) есть грубая ошибка.

При выполнении полевых и вычислительных работ составляют каталог координат опознаков и краткую пояснительную записку, в которой освещаются следующие вопросы:

- характеристика района в топографическом отношении; площадь участка; номенклатуры планшетов; заданные и выполненные сроки и объемы работ — количество привязанных аэроснимков и планшетов, геодезических пунктов, контурных точек; требуемое и фактически затраченное время на выполнение всего объема работ;

- перечень материалов и видов ранее выполненных топографо-геодезических работ (триангуляция, полигонометрия, нивелирование, съемочное обоснование, съемки разных масштабов и т. п.); характеристика анализа точности и качества этих работ; перечень исходных данных по геодезической основе (плановой и высотной), которые были использованы при привязке аэроснимков, в том числе масштабы плановых съемок в случае камерального опознавания;

- характеристика аэрофотосъемочных работ — паспорт за-
лета;

- объекты опознавания, характеристика качества и точности опознавания контурных точек и пунктов геодезической основы;

- характеристика точности выполненных работ по привязке опознаков;

- кем и когда выполнялось инспектирование работ и результаты проверок; общая оценка всех работ и материалов, передаваемых для фотограмметрической обработки; акты проверки и приемки работ прикладываются к пояснительной записке.

§ 44. КАМЕРАЛЬНАЯ ПРИВЯЗКА АЭРОФОТОСНИМКОВ

В отдельных случаях, вызванных необходимостью особо срочного получения контурных фотопланов, при наличии топографических планов масштаба 1 : 5000 и крупнее, удовлетво-

ряющих требованиям нормативных документов по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях сельскохозяйственного, промышленного, городского и поселкового строительства Госстроя СССР, допускается производить опознавание и привязку контурных точек камеральным путем.

Камеральная привязка аэроснимков сводится к следующим процессам.

Руководствуясь проектом привязки снимков, опознают и накалывают все пункты геодезической основы. При невозможности непосредственного опознавания указанных пунктов положения последних на снимках определяют засечками и промерами от ближайших характерных и надежных контуров плана.

Если количество опознанных таким образом пунктов геодезической основы недостаточно, то на аэроснимок накалывают наиболее надежные определенные при съемке контурные точки, имеющиеся на топографическом плане и снимке.

В целях обеспечения контроля и получения фотопланов требуемой точности при камеральной привязке аэроснимков необходимо опознавать большее количество геодезических и контурных точек, чем это предусматривается проектом размещения опознаков при полевой привязке аэроснимков.

Координаты контурных точек, опознанных камеральным путем, определяют графически по топографическим планам. К аэроснимку прикладывают восковку с выкопировкой положения опознанного контура и ближайших пересечений координатной дециметровой сетки плана.

При камеральном опознавании применяют простой стереоскоп, позволяющий достаточно правильно и точно накалывать точки.

Все остальные процессы по привязке опознаков, за исключением полевых измерений и вычислений, выполняют в полном соответствии с требованиями, указанными выше.

Если камеральную привязку аэроснимков выполняют в районе полевых работ, то производят контрольное опознавание точек в поле.

§ 45. ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЕ СГУЩЕНИЕ ОПОРНОЙ СЕТИ

Для трансформирования аэроснимков с целью создания фотопланов необходимо, чтобы опорные точки находились в определенных зонах каждого аэроснимка — одна вблизи главной точки аэроснимка и четыре по углам используемой части аэроснимка. Для составления фотопланов пересеченной местности могут потребоваться дополнительные точки на перегибах скатов для последующего трансформирования на наклонные плоскости. Поэтому после привязки аэроснимков выполняют фотограмметрическое сгущение опорной сети.

Фотограмметрическое сгущение опорной сети выполняется путем пространственной фототриангуляции аналитическим ме-

тодом или с помощью универсальных стереофотограмметрических приборов (аналоговым или аналогово-аналитическим методом). Предварительно составляют проект построения фотограмметрической сети. При составлении проекта разбивают маршруты аэрофотосъемки на секции, обеспеченные по краям парами плановых опорных точек и одной точкой посередине между ними. Затем выбирают точки фотограмметрического сгущения, количество которых зависит от программы обработки данных на ЭВМ, характера рельефа местности и содержания последующих фотограмметрических работ. Для построения сети необходимо на каждой стереопаре в каждой из зон тройного перекрытия выбрать минимум три точки — одну вблизи главной точки среднего снимка и две по краям. Для трансформирования на одну плоскость выбирают еще минимум две точки. Кроме того, в фотограмметрическую сеть включают все опорные геодезические точки, точки для трансформирования на наклонные плоскости и в случае необходимости точки для контроля точности выполнения последующих фотограмметрических процессов. Измерения выполняют по диапозитивам (на стекле) с аэроснимков. Все диапозитивы секции должны изготавливаться в один и тот же день при сохранении постоянной влажности и температуры в помещении. Перед измерениями на диапозитивах (одном из двух) при рассматривании их под увеличением 6—8× накалывают намеченные точки фотограмметрического сгущения. Лучше, если эта накладка выполняется с помощью специального прибора ДСИ.

При аналитическом способе фотограмметрического сгущения измерения выполняют на стереокомпараторах (желательно с автоматической регистрацией результатов измерений). После этого подготавливают информацию и выполняют счет на ЭВМ по имеющейся программе. Если программа предусматривает построение только маршрутных сетей, то после получения результатов счета необходимо проверить величины расхождений координат точек, определенных из смежных маршрутов, и в случае соблюдения допусков получить их усредненные значения. Если программой предусмотрено уравнивание блока фотограмметрических сетей, то эту работу выполнит ЭВМ, и в результате счета должны быть даны уже увязанные координаты.

Построение пространственных фотограмметрических сетей с помощью универсальных стереофотограмметрических приборов можно выполнять путем ориентирования каждого последующего аэроснимка к предыдущему (способ зависимых моделей) и снятия соответствующих отсчетов со счетчиков координат (модели) или путем взаимного ориентирования снимков каждой стереопары со снятием отсчетов по счетчикам (способ независимых моделей). В первом случае плановая сеть может быть построена графически, но редуцирование сети должно осуществляться аналитически. Во втором случае соединение отдельных моделей и редуцирование следует выполнять аналитическим

способом (на настольных вычислительных машинах или на ЭВМ). Увязка построенных сетей выполняется примерно так же, как и при аналитическом методе их построения.

В результате пространственного фототриангулирования получают все три координаты фотограмметрических точек, которые могут быть использованы для трансформирования аэроснимков. В некоторых программах аналитической фототриангуляции предусмотрена выдача на печать установочных данных для трансформирования.

§ 46. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ФОТОПЛАНОВ

Фотопланом называется план местности, составленный из трансформированных аэроснимков, приведенных к одному заданному масштабу и исправленных за углы наклона оси аэрофотоаппарата.

Изготовление фотопланов состоит из следующих процессов: трансформирование снимков на фототрансформаторах, которое состоит из приведения снимков к заданному масштабу и исправления за углы наклона;

монтаж фотопланов заключается в наклежке трансформированных отпечатков на основу по опорным точкам.

При крупномасштабных съемках масштаб фотографирования для получения фотопланов выгодно иметь таким, чтобы один снимок покрывал целый планшет. Тогда отпадает необходимость в монтаже отдельных аэроснимков. В то же время следует учитывать, что характер рельефа местности сильно влияет на возможности трансформирования аэроснимков на одну плоскость. В табл. 95 приведены допустимые разности высот в пределах одной зоны трансформирования при условии, что смещение точки на краю зоны из-за рельефа не превышает 0,3 мм (застроенные территории).

Поэтому при трансформировании на ряд параллельных или наклонных плоскостей следует применять оптический монтаж.

Если количество плоскостей, на которые надо трансформировать аэроснимок, превышает пять, следует применять дифференциальное трансформирование.

При дифференциальном трансформировании экспонирование фотоизображения происходит через небольшую щелевую диафрагму, перемещаемую над фотоматериалом (пластинка или пленка) с постоянной скоростью, а оператор, наблюдая стереомодель и удерживая измерительную марку на касании ее с поверхностью, тем самым обеспечивает необходимое изменение масштаба проектирования. Подбор щелевой диафрагмы осуществляется в зависимости от рельефа сфотографированной местности. Полученный таким образом ортофотонегатив путем проекционной печати увеличивают до заданного масштаба. Способом дифференциального трансформирования можно получать фотопланы местности с сильно расчлененным рельефом.

Таблица 95

| Масштаб плана | 1 : 5000 | | | | 1 : 2000 | | | | 1 : 1000 | | | 1 : 500 | | |
|-----------------------------------------------------|------------------------------|-----|-----|------|----------|-----|-----|-----|----------|-----|-----|---------|-----|-----|
| Фокусное расстояние АФА, мм | 70 | 110 | 140 | 200 | 100 | 140 | 200 | 350 | 200 | 350 | 500 | 200 | 350 | 500 |
| Радиус рабочей площади аэросним- ка, мм | Допустимые разности высот, м | | | | | | | | | | | | | |
| 60 | 3,5 | 5,0 | 7,0 | 10,0 | 2,0 | 2,8 | 4,0 | 7,0 | 2,0 | 3,5 | 5,0 | 1,0 | 1,8 | 2,5 |
| 70 | 3,0 | 4,3 | 6,0 | 8,5 | 1,7 | 2,4 | 3,4 | 6,0 | 1,7 | 3,0 | 4,5 | 0,8 | 1,5 | 2,0 |
| 80 | 2,6 | 3,8 | 5,2 | 7,5 | 1,5 | 2,1 | 3,0 | 5,2 | 1,5 | 2,6 | 4,0 | 0,7 | 1,3 | 2,0 |
| 90 | 2,3 | 3,3 | 4,6 | 6,5 | 1,3 | 1,9 | 2,7 | 4,7 | 1,4 | 2,4 | 3,5 | 0,7 | 1,2 | 1,8 |
| 100 | 2,1 | 3,0 | 4,2 | 6,0 | 1,2 | 1,7 | 2,4 | 4,2 | 1,2 | 3,0 | 3,0 | 0,6 | 1,0 | 1,5 |
| 110 | 1,9 | 2,8 | 3,8 | 5,4 | 1,1 | 1,5 | 2,2 | 3,8 | 1,1 | 3,0 | 3,0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 |

Фотопланы контролируют по расхождениям на точках основы, по порезам между снимками или зонами, по рамкам планшетов. При этом несовмещения пунктов основы с соответствующими точками фотоизображения не должны превышать 0,4 мм, расхождения идентичных контуров по рамкам должны быть не более 0,8 мм, а расхождения в положении контуров по порезам между соседними снимками внутри плана допускаются до 0,5 мм.

§ 47. ТЕХНИКА ДЕШИФРИРОВАНИЯ ФОТОПЛАНОВ И АЭРОФОТОСНИМКОВ ГОРОДОВ

Дешифрирование фотопланов и аэроснимков городов заключается в опознавании объектов и контуров местности, имеющих на фотоплане или аэроснимке, определении их характеристик и в вычерчивании опознанных объектов и контуров.

В задачу дешифрирования входит и нанесение на фотопланы или аэроснимки неизобразившихся или вновь появившихся объектов и контуров посредством промеров или засечек от имеющих на фотопланах ясно выраженных контуров.

Различают полевое и камеральное дешифрирование. Обычно применяют сочетание этих двух способов. При этом полевое дешифрирование может предшествовать камеральному, а может выполняться и после него как завершающий этап съемки. Для обеспечения наибольшей полноты и правильности камерального дешифрирования предварительно производят сбор материалов различных ведомств, содержащих сведения топографического

характера, например, характеристики покрытия улиц и дорог, схемы расположения линий связи, ЛЭП, электроподстанций, трансформаторных будок, водопровода, газопровода, канализации, названия улиц, площадей, местонахождение промышленных предприятий и зданий общественного пользования и т. п.

При съемках масштаба 1 : 2000 и крупнее следует получить также данные технической инвентаризации. На основании этих данных, рассматривая аэроснимки под увеличением, можно опознать и вычертить значительное количество объектов, подлежащих нанесению на топографический план. Одновременно при этом становится ясным, на какие объекты следует обратить особое внимание при полевом дешифрировании и какие уверенно и полностью отдешифрированы камерально.

Результаты камерального дешифрирования подлежат полевой доработке и контролю. Результаты дешифрирования застроенных территорий следует оформлять на фотопланах. На незастроенных территориях с малым количеством контуров результаты дешифрирования можно оформлять на увеличенных примерно до масштаба плана аэроснимках.

Дешифрирование является наиболее сложным и ответственным процессом, так как этими работами определяется содержание топографического плана города, а следовательно, и его полноценность. Вычерчивание при дешифрировании обычно выполняют не на мозаичных фотопланах, а на светокопиях с них. Светокопии с мозаичных фотопланов изготовляют на матовой фотобумаге на жесткой основе. Расхождения в размерах рамок должны быть не более 0,3 мм.

При дешифрировании и вычерчивании построек на фотоплане следует учитывать особенности их фотографического изображения. Чем крупнее масштаб съемки и чем более широкоугольным АФА выполнялось фотографирование местности, тем больше перспективные искажения построек, заводских труб, столбов, деревьев и прочих высоких объектов. Поэтому при дешифрировании следует тщательно находить основания объектов, которые должны быть нанесены на топографический план. Основания объектов, расположенных на краях снимка, обычно просматриваются на фотоизображении только с одной или двух сторон. Две другие стороны основания объектов будут хорошо просматриваться на соседних снимках. Кроме того, для определения основания постройки можно воспользоваться изображением ее крыши. При наличии данных технической инвентаризации и соответствии их с фотоизображением контур постройки может быть отдешифрирован достаточно уверенно. При несовпадении данных инвентаризации с фотоизображением правильность дешифрирования данной постройки подлежит полевой проверке.

Основания построек, расположенных вблизи центра аэроснимка, не будут видны на фотоизображении, но хорошо видна крыша. При вычерчивании контура дома по крыше следует учи-

тивать, что основание его всегда меньше крыши из-за наличия карнизов и свесов, а для высоких построек следует учитывать искажения, возникающие за счет высоты. Величины карнизов и свесов крыш можно на фотоплане определить по перспективным изображениям построек и по их теням. Высоту постройки можно установить по данным технической инвентаризации или путем измерения разностей продольных параллаксов от поверхности земли до крыши. Измерения можно выполнять на топографическом стереометре, интерпретоскопе, с помощью параллактических линеек. Указанные особенности при дешифрировании застройки следует учитывать при съемках в масштабах 1 : 2000 и крупнее, а при съемке в масштабе 1 : 5000 — только при дешифрировании крупных многоэтажных зданий.

Подробность дешифрирования фотопланов должна быть такой, чтобы по содержанию план отвечал принятому стандарту и условным знакам, т. е. с соблюдением тех же нормативов нагрузки, как и при наземных методах съемки.

При полевой доработке камерального дешифрирования проверяют правильность неуверенно отдешифрированных объектов, дополняют недостающие характеристики, наносят по данным промеров объекты, не получившиеся на фотоизображении или появившиеся после выполнения аэрофотосъемки.

Ошибки в опознавании контуров на фотоплане не должны превышать 0,3 мм, а во взаимном положении капитальных зданий — 0,4 мм.

Приемка дешифрированных фотопланов осуществляется на местности путем обхода и промеров расстояний между домами, между твердыми контурами через проезды и на пересечении улиц.

При приемке работ руководствуются установленными допусками и условными знаками. Результаты дешифрирования закрепляют полевым вычерчиванием.

§ 48. СЪЕМКА РЕЛЬЕФА НА ФОТОПЛАНАХ

Рельеф снимают на фотопланы при помощи мензулы и кипрегеля путем определения отметок его характерных точек. Отметки пикетов, необходимые для изображения рельефа горизонталями, определяют так же, как при мензульной съемке, с точек съемочного обоснования. Расстояния до пикетных точек определяют измерением на фотоплане или дальномером. Если расстояние до пикетной точки можно измерить на фотоплане, среднюю нить кипрегеля наводят на основание опознанного контура или предмета. Такой безречный пикет можно определить также, пользуясь линейными контурами, для чего планшет ориентируют и наводят трубу кипрегеля на точку линейного контура так, чтобы линейка касалась на фотоплане точки стояния прибора. Пикетную точку накалывают на пересечении скошенного ребра линейки кипрегеля и контура. Пикетные точки, не опознаваемые на фотоплане, определяют с помощью дальномера.

Вертикальные углы измеряют кипрегелем при одном положении вертикального круга. При определении высоты безреечных точек визируют на поверхность земли, а при определении высоты по рейке наводят либо на высоту прибора, либо на верх рейки.

Съемку рельефа ведут в соответствии с требованиями, предъявляемыми к мензульной съемке.

На каждый планшет составляют кальку высот, на которую наносят все опорные точки с номерами и отметками, а также отметки всех пикетов.

Фотопланы вычерчивают тушью разного цвета: контур — черным, рельеф — коричневым или красным, гидрографию — зеленым, придерживаясь установленных условных знаков. При полевом вычерчивании главное внимание уделяют отчетливости и полной ясности изображения контуров и рельефа. Размеры условных знаков могут отклоняться от образцов. Прямые линии (дороги, каналы, границы, просеки) нужно вычерчивать по линейке, чтобы при окончательном вычерчивании на синих оттисках не повторить случайные изгибы. Обобщение контуров выполняют в пределах данного масштаба. Горизонтали подписывают так, чтобы цифры своим основанием были обращены к подножию ската.

§ 49. СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД СЪЕМКИ ГОРОДОВ

При стереотопографическом методе съемки городов используют универсальные стереофотограмметрические приборы СПР-ЗМ (стереопроектор Г. В. Романовского), СД-3 (стереограф Ф. В. Дробышева), стереометрограф. В некоторых организациях используют стереопланиграфы.

Стереотопографический метод съемки городов может выполняться в нескольких различных технологических вариантах в зависимости от масштаба составляемого плана, характера застройки и высоты сечения рельефа.

В комплекс работ стереотопографического метода съемки входят следующие основные процессы: аэрофотосъемка данной территории; плановая и высотная привязка аэроснимков; фотограмметрическое сгущение опорной сети (плановой или планово-высотной); составление фотопланов; камеральное дешифрирование и стереоскопическая рисовка рельефа; полевая доработка дешифрирования.

При съемках в масштабе 1 : 5000 этот комплекс работ выполняется во всех случаях. При съемке в масштабах 1 : 2000 и крупнее горных районов и городов с плотной многоэтажной застройкой возможен технологический вариант с составлением графического плана на универсальных приборах (без изготовления фотопланов). В тех случаях, когда на планах требуется дать отметки люков подземных коммуникаций, отметки зданий,

тротуаров и проезжей части улиц, целесообразно сочетание нивелирования проездов со стереоскопической рисовкой рельефа на незастроенных участках, крутых склонах, оврагах и т. п. Для определения целесообразности выбора того или иного технологического варианта следует сравнить их технико-экономические показатели, учесть длительность полевого сезона, наличие соответствующих кадров и оборудования.

§ 50. ВЫСОТНАЯ ПРИВЯЗКА АЭРОФОТОСНИМКОВ

Высотная привязка аэроснимков может быть сплошной, когда каждая стереопара обеспечивается по углам четырьмя опорными точками, и разреженной, когда высотными опознаками обеспечиваются только некоторые стереопары, а в некоторых случаях бывает достаточно определить высоты только плановых опознаков. Допустимое расстояние между высотными опорными точками зависит от масштаба фотографирования, типа аэрофотоаппарата и высоты сечения рельефа. При съемке горных районов достаточно определять только плано-высотные опорные точки. При съемке всхолмленных районов можно делать разреженную высотную привязку при расстояниях между парами опорных точек вдоль маршрута в 3—4 базиса фотографирования. При съемке плоскоравнинных районов предпочтительнее делать сплошную высотную привязку аэроснимков. Выбор той или иной схемы высотной привязки аэроснимков будет также зависеть от технико-экономических показателей всего комплекса работ стереотопографического метода съемки. При крупномасштабных съемках возможны случаи, когда допустима разреженная высотная привязка снимков из-за отсутствия возможности надежного опознавания контуров на аэроснимке.

Высотные опознаки должны располагаться в зоне тройного продольного перекрытия и посередине зоны поперечного перекрытия, но не ближе 1 см от края снимка, а в случае недостаточно высокого качества изображения — не ближе 1,5 см от края. Каждый высотный опознак будет обслуживать две-четыре смежные стереопары. Расстояние от линии базиса до высотных опознаков не должно быть менее 4 см.

При недостаточном продольном перекрытии или отсутствии в зоне тройного перекрытия общих для смежных стереопар четких контуров определяют высотные опознаки для каждой стереопары, однако не отступая более 1,5—2 см от перпендикуляров, восстановленных из главных точек к линии базиса.

В качестве высотных опознаков следует выбирать контуры местности, изображенные отчетливо и резко на обоих снимках, составляющих стереопару. Не следует в качестве высотных опознаков выбирать контуры, расположенные на крутых склонах, вершины деревьев, кустов и построек, тени от предметов.

Высотные опознаки на местности отмечают колышками с указанием номеров, накалывают их на снимки, подписывают и со-

ставляют абрис так же, как на плановые опознаки. На снимке высотные знаки обводят кружками черной тушью.

В процессе высотной привязки снимков опознаванию подлежат все пункты триангуляции, полигонометрии и нивелирования, при этом обязательно измеряют высоту центра или репера относительно поверхности земли и записывают на обратной стороне снимка, против номера соответствующей точки.

Отметки высотных опознаков определяют техническим нивелированием. Невязки в ходах и замкнутых полигонах не должны превышать установленных пределов.

При прохождении ходов для определения отметок высотных опознаков все промежуточные точки по возможности опознают и накалывают на снимках. Если точное опознавание невозможно, точки хода наносят на снимок (без накола) пунктиром. Должны быть измерены и записаны в журнале расстояния до опознаваемых высотных точек, определены отметки урезов воды. Ошибки в определении отметок высотных опознаков не должны превышать 0,1 принятого сечения рельефа.

Когда в соответствии с заданием должны быть определены отметки выходов подземных коммуникаций, тротуаров, входов в капитальные здания и т. п. с ошибкой 3—4 см, одновременно с высотной привязкой аэроснимков выполняют нивелирование проездов. При этом все пикеты должны быть опознаны или нанесены на снимки более крупного масштаба.

§ 51. КАМЕРАЛЬНЫЕ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Фотограмметрическое сгущение плано-высотной опорной сети выполняется теми же методами, что при комбинированной съемке. При этом по некоторым программам аналитической фототриангуляции предусматривается выдача на печать элементов внешнего ориентирования аэроснимков или установочных данных для стереофотограмметрических приборов, что сокращает время, необходимое для их ориентирования. Контурная часть плана, особенно при съемке в масштабе 1 : 5000, может быть составлена в виде фотоплана, на котором так же, как и при комбинированной съемке, выполняют камеральное дешифрирование контуров, после чего приступают к стереоскопической рисовке рельефа на универсальных приборах. Для этого в снимкодержатели приборов закладывают диапозитивы, устанавливают на шкалах элементы ориентирования, определенные при пространственном триангулировании, а затем методом последовательных приближений уточняют взаимное ориентирование снимков, масштаб модели и точность горизонтирования. После этого определяют фотограмметрические отметки точек, высоты которых должны быть подписаны на плане. Стереоскопическое проведение горизонталей осуществляется путем обвода измерительной маркой поверхности модели при постоянной высоте каретки прибора. При этом осуществляют генерализацию рельефа, уби-

рая мелкие нехарактерные детали. Одновременно на приборе по стереомодели проверяют и уточняют результаты камерального дешифрирования. Горизонтالي и уверенно отдешифрированные контуры вычерчивают тушью, после чего фотоплан направляют для полевой доработки дешифрирования.

Когда составление фотопланов нецелесообразно (например, при съемке в масштабах 1:1000 и 1:500 районов со сплошной многоэтажной застройкой), камеральное дешифрирование на основании изучения фотоизображения и предварительно собранных ведомственных материалов выполняется на универсальных приборах, а его результаты фиксируются в виде графического плана. При камеральном дешифрировании на универсальных приборах используют приемы стереоскопического и монокулярного измерений (так же как при дешифрировании фотопланов). При дешифрировании построек все углы наносят стереоскопически. Поправки за ширину карнизов и свесов крыш в случае составления планов масштаба 1:2000 вводятся на глаз путем соответствующего смещения измерительной марки относительно угла крыши, а при съемках в масштабах 1:1000 и 1:500 смещения марки осуществляют путем изменения отсчетов по счетчикам координат. При монокулярных измерениях на стереоприборах обязательным условием является установка каретки прибора на высоту, соответствующую высоте измеряемого объекта.

Стереоскопическая рисовка рельефа выполняется в том же порядке, как и при использовании фотопланов. Если в процессе высотной подготовки было выполнено нивелирование по проездам, то перед стереоскопической рисовкой рельефа, пользуясь полевыми данными, переносят отметки с аэроснимка на графический план и проверяют дополнительно соответствие фотограмметрических высот геодезическим. В случае несоответствия уточняют горизонтирование модели или горизонтируют модель по частям и проводят горизонтالي поочередно в пределах точно горизонтированной части стереопары. Уверенно отдешифрированные контуры и все горизонтالي вычерчивают тушью, после чего полученный графический план направляют на полевую доработку. В процессе полевой доработки уточняют данные камерального дешифрирования и наносят по промерам объекты, не опознанные и не изобразившиеся на аэроснимках или появившиеся за период после производства аэрофотосъемочных работ. После этого все объекты вычерчивают тушью.

Приемка работ проводится на местности.

§ 52. ОСНОВЫ НАЗЕМНОЙ ФОТОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Основные определения и формулы. Пространственное положение точек при наземной фототопографической съемке определяют прямой засечкой по взаимно перекрывающимся фотоснимкам, полученным с базиса фотографирования, который обычно располагают на земной поверхности. Местность фотографируют специальной прецизионной фотокамерой жесткой конструкции—фототеодолитом, который последовательно устанавливают на концах базиса фотографирования.

В основу метода наземной фототопографической съемки положены геометрические соотношения между пространственным положением определяемых точек местности и их фотографическими изображениями на стереопаре наземных снимков.

В наземной фотограмметрии применяют следующие системы координат: 1) плоскую прямоугольную систему координат фотоснимка oxz (рис. 103, а) с началом в главной точке снимка o ; 2) пространственную фотограмметрическую (базисную) систему координат $S_1X_\phi Y_\phi Z_\phi$ (рис. 103, б) с началом в центре проекции S_1 левого снимка стереопары. Ось Z_ϕ направлена вертикально вверх, ось Y_ϕ —проекция главного луча левого снимка на горизонтальную плоскость, ось X_ϕ лежит в горизонтальной плоскости перпендикулярно к оси Y_ϕ , а ее направление соответствует правой системе координат; 3) пространственную геодезическую (левую) систему координат и высот $OXUW$ —государственную или условную, принятую для данного объекта строительства.

Решение задачи по определению геодезических пространственных координат точек местности осуществляют по следующей схеме. Вначале измеряют по фотоснимкам плоские координаты x и z изображений точек местности (так называемые фотокоординаты), а затем, используя соответствующие рабочие формулы, определяя фотограмметрические координаты точек местности. Переход от пространственных фотограмметрических координат к геодезическим выполняют по правилам переноса и поворота координатных осей.

Для получения по стереопаре наземных снимков пространственных координат точек местности необходимо знать величины, определяющие положение фотоснимков в пространстве в момент фотографирования, т. е. знать элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимков.

Элементами внутреннего ориентирования определяют положение снимка относительно центра проекции.

* Гл. 9 написана П. Н. Бруевичем.

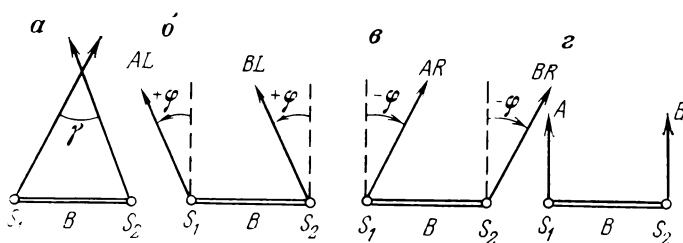


Рис. 104. Случаи наземной стереофототопографической съемки:

а — конвергентный; *б, в* — равномерно отклоненные оси фотокамеры; *г* — нормальный

вой точках базиса; κ_1 и κ_2 — углы поворота (или крена) левого и правого фотоснимков в своих плоскостях; горизонтальный угол γ между оптическими осями фотокамеры, последовательно устанавливаемой на левом и правом концах базиса (угол конвергенции).

Использование такой системы элементов внешнего ориентирования не требует определения пространственных геодезических координат правого центра проекции S_2 .

Следовательно, для решения задачи определения пространственных координат точек сфотографированного объекта по стереопаре наземных снимков необходимо знать 18 величин: 6 элементов внутреннего ориентирования (по три для каждого снимка) и 12 элементов внешнего ориентирования. Так как в большинстве случаев на концах съемочного базиса устанавливают одну и ту же фотокамеру, то считают, что элементы внутреннего ориентирования остаются неизменными для обоих снимков стереопары.

Таким образом, элементами ориентирования стереопары наземных снимков являются три элемента внутреннего и 12 элементов внешнего ориентирования.

В зависимости от значений угловых элементов внешнего ориентирования различают следующие случаи съемки: общий (произвольный), конвергентный и параллельный.

При общем случае съемки каждый из элементов может иметь произвольное значение. Этот случай съемки на практике применяют редко, так как обработка снимков требует большого объема вычислений.

Конвергентный случай съемки характерен тем, что оптические оси фотокамеры в левом и правом концах базиса не параллельны друг другу, т. е. угол $\gamma \neq 0$. Обычно рассматривают конвергентный случай съемки при горизонтальных оптических осях камер (рис. 104, *а*), когда углы наклона ω_1 и ω_2 равны нулю. Рабочие формулы, определяющие связь плоских прямо-

угольных координат x, z точек снимков и пространственных фотограмметрических координат точек местности, имеют вид

$$Y_{\Phi} = Bf \frac{f_K \cos(\Phi + \gamma) + x_2 \sin(\Phi + \gamma)}{(f_K^2 + x_1 x_2) \sin \gamma + f_K p \cdot \cos \gamma} = fN;$$

$$X_{\Phi} = Bx_1 \frac{f_K \cos(\Phi + \gamma) + x_2 \sin(\Phi + \gamma)}{(f_K^2 + x_1 x_2) \sin \gamma + f_K p \cdot \cos \gamma} = x_1 N;$$

$$Z_{\Phi} = Bz_1 \frac{f_K \cos(\Phi + \gamma) + x_2 \sin(\Phi + \gamma)}{(f_K^2 + x_1 x_2) \sin \gamma + f_K p \cdot \cos \gamma} = z_1 N,$$

где x_1, x_2 — абсциссы изображений точек в системе координат соответственно левого и правого снимков стереопары; Φ — угол отклонения (скоса) горизонтальной оптической оси фотокамеры в левом конце базиса; γ — угол конвергенции; p — продольный параллакс определяемой точки, равный разности абсцисс, $p = x_1 - x_2$. Часто при обработке снимков измеряют абсциссу x_1 и параллакс p , а абсциссу x_2 вычисляют по формуле $x_2 = x_1 - p$. Переменный множитель

$$N = B \frac{f_K \cos(\Phi + \gamma) + x_2 \sin(\Phi + \gamma)}{(f_K^2 + x_1 x_2) \sin \gamma + f_K p \cdot \cos \gamma}$$

изменяется для данной стереопары от точки к точке в зависимости от текущих координат x_1 и x_2 .

Параллельный случай, когда оптические оси камер на концах базиса фотографирования устанавливают взаимно параллельными. При этом обычно выделяют следующие случаи съемки: равномерно наклоненный, равномерно отклоненный и нормальный.

Случай равномерно наклоненных осей имеет место, когда оптические оси наклонены к горизонту на один и тот же угол $\omega_1 = \omega_2 = \omega \neq 0$ и перпендикулярны к базису фотографирования, т. е. при $\Phi = 0$ $\gamma = 0$. Рабочие формулы этого случая съемки:

$$Y_{\Phi} = \frac{(Bf_K - x_2 h \sin \omega)(f_K \cos \omega - z_1 \sin \omega)}{f_K \cdot p} = N_1 (f_K \cos \omega - z_1 \sin \omega);$$

$$X_{\Phi} = \frac{x_1 (Bf_K - x_2 h \sin \omega)}{f \cdot p} = x_1 \cdot N_1;$$

$$Z_{\Phi} = \frac{(Bf_K - x_2 h \sin \omega)(f_K \sin \omega + z_1 \cos \omega)}{f_K \cdot p} = N_1 (f_K \sin \omega + z_1 \cos \omega),$$

где h — превышение правого конца базиса над левым; z_1 — аппликата фотоизображения точки на левом снимке; N_1 — переменный множитель для данной стереопары в зависимости от параллакса p и абсциссы x_2 ,

$$N_1 = \frac{Bf_K - x_2 h \sin \omega}{f_K p}.$$

Случай равномерно отклоненных осей характеризуется тем, что горизонтальные оптические оси параллельны и отклонены на одинаковый угол от нормали к базису, т. е. $\varphi_1 = \varphi_2 \neq 0$, $\omega_1 = \omega_2 = 0$, $\kappa_1 = \kappa_2 = 0$, $\gamma = 0$. При отклонении влево от нормали к базису угол φ считается положительным (см. рис. 104, б), при отклонении вправо — отрицательным (см. рис. 104, в). Фотограмметрические координаты варианта равномерно отклоненных осей находят из следующих выражений:

$$Y_{\Phi} = \frac{Bf_{\kappa}}{\rho} \left(\cos \varphi \pm \frac{x_1}{f_{\kappa}} \sin \varphi \right);$$

$$X_{\Phi} = \frac{Bx_1}{\rho} \left(\cos \varphi \pm \frac{z_2}{f_{\kappa}} \sin \varphi \right) = Y_{\Phi} \frac{x_1}{f_{\kappa}};$$

$$Z_{\Phi} = \frac{Bz_1}{\rho} \left(\cos \varphi \pm \frac{x_2}{f_{\kappa}} \sin \varphi \right) = Y_{\Phi} \frac{z_1}{f_{\kappa}};$$

где знак минус соответствует случаю скоса оптических осей вправо от нормали к базису.

Нормальный случай съемки отличается тем, что горизонтальные оптические оси фотокамеры в левой и правой точках базиса перпендикулярны к линии базиса, т. е. все угловые элементы внешнего ориентирования φ , ω_1 , ω_2 , κ_1 , κ_2 и γ равны нулю (см. рис. 104, г). Зависимость между фотограмметрическими координатами точек местности и их изображениями на фотоснимках для данного случая имеют более простой вид:

$$Y_{\Phi} = \frac{Bf_{\kappa}}{\rho};$$

$$X_{\Phi} = \frac{Bx_1}{\rho} = Y_{\Phi} \frac{x_1}{f_{\kappa}};$$

$$Z_{\Phi} = \frac{Bz_1}{\rho} = Y_{\Phi} \frac{z_1}{f_{\kappa}}.$$

На производстве широкое распространение имеют нормальный и равномерно отклоненный случаи съемки, как наиболее простые для камеральной обработки.

Значительно реже используют равномерно наклоненный и конвергентный случаи, применению которых препятствует отсутствие соответствующих камеральных приборов для обработки снимков. Однако при съемке застроенных территорий эти случаи могут иногда применяться, если в процессе камеральной обработки снимков предполагается использование ЭВМ.

Для перехода от фотограмметрических координат точек сфотографированной местности к геодезическим определяют дирекционный угол T_0 оптической оси S_1O_1 фотокамеры, установленной при съемке на левом конце базиса фотографирования, а также геодезические координаты X_{S_1} , Y_{S_1} , $Z_{S_1}(H)$ левого цен-

тра проектирования S_1 (см. рис. 103, б). Вычисление геодезических координат выполняют по формулам

$$X = X_{S_1} + Y_\phi \cos T_0 - X_\phi \sin T_0;$$

$$Y = Y_{S_1} + Y_\phi \sin T_0 + X_\phi \cos T_0;$$

$$Z = Z_{S_1} + Z_\phi = H_A + i_\phi + Z_\phi,$$

где H_A — отметка левого конца базиса фотографирования; i_ϕ — высота объектива фотокамеры над левой точкой базиса.

Обратный переход от геодезических координат к фотограмметрическим выполняют по формулам

$$X_\phi = \Delta Y \cos T_0 - \Delta X \sin T_0;$$

$$Y_\phi = \Delta Y \sin T_0 + \Delta X \cos T_0; \quad (26)$$

$$Z_\phi = Z - Z_{S_1},$$

где ΔX и ΔY — разности геодезических координат точек местности и левого центра проектирования; $\Delta X = X - X_{S_1}$; $\Delta Y = Y - Y_{S_1}$.

Составление проекта съемки. Подготовительные работы. Возможность и целесообразность применения наземной фотограмметрии при съемке городов определяют по имеющимся картографическим материалам, исходя из физико-географических условий участка съемки. При этом нужно иметь в виду, что фототеодолитная съемка дает максимальный технико-экономический эффект в горной и всхолмленной открытой местности со сложными формами рельефа, где провести мензультную или тахеометрическую съемку затруднительно. Кроме того, наземная фотограмметрия имеет преимущества перед другими наземными методами съемок при выполнении работ в условиях интенсивного транспортного и пешеходного движения, а также в районах с неблагоприятными климатическими условиями (короткий полевой период, низкие температуры, значительное количество осадков и т. п.). Фототеодолитная съемка может успешно применяться при составлении планов поселков или производственных комплексов, расположенных в нешироких долинах, окруженных возвышенностями.

Установив целесообразность съемки методом наземной фотограмметрии, проводят подготовительные работы, состоящие в разработке проекта съемки, проверке и подготовке комплекта съемочных приборов, необходимого оборудования и материалов.

Проект съемки включает пояснительную записку и графическую часть.

В пояснительной записке приводят краткое описание участка съемки с характеристикой рельефа, вида и распределения растительности, метеорологических условий, типа застройки, транс-

портных путей, сетей коммуникаций и т. п.; сведения о геодезической изученности участка работ; расчеты, связанные со сгущением опорной сети; расчеты параметров фотограмметрической съемки с учетом метода камеральной обработки снимков и наличия обрабатывающих приборов; объемы работ по различным видам для составления сметы расходов.

Графическая часть проекта должна включать схему размещения и геодезического определения пунктов опорной сети, составленную на имеющемся в наличии плане наиболее крупного масштаба; схему размещения базисов фотографирования; границ участков съемки с каждого базиса с выделением мест, не изображаемых на стереопарах снимков («мертвых пространств»); схему размещения опорных (корректирных) точек.

Графическую часть проекта составляют на плане, масштаб которого должен быть мельче масштаба съемки не более чем в пять раз, начиная с размещения базисов фотографирования. Необходимо учесть, что расстояние от базиса до дальней границы снимаемой площади не должно превышать предельного значения отстояния $Y_{\text{пр}}$, которое зависит от заданной средней квадратической погрешности m_l точки в плане, фокусного расстояния f_k , точности измерения m_p горизонтального параллакса и вычисляется по приближенной формуле

$$Y_{\text{пр}} = \frac{f_k m_l}{8 m_p} t,$$

где $t = \cos \varphi - \left| \frac{x_{2\text{max}}}{f} \sin \varphi \right|$. Обычно принимают $m_l = 0,5$ или $0,7$

в масштабе составляемого плана; $m_p = 0,01$ мм; $x_{2\text{max}} \approx 80$ мм (для формата снимка 13×18 см); φ — угол скоса, стандартное значение которого при $f_k \approx 195$ мм принимают равным $31,5^\circ$. Для нормального случая съемки $\varphi = 0$ и величина $t = 1$.

Предельные отстояния для различных масштабов съемки и различных приборов камеральной обработки снимков приведены в табл. 96.

Таблица 96

| Масштаб составления плана | Предельное отстояние $U_{\text{пр}}$, м | | | |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------|------|--------------------------------------|------|
| | Стереоавтограф 1318 | | Стереоавтограф 1318 EL, технокарт | |
| | при средней погрешности нанесения контура на план, мм | | | |
| | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.7 |
| 1 : 500 | 400 | 400 | 500 | 800 |
| 1 : 1000 | 800 | 800 | 1000 | 1600 |
| 1 : 2000 | 1600 | 1600 | 2000 | 3200 |
| 1 : 5000 | 4000 | 4000 | 5000 | 8000 |

Минимально допустимую длину базиса фотографирования B_{\min} , обеспечивающую заданную точность m_t положения точек на плане, вычисляют по приближенной формуле

$$B_{\min} = \frac{Y_{\text{пр}}^2 m_p}{f_{\text{кит}}}$$

Расстояние до ближайшей границы участка съемки Y_{\min} , которое еще может быть обработано с данного базиса фотографирования, определяется соотношением

$$Y_{\min} = 4B.$$

Составляемый проект должен отвечать требованиям наиболее полного охвата съемкой заданной площади при минимуме «мертвых пространств» с наименьшего количества базисов фотографирования. Для наилучшего удовлетворения этих требований базисы следует выбирать на возвышенных участках и проектировать по возможности на каждом базисе съемку с нормальными и равномерно отклоненными (влево и вправо) оптическими осями. Углы наклона базисов не должны превышать 10° . Выгодно располагать базисы группами, что существенно сокращает объем полевых работ. Следует избегать съемки с малых отстояний, так как при этом сокращается полезная площадь стереопары.

Съемочные базисы должны размещаться таким образом, чтобы обеспечивалось надежное перекрытие на величину не менее 20 % площадей съемки со смежных базисов. Необходимо поэтому тщательно наносить на проектную схему границы обработки соответствующих стереопар. Обычно для этого применяют специальные прозрачные палетки. По мере выбора базисов на проектную схему наносят их положение и соответствующие границы съемки с каждого базиса, а также намечают зоны расположения опорных точек, которые необходимы для камеральной обработки снимков. Обычно рекомендуют две схемы обеспечения стереопар опорными точками.

Если длина базиса фотографирования надежно измерена на местности и известны геодезические координаты его левой точки, то стереопару достаточно обеспечить тремя опорными точками 1, 2 и 3 (рис. 105), расположенными на дальнем плане по направлению правой оси съемки и по углам стереопары. Если геодезические координаты левой точки неизвестны или длина базиса не измерена, то на ближнем плане по направлению пра-

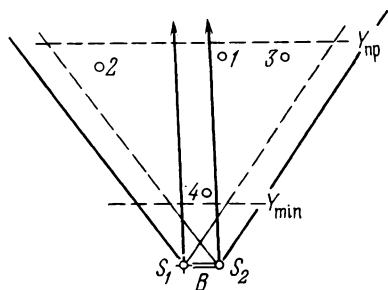


Рис. 105. Схема расположения опорных точек в пределах рабочей площади стереопары

вой оси съемки необходимо добавить опорную точку 4. Границы рабочей площади стереопары показаны на рис. 105 пунктирными линиями. С целью уменьшения общего количества опорных точек рекомендуется располагать их в зонах перекрытия смежных стереопар.

После выбора базисов и опорных точек определяют способы их геодезической привязки. При этом все геодезические привязочные работы необходимо проектировать с соблюдением норм точности и методов, предусмотренных для пунктов съемочного обоснования. Для уменьшения объема полевых геодезических работ нужно стремиться к тому, чтобы наибольшее количество имеющихся на местности геодезических пунктов совпало с базисными или опорными точками. Следует также предусматривать определение координат части опорных точек в камеральных условиях фотограмметрическими методами.

Перед началом полевых работ необходимо тщательно проверить и отъюстировать все приборы, подготовить для работы полевую фотолабораторию, подготовить необходимые материалы и оборудование для транспортировки их на участок съемки.

Для полевых работ необходимо иметь фототеодолитный комплект, стальную рулетку длиной до 50 м для измерения базиса фотографирования, тесьмянную рулетку для измерения высоты прибора, бинокль, рекогносцировочное приспособление или простейший угломер для выбора зон расположения опорных точек, фотоэкспонометр.

Поверки и юстировки приборов, входящих в фототеодолитный комплект, производят согласно указаниям, изложенным в инструктивной и справочной литературе.

Для фотолабораторных, вычислительных и графических работ должны быть оборудованы специальные помещения и подготовлены необходимые материалы и принадлежности: фототеодолитные пластинки светочувствительностью 1—8 единиц ГОСТа различной степени контрастности, фотолабораторная посуда, фотобумага (матовая и глянцевая) различных номеров, термометры, лабораторные весы, красный фонарь, набор химических реактивов, приспособления для сушки негативов и позитивов и т. п.

Для оценки фотограмметрического качества получаемых негативов следует иметь комплект эталонных снимков, полевой стереоскоп для опознавания точек на снимках и дешифрирования, лупы с увеличением 6—10 \times . Вычислительные и графические работы должны быть обеспечены необходимыми средствами вычислений (таблицами, микрокалькуляторами, настольными ЭВМ) и чертежными инструментами и принадлежностями.

§ 53. ПОЛЕВЫЕ РАБОТЫ

Приборы для полевых работ. При наземной фототопографической съемке в городах применяют фототеодолиты и стереофотограмметрические камеры.

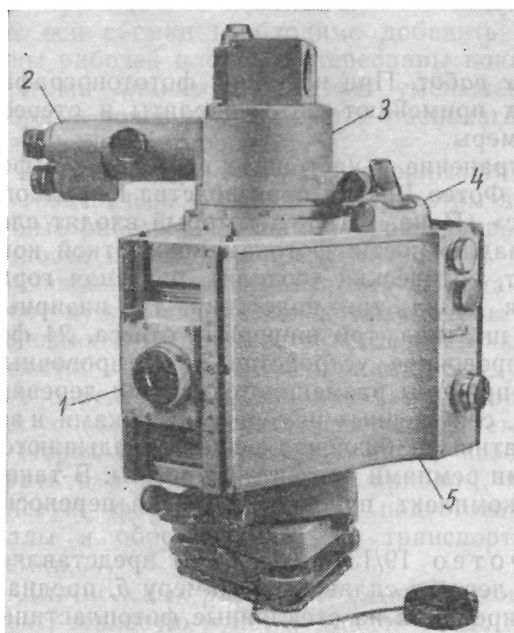
Наибольшее распространение в настоящее время имеет фототеодолитный комплект Фотео 19/1318 производства Народного предприятия «Карл Цейс» (Йена, ГДР), в который входят следующие приборы и принадлежности: фотокамера жесткой конструкции — фототеодолит, оптический теодолит, базисная горизонтальная двухметровая рейка, три подставки, три визирные марки, три раздвижных штатива, три шнуровых отвеса, 24 фотокассеты, полевое юстировочное устройство и юстировочный накладной уровень. Все приборы размещаются в семи деревянных укладочных ящиках, снабженных ременными ручками и заплочными ремнями. Штативы и базисная рейка укладываются в снабженные заплочными ремнями брезентовые чехлы. В таком виде фототеодолитный комплект приспособлен для переноски его в полевых условиях.

Фототеодолит Фотео 19/1318 (рис. 106) представляет собой изготовленную из легкого сплава фотокамеру 5, предназначенную для фотографирования на стеклянные фотопластинки размером 13×18 см при горизонтальном положении оптических осей. Сверху на фотокамере имеется ориентирующее устройство 3 для установки оптической оси камеры в заданное положение относительно базиса фотографирования или какого-либо другого направления, принятого за исходное.

Объектив 1 фотокамеры имеет фокусное расстояние $f_k \approx 195$ мм, относительное отверстие $1/25$ и постоянно отфокусирован на бесконечность. Полезный угол поля зрения по горизонтали $\approx 45^\circ$. Для увеличения угла поля зрения по вертикали объектив камеры имеет вертикальное ступенчатое перемещение от среднего положения вверх на 30 мм и вниз на 45 мм с интервалом через 5 мм. Экспонирование фотопластинки, заключенной в фотокассету, проводится от руки путем снятия и надевания крышки на объектив.

Прикладная рамка, к которой в момент фотографирования прижимается фотопластинка, имеет четыре координатные метки 1, 2, 3, 4 (см. рис. 103, а), изображение которых на снимке определяет направление координатных осей x и z . На каждом снимке кроме меток отпечатываются: значение фокусного расстояния, номер снимка и вид съемки (нормальный или равномерно отклоненный с левого или правого конца базиса).

Ориентирующее устройство состоит из зрительной трубы 2 с увеличением $20\times$, стеклянного лимба с делениями через $10'$ и отсчетного микроскопа. Зрительная труба вращается только в горизонтальной плоскости, а наклон визирного луча к горизонту обеспечивается призмой, установленной перед объективом.



**Рис. 106. Фототеодолит
Фотео 19/1318**

Для установки оси вращения фотокамеры в отвесное положение имеются два цилиндрических уровня 4 с ценой деления 30".

Базисная рейка разборного типа предназначена для измерения горизонтального проложения базиса фотографирования и состоит из двух трубок с визирными марками на концах. Расстояние между концевыми марками рейки в собранном виде равно $2 \text{ м} \pm 0,05 \text{ мм}$. При измерении базиса рейка устанавливается на противоположном конце горизонтально с помощью круглого уровня. Для установки рейки перпендикулярно к измеряемому расстоянию служит специальный визир-коллиматор.

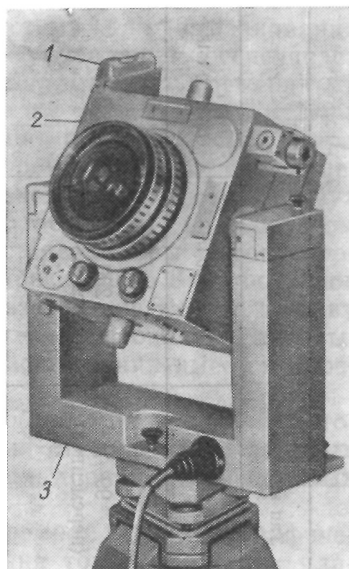
Теодолит Theo 020A — оптический повторительный теодолит. Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла одним круговым приемом составляет около 5". В качестве отсчетного устройства теодолит имеет шкаловый микроскоп, окуляр которого расположен рядом с окуляром зрительной трубы.

Фотокамера, теодолит, рейка и визирные марки центрируют при помощи шнуровых отвесов и могут взаимозаменяться в трегерных подставках, как при работе по трехштативной системе.

В последние годы Народное предприятие «Карл Цейс» (Йена, ГДР) выпускает универсальные фотограмметрические камеры УМК 1318 (рис. 107), которые имеют значительно больший диапазон возможностей, что позволяет их рекомендовать для съемок городов. Основные технические ха-

Рис. 107. Фотокамера УМК:

1 — накладной цилиндрический уровень для установки оптической оси фотокамеры в наклонное положение; 2 — корпус фотокамеры; 3 — подвеска фотокамеры



рактеристики фотокамер УМК 1318 различных модификаций представлены в табл. 97.

Фотокамера УМК 6,5/1318 предназначена для фотографирования близких объектов, УМК 30/1318 — удаленных объектов. Обе они имеют жестко встроенный объектив.

Фотокамеры УМК 10/1318 и УМК 20/1318 позволяют ступенчато фокусировать их на различные конечные расстояния. При этом камеры снабжены устройством, позволяющим фиксировать на каждом кадре фокусное расстояние соответствующее фокусировке на бесконечность, и поправку к фокусному расстоянию для каждой из ступеней фокусировки. Кроме того, в кадре отпечатывается его номер (от 1 до 72) и вид съемки: *A, AL, AR, B, BL, BR*. Фотокамеры всех типов позволяют производить съемки при наклонах оптической оси в пределах от $+90^\circ$ до -30° с фиксацией через 15° .

Диапазон выдержек *T, B* от 1 до $1/400$ с, минимальный интервал времени между кадрами при фотографировании на ролловую пленку около 3 с.

Для внешнего ориентирования фотокамеры служат подвески, имеющие лимб и визирную трубу. Предусмотрена возможность применения одинарной, двойной переносной или стационарной и вертикальной подвесок. Двойная переносная подвеска предназначена для стереосъемки с близких отстояний и состоит из жесткого базиса и двух одинарных подвесок, позволяющих устанавливать базис до 840 мм.

По данным предприятия-изготовителя средняя квадратическая погрешность определения продольного параллакса по снимкам, сделанным при помощи фотокамер УМК, для нормального случая съемки равна 5 мкм при условии учета влияния дисторсии и других систематических погрешностей.

Фотокамеры УМК снабжены электронными пусковыми устройствами, включающими коммутатор, датчик импульсов и блок управления. Коммутатор служит для одновременного запуска импульса длительностью 1 с для освещения координатных меток и однократного пуска затвора. Датчик импульсов осуществляет однократный пуск съемочного цикла для фотопленки и приво-

Таблица 97

| Параметры | Тип камеры | | | | |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------|-------------|
| | УМК 6.5 1318 | УМК 10/1318 | УМК 10/1318 | УМКУ 20/1318 | УМК 30/1318 |
| Фокусное расстояние объектива, мм | 64 | 99 (переменное) | 99 (переменное) | 200 (переменное) | 300 |
| Полезный угол изображения: | | | | | |
| по горизонтали, угл. градус | 104 | 79 | 79 | 45 | 31 |
| по вертикали, угл. градус | 86 | 61 | 61 | 33 | 22 |
| Используемый фотоматериал | Фотопластинки 13×18 см или роликковая фотопленка шириной 18 см длиной до 9 м (60 кадров) | | | | |
| Относительное отверстие объектива | $f/5,6-f/32$ | $f/8-f/32$ | $f/8-f/32$ | $f/8-f/32$ | $f/11-f/32$ |
| Пределы фокусирования, м | 8—∞ | 1,4—∞ (ступенчатая, 19 ступеней) | 1,4—∞ (ступенчатая, 19 ступеней) | 5,8—∞ (ступенчатая, 13 ступеней) | 50—∞ |
| Расстояние до объекта съемки при минимальной дисторсии, м | 8 | 25 | 2,1 | 5,8 | 50 |

дит в действие вентиляционную систему для выравнивания пленки в кассете под давлением. Блок управления обеспечивает подачу импульсов через определенные промежутки времени.

Стереофотограмметрические камеры типа SMK-5,5/0808 разработаны Народным предприятием «Карл Цейс» (Иена, ГДР) для съемки одновременно двумя фотокамерами, укрепленными на жестком базисе, выпускаются в двух вариантах: с базисом 40 см (SMK-5,5/0808/40) и с базисом 120 см (SMK-5,5/0808/120). Первые стереокамеры отфокусированы на расстояние 4 м, вторые — на расстояние 8 м. Фокусное расстояние фотокамер ≈ 55 мм, формат снимков 8×8 см. Съемку можно производить на фотопластинки или фотопленку, для выравнивания которой в момент фотографирования имеется плоскостное параллельное стекло.

Стереокамеры SMK применяются обычно для решения нетопографических задач, в том числе для съемки архитектурных памятников, для фиксации и изучения дорожно-транспортных происшествий и т. п.

Производство полевых работ. Наземная фототопографическая съемка производится для создания топографических планов в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 районов с горным и всхолмленным рельефом.

Полевые работы выполняются фотограмметрической партией в составе 2—3 инженерно-технических работников и 3—4 рабочих и включают: рекогносцировку участка на основе разработанного проекта съемки; закрепление необходимого количества отрекогносцированных точек; маркировку при необходимости базисных и опорных точек; проведение геодезических работ по подготовке съемочного обоснования участка; фотографирование местности; полевые фотолабораторные работы и фотограмметрический контроль качества полученных негативов; топографическое дешифрирование снимков; досъемку «мертвых пространств» топографическими методами и исправление других дефектов съемки.

Рекогносцировка. В процессе рекогносцировки определяют на местности границы участка съемки; уточняют места расположения базисов фотографирования и опорных точек; устанавливают на местности границы рабочей площади для каждой стереопары; уточняют границы участков, которые невозможно или нецелесообразно снимать фотограмметрическим способом; уточняют схему геодезических определений базисных и опорных точек. Результатом рекогносцировки должен быть рабочий проект размещения и геодезической привязки базисных и опорных точек.

Рекогносцировку следует начинать с общего осмотра всего участка съемки с командных высот, в результате которого уточняют возможные места размещения базисов с учетом съемки всего участка без фотограмметрических разрывов и «мертвых пространств».

Далее в процессе детальной рекогносцировки окончательно устанавливают расположение базисов, опорных точек и дополнительных точек геодезического обоснования. При этом соблюдают требования к размещению базисов и опорных точек.

Закрепление на местности всех намеченных точек осуществляется в ходе рекогносцировки постоянными или временными центрами. Типы постоянных центров выбирают в зависимости от необходимого срока их сохранности с учетом физико-географических особенностей района работ. Количество пунктов, подлежащих закреплению постоянными центрами, определяют согласно инструкции по топографической съемке соответствующего масштаба или в соответствии с особыми требованиями. Все остальные геодезически определяемые точки закрепляют временными центрами.

В качестве временных центров рекомендуют применять железные трубки диаметром около 5 см длиной от 30 до 60 см в зависимости от твердости грунта. Простейшим временным центром может служить деревянный кол длиной 0,5—0,6 м, в верхний срез которого для точного центрирования вбивают гвоздь.

До производства фотосъемочных работ выполняют маркировку всех опорных и базисных точек, а также точек сети съемочного обоснования. Для маркировки используют жестяные, фанерные или картонные щиты, окрашенные в контрастные цвета по сравнению с фоном, на который они проектируются при наблюдении с базиса. В районах со скальным грунтом для маркировки точек рекомендуется выкладывать туры из камней или наносить на скалы марки масляной краской.

Форма марок может быть произвольной (крест, круг, квадрат, треугольник и т. п.), однако в любом случае должен быть четко определен ее геометрический центр. Минимальные размеры марки зависят от расстояния до съемочного базиса и должны выбираться с таким расчетом, чтобы изображение марки на снимке имело размеры не менее $0,10 \times 0,04$ мм.

В ряде случаев в качестве опорных точек могут выбираться четко изображаемые на снимках местные предметы (отдельно стоящие деревья, столбы ЛЭП, углы строений и т. п.).

Геодезические работы производят в соответствии с составленной ранее схемой для определения геодезических координат пунктов съемочного обоснования, базисных и опорных (корректирных) точек, а также для определения длины базисов фотографирования.

Геодезическая привязка точек выполняется прямыми, обратными и комбинированными засечками, триангуляционными построениями или теодолитными ходами в зависимости от условий местности. Независимо от способа точность геодезических работ должна отвечать требованиям, предъявляемым к точности определения пунктов съемочного обоснования.

Измерение длины базиса фотографирования должно выполняться с относительной погрешностью не ниже $1/1000$. При этом

короткие базисы длиной до 50 м рекомендуется измерять компарированной рулеткой. При длине базиса до 100 м используют горизонтальную рейку из фототеодолитного комплекта, которую устанавливают на другом конце базиса, теодолитом измеряют параллактический угол. При длине базиса более 100 м рекомендуют схему измерения с использованием вспомогательного базиса.

Фотографирование — один из наиболее ответственных этапов съемочных работ, так как от качества фотоснимков в решающей степени зависит точность конечных результатов. Фотографирование должно выполняться на специальные фототеодолитные пластинки, а при отсутствии их — на репродукционные штриховые.

Определение правильной выдержки лучше производить по фотоэкспонетру, учитывая кратность светофильтра объектива фотокамеры. При отсутствии фотоэкспонетра выдержку определяют путем пробного фотографирования наиболее типичных участков съемки. Пробное фотографирование рекомендуют выполнять в различное время дня в солнечную и пасмурную погоду; при этом в каждом случае фотографирование осуществляют с двумя-тремя выдержками.

По результатам сравнения качества полученных негативов определяют оптимальные выдержки для различных условий освещенности, погоды, времени дня и т. п.

Наилучшие условия фотографирования — солнечная погода при наличии легкой высокой облачности. Время съемки следует выбирать такое, когда солнце находится сзади и несколько сбоку от фототеодолита. В любом случае необходимо следить, чтобы в объектив не попадали прямые лучи солнца во избежание появления на фотоснимках засветки от бликов. Необходимо избегать съемки против солнца, так как при этом обычно получаются негативы неудовлетворительного качества. Промежуток времени между фотографированием с левого и правого концов базиса должен быть минимальным.

На съемочном базисе работу производят в следующем порядке. На концах базиса устанавливают штативы. На левом конце устанавливают и центрируют фототеодолит, а на правом — визирную марку. Измеряют высоты верхних обрезов втулок трегеров над точками на земле, к которым затем прибавляют постоянные величины, которые равны: для фототеодолита Фотео 19/1318 при центральном положении объектива 11 см, для визирной марки 14 см, для дальномерной рейки 4 см и 10 см для теодолита Theo 020. Далее закрывают объектив колпачком, отводят прижимное устройство от прикладной рамки и удаляют держатель с матовым стеклом. Вставляют кассету в камеру, выдвигают заслонку кассеты, прижимают пластинку прижимным устройством к плоскости прикладной рамки. На ориентирующем устройстве фотокамеры устанавливают отсчет, соответствующий намеченному случаю съемки (нормальный, отклоненный

влево или вправо). На нумераторе и регистраторе фотокамеры устанавливают порядковый номер снимка и вид съемки. Поворачивают камеру вокруг вертикальной оси так, чтобы крест сетки нитей ориентирующего устройства приблизительно совпал с изображением центра визирной марки, установленной на другом конце базиса. Проверяют правильность установки пузырьков цилиндрических уровней в нуль-пункте, правильность установки отсчета на лимбе ориентирующего устройства и уточняют визирование на марку. Осторожно, чтобы не нарушить положение фотокамеры, производят экспонирование фотопластины. Затем отжимают держатель кассеты от корпуса фотокамеры, вдвигают заслонку в кассету и извлекают кассету из прижимного устройства.

На второй точке базиса все перечисленные действия повторяют. Необходимо следить за неподвижностью положения штативов на базисных точках при замене на них фотокамеры, визирной марки, рейки и теодолита. Если по какой-то причине штатив оказался сбит, то всю съемку с этой точки нужно повторить.

В полевом журнале отмечают дату съемки и время, номера снимков и кассет, положение объектива фотокамеры, вид съемки, выдержку и условия съемки.

Полевые фотолабораторные работы производятся, как правило, в день съемки для быстрого выявления промахов при фотографировании и заключаются в проявлении, фиксировании и сушке негативов, а также в оценке фотограмметрического качества негативов и в изготовлении контактных отпечатков на фотобумаге.

Фотолабораторные работы проводят на базе фотограмметрической партии. Предварительно составляют проявляющие и фиксирующие растворы для негативов и фотобумаг.

Практические приемы выполнения лабораторных работ, рецептура растворов, режимы обработки и т. п. приводятся в соответствующих руководствах.

По окончании фотолабораторных работ оценивают фотографическое и фотограмметрическое качество негатива, результаты оценки фиксируют в специальном журнале. Правильно экспонированный и обработанный негатив не должен иметь вуали, повреждений эмульсии, пятен, полос, инородных включений в фотослое. Негатив должен быть достаточно контрастным, иметь среднюю плотность и прозрачность и четкое изображение всех четырех координатных меток.

Основная часть фотограмметрической оценки — выявление негативов, полученных при неплотном прилегании фотопластины к плоскости прикладной рамки в момент фотографирования. Для этой цели используют эталонные негативы, изготовленные заранее при условии надежного прижима.

На просмотрном столе укладывают эмульсией вверх эталонный негатив, а на него эмульсией вниз исследуемую фотопла-

стинку. Добиваются совмещения негативов по оси абсцисс одной из координатных меток и оценивают при помощи измерительной лупы несовмещения остальных координатных меток. Если расстояния между координатными метками отличаются от эталонных более чем на 0,2 мм, негативы переснимают.

Практика фототеодолитных работ показывает, что основными причинами неприжима являются неисправности кассеты или ослабление пружин прижимного устройства фотокамеры. Рекомендуют при зарядке кассет фототеодолитного комплекта Фотео 19/1318 между заряжаемой пластинкой и пластинчатыми пружинами кассеты вставлять в качестве подложки еще одну фотопластинку со смытым фотоэмульсионным слоем или к середине дна кассеты приклепать дополнительные плоские стальные пружины для более надежного прилегания фотопластинки к плоскости прикладной рамки в момент фотографирования.

Результаты проверки всех полученных негативов записывают в журнал оценки качества негативов. С негативов, принятых к камеральной обработке, делают контактные или, если есть такая необходимость, увеличенные отпечатки для последующего дешифрирования.

Дешифрирование заключается в опознавании и нанесении на контактные или увеличенные отпечатки объектов местности, подлежащих изображению на составляемых топографических планах, а также всех точек съемочного обоснования. Дешифрирование может проводиться как в полевых условиях путем непосредственного сличения снимков с местностью (полевое дешифрирование), так и в лабораторных условиях при стереоскопическом просмотре стереопар (камеральное дешифрирование).

После тщательного изучения всех полученных стереопар выделяют места, которые не были сфотографированы по тем или иным причинам. Досъемку «мертвых пространств» проводят тахеометрической или мензульной съемкой или намечают дополнительные базисы фотографирования.

По окончании полевых работ в камеральное производство передают: отчетную схему съемки и схему опорной геодезической сети; схему определения пунктов съемочного обоснования, базисных и опорных точек; негативы и контактные отпечатки, скомпонованные по базисам; журналы фотографирования, геодезических измерений, оценки качества негативов; материалы полевого дешифрирования и досъемки «мертвых пространств»; пояснительную записку об исполненных работах и акты контроля и приемки работ.

§ 54. КАМЕРАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Перед началом камеральных фотограмметрических работ составляют проект их выполнения с целью выбора наиболее целесообразной программы обработки снимков. В проекте указы-

вают последовательность фотограмметрических работ и способы обработки снимков, исходя из необходимости определения пространственных координат отдельных точек местности фотограмметрическим методом, составления топографического плана заданного масштаба, наличие тех или иных камеральных обрабатывающих приборов, а также специалистов соответствующей квалификации.

Предварительные камеральные работы начинают с проверки во вторую руку полевых журналов геодезических измерений и журналов фотограмметрической съемки. Затем по результатам геодезических измерений вычисляют и уравнивают пространственные координаты пунктов опорной сети и съемочного обоснования, базисных и опорных точек, дирекционных углов базисов фотографирования, а также поправок в измеренные длины базисов за приведение их к уровенной поверхности (если абсолютные отметки базисных точек превышают 2000 м).

Определение координат и высот базисных и опорных точек производят по типовым схемам вычисления прямых, обратных или комбинированных засечек, а также теодолитных ходов и аналитических сетей. Предельные расхождения между двумя значениями координат, вычисленными из разных комбинаций по избыточным данным, не должны превышать 0,3 мм на плане соответствующего масштаба. Предельные расхождения высот не должны превышать 1/2 принятого сечения рельефа.

При необходимости решения большого числа однотипных задач вычисления целесообразно проводить на ЭВМ по существующим программам с уравниванием координат и высот по избыточным данным и с оценкой точности полученных результатов.

Все вычисления оформляют в виде каталогов координат и высот базисных и опорных точек. Кроме этого, составляют так называемые стереограммы — документы, содержащие все необходимые данные для обработки снимков на стереоприборах. В стереограмме указывают: номер базиса, его длину, абсолютную высоту левого центра фотографирования, координаты базисных точек, дирекционные углы базиса и оптических осей фотокамеры, значения базисных компонентов b_x , b_y и b_z , которые вычисляют по формулам

$$\begin{aligned} b_x &= \frac{B \cdot 1000}{M_m} \cos \varphi; \\ b_y &= \frac{B \cdot 1000}{M_m} \sin \varphi; \\ b_z &= \frac{h \cdot 1000}{M_m}, \end{aligned} \quad (27)$$

где B — длина базиса фотографирования, м; φ — угол скоса оптических осей; M_m — знаменатель масштаба стереомодели, вос-

становливаемой на стереоприборе; h — превышение центра проекции правого снимка над левым, м.

В наземной фотограмметрии в настоящее время применяют в основном аналитический и универсальный (графомеханический) методы обработки фототеодолитных снимков. Аналитический метод используют в тех случаях, когда по стереопаре снимков необходимо определить пространственные координаты отдельных точек местности. Универсальным методом по снимкам составляют оригинал топографического плана с изображением рельефа горизонталями.

Аналитический метод является наиболее точным методом обработки стереопар, позволяющим полностью использовать точность, с которой получается фотографическое изображение. Погрешность аналитического метода обусловлена погрешностями полевых работ, искажениями снимков и погрешностями измерения на снимках.

При аналитическом методе для измерения по снимкам используют стереокомпаратор — стереофотограмметрический прибор, при помощи которого определяют координаты x , z и параллаксы p соответственных точек стереопары, а затем вычисляют пространственные координаты точек местности.

Недостатком аналитического метода является большой объем вычислительных работ. Внедрение в фотограмметрию ЭВМ значительно повысило производительность метода и расширило его возможности для высокоточного определения координат и высот отдельных точек местности.

Универсальный метод обработки наземных снимков состоит в одновременном измерении фотоснимков и составлении графического оригинала топографического плана на одном универсальном стереофотограмметрическом приборе. Этот метод в настоящее время получил широкое применение на практике как наиболее производительный, позволяющий наносить ситуацию и горизонтالي не по отдельным точкам, а сплошным вычерчиванием.

Приборы для обработки фотоснимков

Стереокомпаратор — прибор, предназначенный для измерения плоских прямоугольных координат и параллаксов соответственных точек стереопары снимков. Он является основным измерительным прибором при аналитическом методе обработки фотоснимков. Наиболее распространенная схема конструкции стереокомпаратора приведена на рис. 108.

Главными частями прибора являются: станина 1; общая каретка 2, несущая на себе левый L и правый R снимкодержатели; бинокулярная наблюдательная система 3, подвижная часть которой перемещается относительно снимков вдоль оси z с помощью штурвала 3 $_{\text{ш}}$. Левый и правый снимки, уложенные в снимкодержатели, могут вращаться в своей плоскости относительно

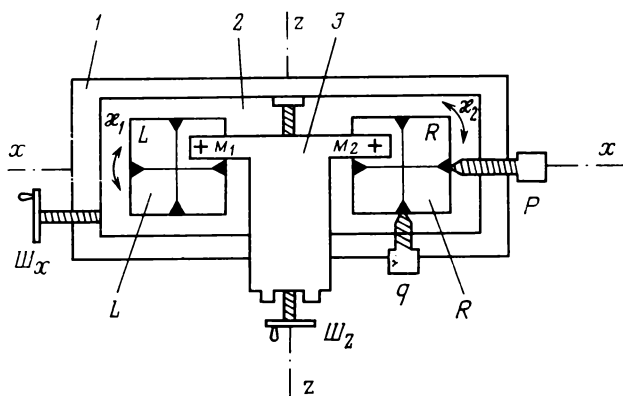


Рис. 108. Схема стереокомпаратора

направляющих прибора на углы α_1 и α_2 . Правый снимкодержатель помещен на параллактической каретке R , которая перемещается относительно левого снимка вдоль осей x и z при помощи винтов продольных p и поперечных q параллакс. Общая каретка 2 вращением штурвала Ш_x может перемещаться вдоль оси x вместе с обоими снимкодержателями относительно неподвижной бинокулярной системы 3.

Измерение снимков на стереокомпараторе осуществляют по способу «мнимой марки» (в виде точки, кружка, перекрестия и т. п.), изображение которой вводится отдельно в левую и правую ветви оптической наблюдательной системы 3. При измерении снимков левая измерительная марка M_1 штурвалами Ш_x и Ш_z совмещается с выбранной точкой левого снимка, а правая марка M_2 винтами p и q совмещается с идентичной точкой правого снимка. При таком положении через бинокулярную систему наблюдают стереоскопическую модель местности, и одно совмещенное пространственное изображение марки представляется совмещенным с заданной точкой стереомодели.

Стереокомпаратор должен удовлетворять следующим условиям: движения общей каретки 2 и подвижной части бинокулярной системы 3 должны быть прямолинейны и взаимно перпендикулярны; движение параллактической каретки R правого снимка вдоль оси x должно быть параллельно движению общей каретки 2; движение параллактической каретки вдоль направления q должно быть параллельно оси z прибора; оптическая система должна давать изображения, свободные от сферической, хроматической аберраций и астигматизма; обе ветви оптической системы должны иметь одинаковые фокусные расстояния.

Эти основные условия проверяются при помощи контрольных сеток, которые устанавливают в левый и правый снимкодержатели и ориентируют по оси x поворотами снимков в своих плоскостях на углы α_1 и α_2 .

Рабочие поверки заключаются в определении начальных отсчетов на шкалах приборов (определение мест нулей шкал) и проводятся в процессе работ по ориентированию и измерению снимков на стереокомпараторе.

Создание топографических планов производят в основном на универсальных приборах механического способа построения связки проектирующих лучей — стереоавтографе 1318 и технокarte Народного предприятия «Карл Цейс» (Йена, ГДР). С некоторыми ограничениями обработку наземных снимков можно вести также на универсальных приборах, применяемых для обработки аэрофотоснимков, — стереометрографе, стереопроекторе, топокарте и др.

Стереоавтограф — универсальный стереофотограмметрический прибор, предназначенный для обработки фототеодолитных снимков, полученных при горизонтальных и параллельных осях фотографической камеры. Основными его частями являются стереокомпаратор, плоскостные механизмы, решающие уравнения связи между координатами точек местности и координатами их изображения на стереопаре, а также координатограф, с помощью которого производится составление топографического плана.

Прямая фотограмметрическая засечка в плоскости XU решается на стереоавтографе при помощи линейки направлений L и линейки параллаксов R (рис. 109), вращающихся вокруг точек S_1 и S_2 , соответствующих центрам проектирования. Эти линейки связаны соответственно с левым P_L и правым P_R снимками. В положении, когда линейки параллельны друг другу и перпендикулярны к направлению S_1S_2 (базису), измерительные марки должны быть совмещены с главными точками снимков o_1 и o_2 . Если навести марку стереокомпаратора и связанные с нею концы линеек на изображение точки M (m_1 и m_2 на снимках), то пересечение линеек L и R определит плановое положение точки M в некотором масштабе.

Конструктивно плановое положение точек определяется при помощи мостика отстояний K и кареток отстояний, имеющих ролики D_1 и D_2 , по которым перемещаются линейки L и R .

Для решения задачи в случае фотосъемки с равноотклоненными осями правый ролик D_2 может перемещаться в базисных направляющих относительно левого ролика D_1 , что соответствует разложению базиса B по осям абсцисс и ординат (b_x и b_y).

Для определения высот наблюдаемых точек стереоавтограф снабжен устройством, состоящим из двух жестко скрепленных под прямым углом линеек, вращающихся вокруг точки S_1 , соответствующей левому центру проектирования. Автоматическое устранение возникающих при обработке снимков поперечных параллаксов достигается работой еще одной высотной линейки, вращающейся вокруг точки S_2 и управляющей перемещениями правого снимка вдоль оси аппликат.

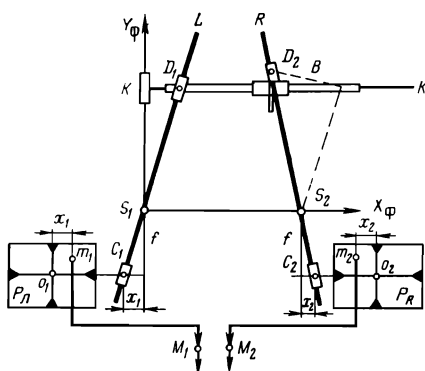
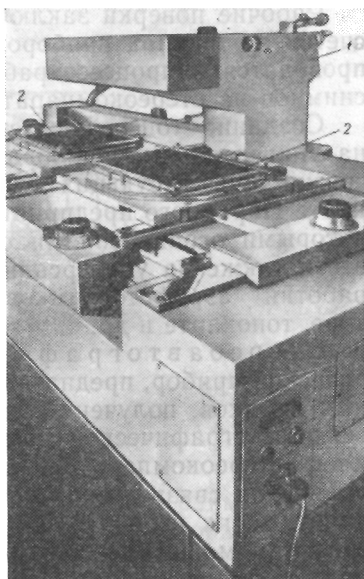


Рис. 109. Схема стереоавтографа

Рис. 110. Технокарт



Движения снимков передаются механическими карданными (в стереоавтографе 1318) или электрическими сельсинными передачами (в стереоавтографе 1318EL) на координатограф, с помощью которого составляется топографический план.

Технокарт (рис. 110) — новый высокоточный универсальный прибор. Предназначен для обработки наземных фотоснимков 2 формата до 23×23 см с фокусными расстояниями от 50 до 215 мм, полученными при равномерно отклоненном и нормальном случаях съемки. Технокарт имеет большие возможности по сравнению со стереоавтографом.

В отличие от стереоавтографа в технокарте изменена оптическая бинокулярная система 1, а линейки, реализующие принцип механической засечки, развернуты на 180° , так что мостик отстояний расположен ближе к оператору, что облегчает установку составляющих базиса, фокусных расстояний и угла конвергенции.

Некоторые технические характеристики стереоавтографа и технокарта приведены в табл. 98.

Определение пространственных координат точек местности

В процессе наземной фототопографической съемки используют фотограмметрическое сгущение сети опорных точек, необходимых в дальнейшем для составления топографического плана на универсальном приборе. При этом применяют способ фотограмметрической засечки, решаемой по снимкам аналитическим или универсальным методом на стереоавтографе или технокарте.

Таблица 98

| Характеристика | Стереосамограф | | Технокарт |
|-------------------------------------------------|-------------------|---------------|-----------------|
| | 1:18 | 1:18 EL | |
| Формат снимков, см | 13×18 | | 23×23 |
| Угол конвергенции, угл. градус | От -2 до +5 | | От -2 до +6 |
| Базисные составляющие, мм: | | | |
| b_x | От 0 до +60 | | От 0 до 240 |
| b_y | От -30 до +30 | | От -20 до +20 |
| b_z | От -10 до +10 | | От -20 до +20 |
| Координаты, мм: | | | |
| X | От -220 до +220 | | От -240 до +240 |
| Y | От +50 до +400 | | От +35 до +350 |
| Z | От -235 до +235 | | От -240 до +240 |
| Коэффициент передачи движений на координатограф | 0,5 1,0 2,0 | от 0,1 до 5,0 | От 0,16 до 6,25 |
| Масса прибора, кг | 400 | | 400 |
| Масса координатографа, кг | 120 | | 230 |

Аналитический метод решения фотограмметрической засечки включает следующие процессы работ: выбор и опознавание на снимках определяемых точек, измерение снимков на стереокомпараторе, вычисление дирекционных и вертикальных углов с базисных точек на определяемые точки, решение прямой засечки, вычисление отметок точек.

В качестве определяемых точек используют четкие контуры или местные предметы, хорошо изобразившиеся на снимках. Такими точками могут служить специально поставленные марки, столбы, стволы отдельно стоящих деревьев, камни и т. п. Намеченная для определения точка должна быть сфотографирована не менее чем с трех базисных точек (или двух базисов), привязанных геодезическим способом. Базисы должны располагаться таким образом, чтобы углы засечки при определяемой точке были не менее 30 и не более 120°.

Определив точки, подлежащие измерению, приступают к обработке снимков на стереокомпараторе. Левый снимок стереопары устанавливают на левый снимкодержатель, а правый — на правую параллактическую каретку. Негативы устанавливают эмульсионной стороной вниз.

Ориентирование снимков заключается в том, чтобы оси координат снимков, определяемые центрами координатных меток, заняли положение, параллельное соответствующим осям стереокомпаратора. Для этого левую марку бинокулярной наблюдательной системы штурвалами $Ш_x$ и $Ш_z$ (см. рис. 108) наводят монокулярно на левую координатную метку левого снимка стереопары. Затем движениями винтов p и q правую измерительную марку совмещают с левой координатной меткой правого снимка. Штурвалом $Ш_x$ перемещают общую каретку 2 с обоими

снимками относительно неподвижного бинокля до тех пор, пока в поле зрения наблюдательной системы не появятся правые координатные метки снимков. Так как снимки еще не ориентированы, то будет наблюдаться смещение по вертикали правых координатных меток относительно измерительных марок.

Разворачивают левый снимок в своей плоскости на угол χ_1 , устраняя видимое смещение координатной метки наполовину. Таким же образом разворачивают на угол χ_2 правый снимок. Затем все описанные выше действия повторяют, начиная с установки левой измерительной марки на левую координатную метку левого снимка штурвалами $Ш_x$ и $Ш_z$.

Ориентирование снимков считают законченным, когда измерительные марки при перемещении общей каретки вдоль оси x стереокомпаратора будут проходить через левые и правые координатные метки обоих снимков.

После ориентирования снимков определяют места нулей всех шкал прибора. Место нуля шкалы x отсчитывают по этой шкале, когда левая измерительная марка наведена на центр верхней или нижней координатных меток левого снимка. Местом нуля шкалы z является отсчет по этой шкале, когда левая измерительная марка наведена на центр правой координатной метки левого снимка (при нулевом положении объектива фотокамеры в момент фотографирования). Место нуля продольных параллаксов отсчитывается по винту p после того, как обе марки стереоскопически совмещены с центрами изображений верхней координатной метки. Место нуля поперечных параллаксов q устанавливается стереоскопическим наблюдением одной из горизонтальных координатных меток.

Координаты определяемых точек измеряют по стереопаре снимков следующим образом. Движениями штурвалов $Ш_x$ и $Ш_z$ левую измерительную марку подводят к изображению определяемой точки на левом снимке. Далее движениями p и q подводят изображение той же точки на правом снимке к правой измерительной марке. После этих действий в поле зрения биноклярной системы будет наблюдаться стереоскопический эффект. Далее стереоскопически совмещают изображение измерительной марки с выбранной точкой стереомодели и берут отсчеты по шкалам x'_1 , z'_1 , p' и q' прибора. Затем в полученные отсчеты вводят поправки за места нулей соответствующих шкал.

Необходимо иметь в виду, что абсцисса x_2 и аппликата z_2 точки правого снимка не измеряются, а вычисляются из соотношений $x_2 = x_1 - p$ и $z_2 = z_1 - q$.

Таким же образом измеряют координаты и параллаксы опорных точек, которые используются в качестве контрольных при обработке результатов измерений.

Если негативы получены с заметным нарушением элементов внутреннего ориентирования, то в измеренные на стереокомпараторе координаты и параллаксы точек вводят поправки за изменение фокусного расстояния и координаты главной точки. Эти

поправки вычисляют по известной методике на основании сравнения расстояний между противоположными координатными метками на негативе-эталоне и на измеряемом негативе.

При съемке в масштабе 1 : 500 необходимо, кроме того, учитывать, что центр проекции (передняя узловая точка объектива) не совпадает с центром пункта, над которым центрируется фототеодолит. Это несовпадение для фототеодолита Фотео 19/1318 составляет 10 см. При съемках в более мелких масштабах центр проекции считают совпадающим с базисной точкой.

Получив исправленные координаты контрольных и определяемых точек, находят горизонтальные углы β_i между главным лучом снимка и направлениями на каждую точку по формуле

$$\operatorname{tg} \beta_i = \frac{x_i}{f}, \quad (28)$$

где f — фокусное расстояние снимка, исправленное за нарушение элементов внутреннего ориентирования.

По контрольным точкам определяют значение дирекционного угла α_0 главного луча снимка. Для этого вначале по геодезическим координатам контрольных точек и базисной точке определяют дирекционные углы α_K на контрольные точки, а затем по формуле $\alpha_0 = \alpha_K - \beta_K$ вычисляют дирекционный угол главного луча. Здесь β_K — угол между главным лучом снимка и направлением на контрольную точку, определяемый по формуле (28). Если на снимке имеется несколько контрольных точек, то за окончательное значение принимают среднее арифметическое $\alpha_{\text{ср}}$ из полученных значений дирекционных углов главного луча снимка при допустимом расхождении между ними 45".

Используя полученный дирекционный угол главного луча $\alpha_{\text{ср}}$, вычисляют дирекционные углы α_i направлений на определяемые точки по формуле $\alpha_i = \alpha_{\text{ср}} + \beta_i$, где β_i — угол между главным лучом снимка и направлением на определяемую точку.

Имея дирекционные углы направлений на определяемый пункт с базисных точек, геодезические координаты которых известны, решают прямую геодезическую засечку по известным формулам. Плановые координаты каждой определяемой точки получают из решения не менее чем двух прямых засечек и за окончательное значение принимают среднее арифметическое.

Отметки Z_i определяемых точек вычисляют по формуле

$$Z_i = Z_0 + i + S_i \cos \beta_i \left(\frac{z_i}{f} + k \right) - \Delta H_R, \quad (29)$$

где Z_0 — отметка базисной точки; i — высота объектива фототеодолита над базисной точкой; S_i — расстояние между базисной и определяемой точками; β_i — горизонтальный угол, вычисленный по формуле (28); Z_i — измеренная на стереокомпараторе координата точки на снимке, исправленная за нарушение элементов внутреннего ориентирования; k — поправочный

коэффициент, определяемый по отметкам контрольных точек; ΔH_R — поправка за кривизну Земли и рефракцию.

Поскольку отметку каждой точки определяют не менее чем по трем направлениям, то за окончательное значение принимают среднее арифметическое из полученных значений.

Решение фотограмметрической засечки универсальным методом осуществляется по одиночным снимкам и включает следующие процессы: подготовку основы (планшета) для нанесения определяемых точек, выбор точек, определение планового положения точек, вычисление отметок. Идея метода заключается в том, что на основе из каждой базисной точки графически строят направления на определяемую точку. Пересечение проведенных направлений дает плановое положение определяемой точки. Высотную отметку точки определяют, измеряя на стереоавтографе аппликату точки на правом снимке и используя формулу (29). За окончательную отметку принимают среднее арифметическое не менее чем из трех определений.

Рекомендуют также использовать пикетный способ определения координат точек сгущения. В этом способе точки сгущения определяют как пикетные точки на стереомодели, построенной на универсальном приборе. Пикетный способ не требует каких-либо специальных фотограмметрических и вычислительных работ, так как определение координат отдельных точек по стереомодели производится попутно с составлением топографического плана.

Поэтому во всех случаях, когда имеется возможность выбора, пикетный способ следует предпочесть аналитическому или графомеханическому.

Составление топографического плана универсальным методом

Процесс составления топографического плана на универсальных приборах включает следующие основные этапы: подготовительные работы, построение модели, установку планшета на координатографе прибора, ориентирование (корректуру) модели по опорным точкам, рисовку ситуации и рельефа.

Порядок обработки снимков на всех универсальных приборах практически одинаков и отличается для различных приборов лишь в деталях. Поэтому ниже излагается описание основных этапов работ применительно к наиболее распространенному в настоящее время прибору — стереоавтографу.

Подготовительные работы заключаются в проведении рабочих проверок и юстировок прибора, а также в подготовке рабочих основ для ориентирования модели.

Рабочие проверки стереоавтографа (см. рис. 109) или технокарта состоят в определении мест нулей всех шкал, т. е. таких отсчетов по ним, когда проектирующие плановые (L , R) и высотные линейки установлены параллельно друг к другу и на-

правлены вдоль оси $У_{\phi}$ прибора. Содержание и порядок проведения поверок описаны в руководствах по фототеодолитной съемке и в инструкциях по эксплуатации прибора.

Подготовка рабочей основы состоит в нанесении сетки квадратов, базисных и опорных точек, пунктов опорной сети и направлений оптических осей фотокамеры в левых точках съемочных базисов. Все построения выполняют на координатографе прибора. Для точного нанесения положения оптической оси фотокамеры предварительно вычисляют координаты $X_{a,b}$, $Y_{a,b}$ двух установочных точек a и b на этой оси, располагающихся на ближнем и дальнем планах, по формулам

$$X_{a,b} = X_{S_1} + S_{a,b} \cos \alpha_0,$$

$$Y_{a,b} = Y_{S_1} + S_{a,b} \sin \alpha_0,$$

где X_{S_1} , Y_{S_1} — координаты левой точки съемочного базиса; $S_{a,b}$ — расстояние от базиса до ближнего (или дальнего) плана обработки стереопары, округленное до 50—100 м. Если левая точка базиса и установочные точки a и b нанесены на основе правильно, то они должны лежать на одной прямой.

Построение модели начинают с установки негативов на снимкодержатели прибора эмульсией вниз на световом столе. С помощью специального установочного микроскопа тщательно совмещают все четыре координатные метки негатива с установочными штрихами, нанесенными на прикладном стекле снимкодержателей.

На отсчетных устройствах прибора устанавливают значения элементов ориентирования. На индикаторах фокусных расстояний устанавливают значения фокусных расстояний для левого и правого снимков. На компенсаторах смещения объектива ставят отсчеты, соответствующие смещениям объектива от его центрального положения на фотокамере в момент фотографирования. На конвергентном устройстве устанавливают нулевой отсчет, а на индикаторах базисных составляющих — значения b_x , b_y , b_z , вычисленные по формулам (27). Если базис фотографирования при полевых работах не был измерен, то для вычисления базисных составляющих используют приближенное значение базиса, которое потом в процессе корректуры модели уточняют.

Масштаб стереомодели выбирают в соответствии с расстояниями от базиса до ближней и дальней границ съемки, масштаба составляемого плана и возможностями прибора. Например, на стереоавтографе 1318 масштаб модели можно устанавливать в два раза мельче, чем масштаб плана (см. табл. 98).

Установку планшета (рабочей основы), состоящую в ориентировании и центрировании его, выполняют при помощи установочных точек. Планшет укладывают так, чтобы направление главного луча было приблизительно параллельно оси ординат координатографа. На карандашном устройстве устанавли-

ливают микроскоп. Отключают координатограф от прибора. Совмещают марку микроскопа с ближней установочной точкой, затем только движением Y координатографа перемещают микроскоп в направлении дальней установочной точки. Планшет на столе координатографа разворачивают вокруг ближней точки так, чтобы направление оптической оси было параллельно движению Y координатографа. Добиваются этого методом последовательных приближений и затем планшет закрепляют.

Штурвалом Y устанавливают на счетчике прибора расстояние до ближней установочной точки в масштабе модели. Левую измерительную марку прибора штурвалами X и Z совмещают с центральным крестом, нанесенным на стекло левого снимкодержателя. В этом положении подключают координатограф к прибору.

Для контроля правильности ориентирования и центрирования планшета наводят левую измерительную марку последовательно на опорные точки 2 и 3 (см. рис. 105) при дальнем положении мостика отстояний стереоавтографа. Несовмещение марки микроскопа координатографа с прямыми S_1-2 и S_1-3 не должны превышать 0,4 мм. При больших отклонениях следует проверить правильность нанесения на планшет базисных и опорных точек.

Ориентирование (корректурa) стереомодели на стереоавтографе может выполняться различными способами. Чаще всего корректуру модели проводят по опорным точкам.

Ориентирование начинают с выявления и устранения погрешностей измерения базиса и установки угла конвергенции. Для этого совмещают микроскоп координатографа с опорной точкой 1 планшета (см. рис. 105), и если измерительная пространственная марка прибора не совпадает с точкой на стереомодели, то видимое несовпадение устраняют винтом конвергенции. Затем переходят к точке 4 на ближнем плане и несовпадение марки устраняют изменением отсчета b_x . Эти действия повторяют последовательными приближениями до тех пор, пока на обеих точках 1 и 4 невязки не будут полностью устранены.

Затем совмещают микроскоп координатографа с точкой 2 и невязку устраняют изменением базисной составляющей b_y .

Точку 3 используют в качестве контрольной, и если на ней невязка по оси ординат не превышает 0,2 мм, то считают, что ориентирование модели закончено. В противном случае весь процесс ориентирования повторяют заново.

Для корректуры по оси z стереоскопически совмещают измерительную марку прибора с точкой 4 модели и в этом положении, застопорив движение z , устанавливают на счетчике высот отсчет, соответствующий геодезической высоте этой точки. Затем стереоскопически визируют на все другие опорные точки и определяют на них невязки по высоте. Если величина невязок не превышает $1/4$ принятой высоты сечения рельефа, то ориенти-

рование модели считают законченным. При наличии больших расхождений по высоте на отдельных точках необходимо проверить вычисления их геодезических отметок. Если невязки на точках 2 и 3 остаются и имеют разные знаки, то это говорит о большом угле крена фотопластинок и требует небольшого поворота левого снимка в снимкодержателе для устранения невязок. Невязки по высоте на опорных точках не должны превышать $1/4$ сечения рельефа, а на других точках с известными отметками — $1/3$ сечения.

Рисовку ситуации и рельефа начинают с проверки сходимости контуров и рельефа на границах со смежными стереопарами. Для этого измерительную марку прибора совмещают стереоскопически с несколькими характерными точками контуров и рельефа, находящимися на стыке с соседними стереопарами. Расхождения допускаются в плане не более 1 мм и по высоте не более $2/3$ высоты сечения рельефа.

После проверки сходимости приступают к рисовке контуров, которую осуществляют проведением стереоскопической марки по поверхности стереомодели вдоль рисуемого контура, что обеспечивается одновременным вращением штурвалов X , Y и ножного диска Z .

Рисовку контуров правильной геометрической формы (ЛЭП, мосты, здания и т. п.) выполняют точечным способом, последовательно совмещая марку с характерными точками контура, положение которых отмечают на плане. Затем по полученным точкам вычерчивают весь контур по линейке.

В процессе рисовки контуров следует постоянно пользоваться отдешифрованными в поле снимками и ведомостями дешифрирования, прилагаемыми к каждому снимку.

Рисовку рельефа начинают с того, что определяют и наносят на план отметки всех характерных точек (вершин, котловин, седловин) и вычерчивают элементы гидрографии, определяющие характер рельефа (тальвеги, мелкие речки, ручьи и промоины). Затем приступают к рисовке горизонталей, начиная обычно с самых высоких мест и заканчивая в низинах.

На счетчике высот устанавливают движением ножного диска отметку горизонтали, стопорят высотное движение Z и проводят стереоскопически марку по поверхности модели движениями штурвалов X и Y . Для уменьшения влияния люфтов в механических узлах прибора марку при рисовке всех горизонталей целесообразно перемещать всегда в одном направлении, например только слева направо.

После рисовки ситуации и рельефа составленный план проверяют набором контрольных пикетов, равномерно расположенных по всей площади стереопары на характерных точках. Расхождения между отметками пикетов и отметками, полученными интерполированием между горизонталями, не должны превышать $1/3$ принятого сечения рельефа. Расхождения в положении контуров не должны быть более 0,5 мм в масштабе плана.

Отдельные участки плана, не получившиеся после обработки основных стереопар («мертвые пространства»), заполняются с помощью данных тахеометрической или мензульной съемки или по результатам обработки снимков дополнительных базисов фотографирования, предназначенных для съемки именно этих участков местности.

ГЛАВА 10

СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

§ 55. ВИДЫ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Городские подземные коммуникации делятся на самотечные и напорные и кабели различного назначения и силы тока. Самотечные коммуникации (например канализацию) сооружают так, чтобы сточные воды двигались по трубам самотеком. Напорные коммуникации предназначены для транспортировки жидкостей под давлением. К ним относятся водопровод, теплофикация, нефтепровод, газификация и др. Кабели прокладывают для подачи электроэнергии.

В современных городах насчитывается около 20 видов подземных коммуникаций и сооружений, которые подразделяются на три группы: трубопроводы, кабельные прокладки и сооружения особого типа.

К трубопроводам относятся: водопровод, канализация, дренаж, газопроводная сеть и сети теплоснабжения.

Водопровод состоит из водозаборных, водоподъемных, водоочистных сооружений и водопроводной сети, глубина заложения которой должна быть ниже линии промерзания земли.

К а н а л и з а ц и я представляет собой подземную сеть труб и каналов для отвода загрязненных сточных вод за пределы города и выпуска их в водоем после очистки от загрязнений.

К сточным водам относят бытовые, хозяйственнофекальные, производственные и ливневые (состоящие из атмосферных осадков и вод, образующихся от таяния снега, льда и поливки улиц).

Д р е н а ж применяется в городах и населенных пунктах для понижения уровня грунтовых вод, затрудняющих строительство и эксплуатацию жилых домов, промышленных сооружений. Избыточная вода поступает в систему дрена, а оттуда в ливневую канализацию или непосредственно в водоемы.

Г а з о п р о в о д н а я с е т ь — сеть трубопроводов, обеспечивающая потребителей газом, поступающим с газовых заводов и месторождений природного газа.

Газопроводы бывают высокого давления, среднего и низкого. Их укладывают без соблюдения уклонов в зоне, свободной от промерзания. Магистральные газопроводы в зависимости от рабочего давления делятся на три класса. Магистральные газопро-

воды по территории городов, поселков и промышленных предприятий, как правило, не прокладывают.

Сети теплоснабжения служат для передачи тепловой энергии в жилые дома, учреждения и предприятия. Теплоснабжение делится на местное и централизованное; местное — от отдельных котельных; централизованное, осуществляемое подачей пара или горячей воды, — от центральных (районных) установок, производящих только тепловую энергию, и от теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), вырабатывающих одновременно силовую и тепловую электроэнергию.

Тепловые сети делятся на водяные и паровые и могут прокладываться под землей и под водой.

К кабельным прокладам относятся: электросети и телефонные сети.

Электросети. Для электроснабжения городов, поселков, промышленных предприятий применяется преимущественно система трехфазного переменного тока. Подземные электрокабели в отличие от телефонных называются силовыми.

Силовые кабели прокладываются преимущественно в земле. Во избежание повреждения кабельной свинцовой оболочки иногда в земле прокладывают бронированные электрокабели или специальные кабельные тоннели, коллекторы или кабельную канализацию. Кабели напряжением до 10 кВт прокладывают на глубине 0,7—0,8 м, а напряжением 35 кВт и выше — на глубине 1 м.

Телефонные сети прокладывают или непосредственно в грунте, или в специальных подземных телефонных канализациях. В последнем случае кабель имеет свинцовую оболочку. При прокладке в земле поверх свинцовой оболочки кладут слой бумаги, броню (железную ленту) и поверхностную джутовую или пеньковую оболочку со специальной пропиткой.

Различают два вида съемок подземных коммуникаций, а именно: съемку подземных коммуникаций и сооружений в процессе строительства (исполнительные геодезические съемки) и съемку существующих подземных коммуникаций.

§ 56. СЪЕМКА ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

Практика застройки городов и строительства предприятий показала, что отсутствие необходимых данных о плановом и высотном положении ранее проложенных сетей подземных коммуникаций может привести к авариям и разрушениям этих сетей в процессе новых строительных работ, а также к необходимости внесения изменений в разработанные проекты.

В целях устранения этого недостатка строительно-монтажные организации должны осуществлять строительство подземных коммуникаций в полном соответствии с проектом, строительными нормами и правилами. В процессе строительства

необходима проверка планового и высотного положения строящихся инженерных сетей и сооружений.

До проведения испытаний инженерных сетей и сооружений строительно-монтажные организации обязаны известить заказчика о готовности проложенных коммуникаций для проведения контрольной геодезической съемки, а также представить заказчику исполнительные чертежи с подписями должностных лиц, ответственных за производство строительно-монтажных работ.

В процессе контрольной геодезической съемки определяют фактическое плановое и высотное положение коммуникаций и наносят их на генеральный план строительной площадки.

Генеральный план (рабочий чертеж) строительной площадки объекта (здания, сооружения) с подземными коммуникациями в совокупности с исполнительными рабочими чертежами инженерных сетей и сооружений является исполнительной документацией. Генеральный план изготовляют в необходимом количестве экземпляров. Его передают Государственной комиссии во время приемки в эксплуатацию подземных сетей и сооружений, а также главному архитектору города для ведения оперативных (дежурных) планов городского хозяйства.

Элементы подземных инженерных коммуникаций, подлежащие съемке независимо от вида подземной прокладки: углы поворота, точки на прямолинейных участках по оси подземной сети не реже чем через 50 м, точки начала, середины и конца кривых, места изменений уклонов и диаметров труб, места ответвлений, присоединений, колодцы, камеры и люки.

По каждому виду подземной инженерной коммуникации съемке подлежат;

по водопроводу и трубопроводу специального технического назначения (нефтепроводу, мазутопроводу, маслопроводу, золопроводу и др.) — пожарные гидранты, задвижки, вентузы, аварийные выпуски, водоразборные колонки, упоры поворота;

по канализации (самотечной и напорной), водостоку и дренажу — аварийные выпуски, оголовки выпусков водостока, дождеприемники, ливневпуски, очистные сооружения на водостоках, упоры на углах поворота напорной канализации, габариты зданий перекачки водопроводных и канализационных станций;

по теплосети — компенсаторы, задвижки, неподвижные опоры, наземные павильоны над камерами, габариты зданий центральных пунктов (ЦТП);

по газопроводу — коверы, регуляторы давления, задвижки, гидравлические затворы, контрольные трубки, компенсаторы, заглушки, габариты газораспределительных станций (ГРС);

по электрокабелю — места выходов на стены зданий и опоры, сечения блоков или каналов по внешним габаритам, число каналов, линейные и тройниковые муфты, трансформаторы, габариты зданий трансформаторных пунктов (ТП);

по слаботочной сети — коробки, шкафы (с указанием их типа

или стандарта), сечение блоков или каналов по внешним габаритам, число каналов, развертки колодцев;

по электрозащите от коррозии — контактные устройства, анодные заземлители (с указанием глубины их заложения), электрозащитные установки, электрические перемычки, защитные заземления и дренажные кабели.

При этом должны быть собраны данные о количестве прокладок, отверстий, материале труб, колодцев, каналов, диаметрах труб и размерах сечений каналов, о давлении в газовых и напряжении в кабельных сетях.

При расположении подземных сетей в блоках и туннелях снимается только одна их сторона, другая же наносится по данным промеров. Выходы подземных сетей и элементы их конструкций должны быть связаны между собой или привязаны к постоянным контурам застройки контрольными промерами.

При съемке кабелей в пучках замеры производятся до крайних кабелей с одной стороны.

Дополнительной съемке подлежат все подземные сооружения, пересекающие прокладку или идущие параллельно ей, вскрытые траншеей.

Одновременно со съемкой указанных элементов инженерных коммуникаций должна быть осуществлена съемка текущих изменений в ситуации и рельефе, а также всех перечисленных выше элементов по ранее построенным инженерным подземным коммуникациям, вскрытым при строительстве.

Ширина полосы, охватываемая съемкой, устанавливается заданием, но должна составлять не менее 200 м от оси трассы. При производстве работ рекомендуется давать единую нумерацию колодцам, камерам и др.

Плановое положение сетей подземных коммуникаций и относящихся к ним сооружений может быть определено: на застроенной территории — от четких точек капитальных зданий и сооружений, каменных фундаментов домов, каменных и железобетонных заборов, от точек опорной геодезической сети и съемочного обоснования;

на незастроенной территории — от точек съемочного обоснования или пунктов опорной геодезической сети;

на проходном коллекторе, засыпанном землей, — проложенного внутри коллектора теодолитного хода.

На незастроенной территории определяют координаты выходов подземных коммуникаций и углов их поворота. Определение координат колодцев и углов поворота на застроенной территории производится по специальному заданию заказчика.

Положение подземных коммуникаций определяют от четких точек капитальной застройки следующими способами:

линейными засечками (не менее трех) длиной до 20 м, в исключительных случаях длиной до 50 м. Углы между смежными направлениями засечек у определяемой точки должны быть не менее 30° и не более 120°;

способом перпендикуляров длиной не более 4 м; более длинные перпендикуляры подкрепляются засечками, длины которых должны быть не более 20 м;

способом створов по продолжению контура зданий между четкими точками, а также комбинацией створов с засечками. Допустимая длина створа по продолжению не должна превышать половины исходной стороны и должна быть не более 60 м.

От пунктов опорной геодезической сети и точек съёмочного обоснования положение подземных коммуникаций определяют линейными засечками, перпендикулярами, полярным и комбинированным методами, т. е. мензулой в сочетании с теодолитом.

Съёмка полярным методом выполняется с пунктов опорной геодезической сети, с точек съёмочного обоснования, вспомогательных точек съёмочного обоснования или со вспомогательных точек, определенных тремя линейными засечками от постоянных точек. В этом случае нуль лимба теодолита ориентируется на постоянную точку, отстоящую от прибора не менее чем на 50 м. Длина полярного направления не должна быть более 30 м и при съёмке в масштабе 1 : 500, 40 м — в масштабе 1 : 1000 и 60 м — в масштабе 1 : 2000.

Все линейные измерения производят стальными лентами или рулетками. Для колодцев, имеющих крышки в форме круга, определяют положение центра крышки, а для люков и решеток прямоугольной формы делают съёмку двух углов.

Расстояния до контуров не должны превышать: при измерении мерной лентой и стальной рулеткой — 120 м, при измерении нитяными дальномерами — 40 м, оптическим дальномером — 80 м.

Если снимаемые элементы находятся глубже 1 м от поверхности земли, то их точки выносят на поверхность с помощью отвеса или рейки с круглым уровнем. Закругленные участки сетей снимают так, чтобы отобразить подобие фигуры в масштабе составляемого плана.

При съёмке колодцев и камер производят обмер внутреннего и внешнего габаритов сооружения, его конструктивных элементов, расположения труб и фасонных частей с привязкой к отвесной линии, проходящей через центр крышки колодца.

При этом необходимо знать назначение, конструкцию колодцев, камер, распределительных шкафов и киосков, характеристику имеющейся в них арматуры.

Для газовых и тепловых сетей фиксируют расположение стыков трубопроводов относительно люков колодцев или камер с указанием типа стыка.

Результаты измерений заносятся в абрис, где делают зарисовки в плане в сочетании со схемой прокладываемого теодолитного хода, показывают привязки к капитальной застройке, линейные размеры сооружения, сечения и т. д.

Таблица 99

| Интервалы коллектор- ных туннелей между шахтными стволами, м | Средняя квадратиче- ская погрешность, угл. с | | Длина стороны хода, м | | | Относитель- ная средняя квадратиче- ская погреш- ность изме- рения сто- роны хода |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | | | минимальная | | макси- мальная | |
| | ориентиро- вания начальной стороны хода | измере- ния угла | на кривых | на прямых | | |
| До 200 | 45 | 35 | 40 | 40 | 160 | 1/1500 |
| 200—400 | 22 | 15 | 40 | 70 | 140 | 1/2500 |
| 400—600 | 15 | 8 | 40 | 80 | 150 | 1/3000 |
| 600—800 | 11 | 5 | 40 | 85 | 160 | 1/3500 |

Примечание. При длине интервала свыше 800 м и при проходке по кривым малого радиуса степень точности угловых и линейных измерений устанавливается расчетом.

Все снимаемые элементы подземной инженерной сети по ходу съемки нумеруют в полевых абрисах и журналах.

Съемка подземных инженерных коммуникаций, проложенных способом щитовой проходки, выполняется от пунктов опорной геодезической сети и точек съемочного обоснования, расположенных на земной поверхности в непосредственной близости от трассы туннеля (не более 100 м от шахтных стволов, буровых скважин).

При отсутствии опорной геодезической сети необходимой точности она создается вдоль трассы туннеля полигонометрическими и нивелирными ходами.

Требования к подземной геодезической сети при строительстве коллекторных туннелей приведены в табл. 99.

При сдаче коллекторных туннелей по каждому строительному объекту в составе рабочих чертежей представляют разбивочную схему главных осей коллекторного туннеля с элементами кривых (радиусом, углами поворота, началом и концом кривой и др.). Во время строительства туннелей следует вести журнал геодезическо-маркшейдерского контроля.

Для колодцев, выстроенных по типовым проектам, определяют лишь внецентренность и ориентировку. Внецентренность колодцев определяют с помощью отвесов или рейки и вычисляют по формуле $D=b-a$, где a — измеренный радиус крышки; b — измеренный радиус колодца.

Внецентренность на коллекторах определяют по формуле

$$g = \frac{c-b}{2} - a,$$

где c — измеренное расстояние от проекции центра крышки до стенки колодца; b — измеренное расстояние от стенки колодца до стенок коллектора.

Высотное положение подземных инженерных коммуникаций определяют техническим нивелированием до того, как будут засыпаны траншеи и котлованы. Высотное положение инженерной сети в проходном коллекторе определяют от проложенного внутри него нивелирного хода.

При наличии густой сети реперов прокладывать нивелирный ход необязательно. В этом случае нивелирование элементов сетей (для контроля) производится отдельными станциями с привязкой к двум реперам.

Определение отметок от условного начала запрещается. Высотные отметки точек сети можно получать в необходимых местах непосредственно нивелированием элементов или с помощью измерения глубинной рейкой или стальной рулеткой от кольца колодца, на который ранее передана отметка.

Нивелируют люки всех колодцев, лотки канализационных водосточных и дренажных колодцев, верх труб и пол каналов (в непроходных — низ щебеночной подготовки) теплофикации, телефонной и электрокабельной канализации, в бесколодезных прокладках — углы поворота трассы и точки излома профиля. Для трубопроводов определяют отметки верха труб во всех колодцах и камерах. Бронированные кабели нивелируют во всех точках изменения глубины их залегания (в изломе профиля) на поворотах и вводах. На прямолинейных участках по оси прокладки через 50 м снимают створные точки, в которых определяют отметки заложения осей.

На спланированной территории вдоль трассы определяют отметки края траншей. Кроме того, определяют высоты элементов всех существующих инженерных коммуникаций, вскрытых в траншеях при строительстве.

Для нивелирования следует использовать двусторонние шашечные рейки с круглым уровнем. Расхождения в превышениях, полученных по черным и красным сторонам реек, для каждой станции не должны быть более 5 мм. Расстояние до реек должно быть не более 100 м.

Отметки временных реперов или точек планового съемочного обоснования определяют по данным нивелирного хода с включением их в ход как связующих точек. Нивелирование их как промежуточных точек не допускается.

§ 57. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ЧЕРТЕЖ

Исполнительный чертеж является документом, определяющим тип, конструкцию, плановое и высотное положение проложенных подземных коммуникаций.

Исполнительный чертеж, который входит в состав обязательной исполнительной документации, изготавливается в соответствии с действующими техническими требованиями и предъявляется строительной организацией при сдаче в эксплуатацию подземных коммуникаций.

Исполнительный чертеж используется в качестве исходного документа при составлении планов подземных инженерных коммуникаций.

В состав исполнительного чертежа входят:

топографический план в масштабе 1:500 или 1:1000 с изображением рельефа горизонталями или высотами, а также с изображением существующих и вновь построенных подземных коммуникаций;

продольный профиль по оси построенного сооружения;

планы и разрезы колодцев (камер);

поперечные сечения коллекторов, каналов, футляров с указанием диаметров расположенных в них труб и марок кабелей;

каталог координат выходов, углов поворота и створных точек на прямолинейных участках подземных коммуникаций при производстве съемки с пунктов опорной геодезической сети и с точек съемочного обоснования.

Топографической основой исполнительного чертежа построенных подземных коммуникаций служат планы в масштабе 1:500—1:1000, полученные в результате выполнения исполнительной топографической съемки.

Эти планы при приемке объектов в эксплуатацию одновременно являются и юридическим документом, подтверждающим правильность выноса на местность проектов подземных коммуникаций, зданий, сооружений, дорог, благоустройства, озеленения и вертикальной планировки территории, а также подтверждающим фактический объем строительства.

Исполнительная топографическая съемка выполняется с соблюдением требований нормативных документов в пределах границ участка строительства. Результаты съемки наносят на оригиналы планов, хранящихся в геодезическом фонде города (поселка) или предприятия.

В случаях когда построенные подземные инженерные коммуникации принимаются в эксплуатацию до завершения работ по планировке и благоустройству территории, исполнительный чертеж составляют на топографическом плане, предназначенном для проектирования, с досъемкой существующей капитальной застройки, к точкам которой осуществлялась привязка этих коммуникаций.

Продольный профиль по оси построенного подземного сооружения составляют по данным проведенных в натуре линейных измерений и нивелирования элементов сооружения.

Горизонтальный масштаб профиля принимают равным масштабу плана, вертикальный масштаб 1:100 и, как исключение, в отдельных случаях 1:50 (теплосеть).

На продольном профиле кроме высот элементов подземных коммуникаций показывают горизонтальные расстояния между точками нивелирования, отметки низа труб и их уклоны, количество бронированных кабелей, уложенных в земле, уклоны,

тип колодцев, футляры и обоймы, материал и диаметры труб, проектные отметки поверхности над подземными инженерными коммуникациями, конструкцию подземного сооружения и ее основания (материал, марка, тип).

Планы и разрезы колодцев (камер). Характерные сечения коллекторов, каналов, развертки кабельных колодцев и другие детали вычерчивают на свободном месте исполнительного чертежа в масштабе, принятом в проекте, с указанием необходимых линейных размеров, характеризующих построенные сооружения.

При одинаковом на всем протяжении сечении блоков, туннелей, каналов, футляров составляют один разрез. При изменении сечения коллектора, канала, футляра, количества труб и кабелей составляют дополнительные чертежи поперечного сечения.

Каталог координат точек элементов подземных инженерных коммуникаций составляют по установленной форме в принятой системе координат.

Первый экземпляр исполнительного чертежа, кроме каталога координат, составляют на кальке, вычерчивают тушью в принятых условных знаках и в необходимых случаях дополняют пояснительными подписями.

На исполнительном чертеже следует указать наименование строительно-монтажной организации, вид подземного сооружения, название населенного пункта, улицы (проезда), наименование проектной организации, номер и дату согласования проекта, номер и дату выдачи ордера административной инспекции на право производства работ для прокладки подземных коммуникаций, должны быть подписи лиц, ответственных за производство строительно-монтажных работ, подписи лиц, производивших съемку и выполнявших исполнительный чертеж, подписи представителей заказчика и эксплуатирующей организации.

Кроме того, на исполнительных чертежах обязательно показывают все подземные коммуникации, пересекающие подземную сеть.

Образец исполнительного чертежа водопровода приведен на рис. 111.

Контрольная геодезическая съемка выполняется заказчиком (застройщиком), осуществляющим технический надзор за строительством, или в случае отсутствия у него специалистов силами производственных групп отделов (управлений) по делам строительства и архитектуры.

За три дня до того, как будут засыпаны траншеи и котлованы, строительные организации обязаны вызвать заказчиков для проведения проверки соответствия планового и высотного положения построенных подземных инженерных коммуникаций на местности их отображению на исполнительных чертежах.

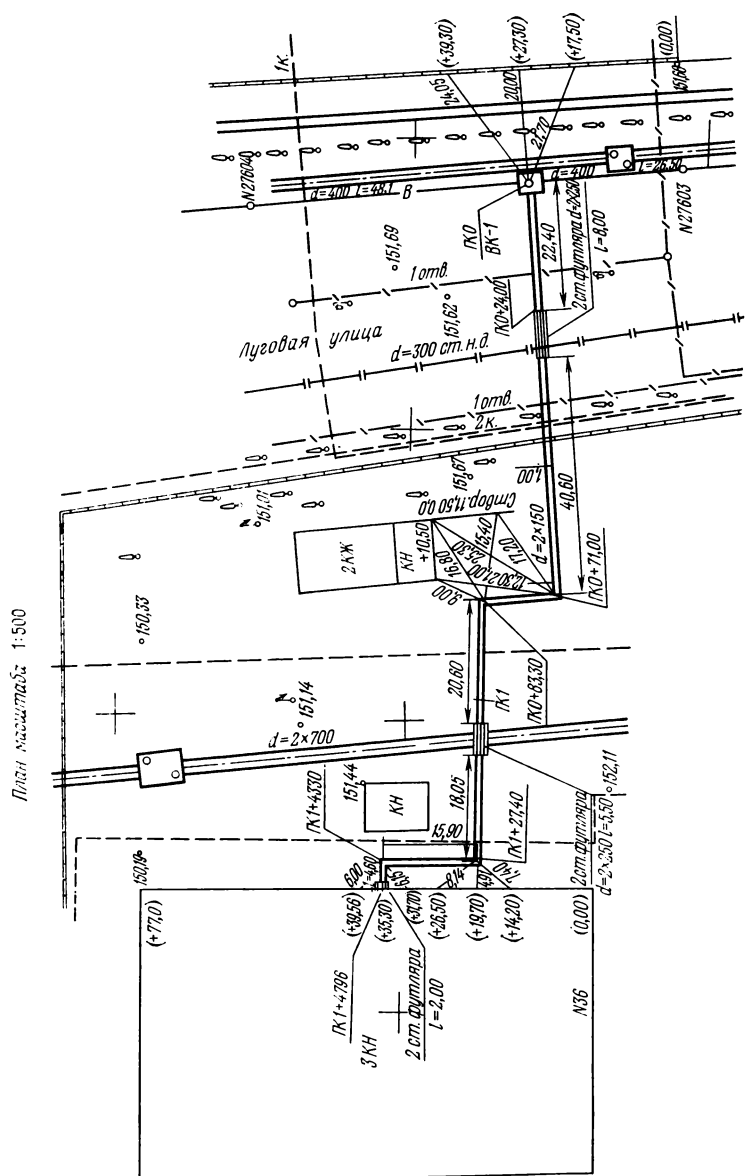


Рис. 111. Образец исполнительного чертежа водопровода

Контрольно-геодезические съемки строящихся подземных инженерных коммуникаций производятся в соответствии с требованиями, установленными нормативными документами для топографической съемки в масштабе 1 : 500.

При контрольно-геодезических съемках подземных инженерных коммуникаций определяют плановые и высотные положения всех углов поворота, камер, колодцев и точек на прямолинейных участках по оси подземной инженерной сети (выборочно), мест изменения уклонов сети и диаметров труб, мест присоединения ответвлений, а также всех сооружений и устройств на коммуникациях.

Перед началом контрольных измерений проверяющий получает от строительной организации исполнительный чертеж на подземную прокладку, правильность составления которого подлежит проверке.

При строительстве подземной инженерной сети мелкими участками, на которые исполнительные чертежи своевременно не могут быть составлены, данные полевого контроля накапливаются в одних и тех же абрисах и журналах с одновременным выполнением вычислительных работ.

Данные проверки заносят в абрис и нивелирный журнал и заверяют подписями. На исполнительном чертеже делают запись: «Исполнительный чертеж составлен правильно, соответствует натуре», которая сопровождается подписью и датой.

В случае представления строительной организацией неправильно составленного исполнительного чертежа или геодезических материалов, не отвечающих предъявляемым к ним требованиям, составляется акт. Подземная инженерная сеть до устранения выявленных недостатков не должна приниматься в эксплуатацию.

После приемки комиссией подземной инженерной сети в эксплуатацию один экземпляр исполнительного чертежа передают в отдел (управление) по делам строительства и архитектуры при исполкоме Советов народных депутатов города (поселка).

В результате исполнительной съемки построенных подземных коммуникаций должны быть получены следующие материалы: абрисы съемки подземных коммуникаций; журналы измерения горизонтальных углов и нивелирования подземных коммуникаций; схемы теодолитных и нивелирных ходов; ведомости вычислений координат и высот; каталог координат точек трассы для незастроенной части; исполнительный чертеж.

§ 58. СЪЕМКА ДЕЙСТВУЮЩИХ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Съемка действующих подземных коммуникаций производится в случае отсутствия или утраты исполнительных чертежей с целью технической паспортизации (инвентаризации) отдельных кабельных или трубных прокладок для их реконструкции и дальнейшего проектирования и развития, а также для

создания регистрационного плана расположения подземных коммуникаций.

Работа по съемке подземных сооружений разделяется на рекогносцировку, обследование и нивелирование выходов подземных коммуникаций.

При съемке подземных коммуникаций, не имеющих выходов на поверхность, вместо рытья специальных шурфов для вскрытия подземных сетей применяются трубокабелеискатели ИП-7ГКИ, КИ4П, ИПКТ-69, ИП-8-ГИС, так как рытье шурфов является дорогостоящей и трудоемкой работой, после которой необходимо восстанавливать вскрытые дорожные покрытия, а открытые шурфы затрудняют движение транспорта и пешеходов.

Метод шурфования для определения местоположения подземных сетей применяется:

в местах, где определение подземных коммуникаций с помощью приборов поиска невозможно;

для контроля данных, полученных электрометодами;

для уточнения и дополнения имеющихся данных.

Во всех случаях места закладки шурфов намечаются только после тщательного изучения материалов на имеющиеся подземные коммуникации, а также после опроса технического персонала организаций, эксплуатирующих их.

Проходка шурфов производится эксплуатирующими организациями. Закладываются шурфы в виде узких траншей в начале, конце и середине квартала через каждые 100 м.

В результате обследования шурфа должны быть выявлены повороты, вводы, пересечения подземных сетей и их основные технические характеристики. Назначение и вид вскрытых подземных сетей обязательно устанавливают представители эксплуатирующих организаций.

Сведения о поиске подземных коммуникаций отражают в отчете или формуляре планшета (плана). В отчете указывают: исполнителей работ и даты производства поиска; применяемые приборы; методику работ (использование различных способов подключения, поиск без помощи генератора и т. д.); оценку достигнутой точности (выполняется по сходимости контрольных или повторных измерений, контроль с помощью шурфования и т. д.).

Вскрытие шурфами подземных коммуникаций и сооружений для обследования, съемки или нивелирования применяется лишь в крайних случаях, когда местонахождение подземных прокладок невозможно определить другим путем.

Перед началом съемки подземных коммуникаций необходимо:

составить общую схему коммуникаций для установления взаимосвязи между колодцами;

наметить места для закладки шурфов и объемы работ по обследованию и съемке коммуникаций и сооружений.

При рекогносцировке используют копию плана масштаба 1 : 500, на которую наносят все подземные сооружения по данным, имеющимся в управлении главного архитектора города и в организациях, эксплуатирующих сети.

При рекогносцировке сличают ситуацию на плане с местностью, намечают выходы подземных сетей, обнаруженных в натуре, и вычерчивают их.

При обследовании колодцев подземных сетей выясняют их назначение, взаимосвязь, материалы, габариты колодцев и камер, количество труб в колодце, их диаметры, места вводов, присоединений и выпусков; производят замеры расстояний от кольца люка колодца до лотка, верха и низа трубы и других элементов колодца, обозначают местоположение и вводы кабелей или их групп с указанием их назначения и типов по данным эксплуатирующих организаций.

Обследованию подлежат: туннели и прокладка подземных коммуникаций; колодцы водопровода, канализации и теплосети; телефонные коробки и распределительные шкафы; коверы, колодцы и прочие сооружения газовой сети; выпуски канализации; дюкеры и прочие сооружения подземных коммуникаций.

Обследование водопроводных колодцев включает:

- определение материала, из которого сделан колодец, определение внутренних размеров и назначения;

- определение диаметров труб;

- нивелирование дна колодца, верха трубы, кольца колодца, дорожного покрытия около колодца, если крышка установлена выше или ниже покрытия.

Если во время обследования колодцев будут обнаружены коммуникации, которых нет на плане, необходимо определить их назначение, диаметр труб, зарисовать в абрисе направление обнаруженной сети, занивелировать ее верх, замерить положение оси относительно центра крышки колодца и нанести на копию плана.

Обследование колодцев канализации обычно начинают со смотрового колодца в месте присоединения хозяйственных, ливневых или общесплавных коллекторов. Такой колодец определяют по плану или на местности.

В результате обследования определяют:

- назначение, материалы и размеры колодцев;

- количество и материалы входящих и выходящих труб;

- направление стоков канализационных труб, для чего сбрасывают в колодец кусок бумаги и следят за его появлением в соседнем колодце (сбрасывать в колодец палки, щепки запрещается);

- наличие прочих подземных сетей.

В практике производства работ при обследовании канализации часто встречаются загрязненные колодцы. Их можно обследовать только после очистки. Не слишком загрязненные ко-

лодцы можно обследовать с помощью металлического щупа, имеющего дециметровые деления.

Обследование телефонных сетей производят в присутствии представителей эксплуатирующей организации. При обследовании необходимо:

- выявить расположение входящих и выходящих ответвляющих каналов с указанием материалов и количество их в блоке для каждого направления;

- определить тип колодца;

- получить отметки крышки и дна колодца, низа отверстия одного из каналов и верха блоков; если невозможно определить отметку низа отверстия одного из каналов и верха блоков, то измеряют расстояние до них рулеткой от верха крышки колодца.

Обследование камер теплосети значительных размеров ($2,0 \times 2,5 \times 2,1$ м), имеющих по две—четыре крышки, центры которых не совпадают с центрами колодцев и осями теплопровода, состоит в следующем:

- для нанесения оси теплопровода на плане зарисовывают расположение крышки и труб в камере;

- определяют диаметры труб в камере и расстояние от центра одной крышки, спроектированного вниз по отвесу, до стенок камеры; от стенки камеры измеряют расстояние до оси теплопровода;

- зарисовывают в абрисе конструкцию поперечного сечения теплопровода и оборудования (задвижки, компенсаторы и пр.).

Обследование газопровода заключается:

- в установлении оси газопровода по местоположению коверов;

- в определении местоположения вводов газовых сетей в здания, которые определяют по коверу над задвижкой, обычно установленному на расстоянии 1—3 м от линии застройки;

- в определении направления газопровода в домовых вводах.

Подземные сети, пересекающие водные пространства, размещают в специальных трубопроводах, называемых дюкерами. Для бесперебойной работы сооружения дюкеры имеют два канала или путепровода (второй является резервным на случай аварии или ремонта). На обоих берегах рек на концах дюкера устанавливают смотровые колодцы или камеры с задвижками и другой аппаратурой, необходимой для регулирования работы сооружения.

При обследовании необходимо отыскать в натуре смотровые колодцы или коверы, а при отсутствии колодцев на плане произвести их съемку.

Кроме того, необходимо определить:

- место выхода кабеля, заснять его линейными засечками от характерных предметов местности, имеющих на плане;

- количество кабелей;

- отметку верха выхода кабеля и уреза воды.

Если подземные коммуникации надо проложить через водное пространство, имеющее мост, их размещают на мосту (внизу или сбоку); кабельные прокладки для предохранения от повреждений помещают в металлические трубы, которые утепляют для предохранения от замерзания.

Съемку выходов подземных коммуникаций на поверхность производят одновременно со съемкой проездов и кварталов методами и приборами, применяемыми при съемке фасадов и проездов.

Если при рекогносцировке или обследовании выявлены колодцы подземных коммуникаций, построенных после съемки проездов, проводят дополнительную съемку таких колодцев промерами (не менее трех) от постоянных контуров.

В незастроенной части при обследовании или рекогносцировке обнаруженные колодцы, коверы и люки следует снимать так же, как и при съемке в процессе строительства, т. е. с теодолитных ходов с вычислением их координат.

Нивелирование действующих подземных сетей производят техническим нивелированием одновременно с нивелированием проездов от реперов III и IV классов.

Нивелирование выходов подземных сооружений, выявленных при рекогносцировке и обследовании, производят дополнительно, определяя отметки лотка, верха трубы подземного сооружения и применяя (как при съемке для составления исполнительных чертежей) глубинные рейки.

По истечении времени между нивелированием кольца колодца и верха трубы или лотка подземного сооружения может произойти сдвиг кольца колодца по высоте вследствие ремонта или реконструкции дорожного покрытия, что приводит к ошибкам в измерениях.

§ 59. СОСТАВЛЕНИЕ ПЛАНОВ ПОДЗЕМНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

Содержание планов подземных коммуникаций. Планы подземных коммуникаций для целей проектирования, строительства и эксплуатации составляются в масштабах 1:5000—1:500, а в исключительных случаях для решения отдельных инженерных задач в масштабе 1:200 (требования к содержанию которых определяют специальным заданием).

Выбор масштаба планов подземных коммуникаций осуществляется в зависимости от их целевого назначения и особенностей снимаемой территории. В подавляющем большинстве случаев при составлении таких планов принимаются масштабы: 1:5000—для территорий нефтепромыслов; 1:2000—для сельских населенных пунктов; 1:1000—для территорий городов, поселков и промышленных предприятий с малоэтажной застройкой и небольшой плотностью инженерных коммуникаций; 1:500—для территорий городов и промышленных предприятий с многоэтажной застройкой или плотной сетью коммуникаций.

На территории городов, используя планы в масштабах 1:500 и 1:1000 или исполнительные чертежи, создают планы подземных коммуникаций в масштабах 1:2000 или 1:5000 в качестве документов учетно-справочного характера.

На планах отображают планово-высотное положение подземных коммуникаций и их технические характеристики. Полнота содержания планов определяется масштабом плана и его целевым назначением.

Содержание планов подземных коммуникаций разделяется на общеобязательное (оптимальное) и выполняемое по специальному заданию. К общеобязательному содержанию относят данные о планово-высотном положении, назначении коммуникаций, материале и диаметре труб и размерах каналов. Эти сведения определяются в основном в процессе полевых работ. По специальному заданию заказчика дополнительно производят сбор технических характеристик по данным эксплуатирующих организаций (марка кабелей, величина давления газа, напряжение тока, ведомственная принадлежность сети и т. д.).

Сведения общеобязательного характера в большинстве случаев показывают непосредственно на топографических планах снимаемых территорий, дополнительные характеристики — на дубликатах (специальных планах), а при большой нагрузке — в каталогах, технологических схемах, эскизах колодцев.

Наиболее полным содержанием отличаются планы в масштабах 1:1000 и 1:500, на которые в обязательном порядке наносят:

- плановое положение трасс всех подземных коммуникаций (включая бездействующие) с указанием их основного назначения;

- высоты обечаек, верха труб (дна лотков), верха и низа каналов;

- диаметры и материалы труб, размеры каналов.

Высоту поверхности земли (мощения) у колодцев или камер приводят, если она отличается от отметок обечаек более чем на 0,1 м для спланированных территорий и 0,2 м — для неспланированных.

Кабельные линии разделяются условными знаками на кабели слабого тока, высокого и низкого напряжения, а также характеризуются числом кабелей в пучке или канале.

При наличии специального задания в содержание планов масштабов 1:1000 и 1:500 включаются следующие сведения: марка кабеля; количество труб в каналах теплотрассы; давление газа в газопроводах; напряжение тока в кабельных линиях и их принадлежность; высоты вне колодцев в местах перелома профиля, но не реже чем через 50 м; местоположение задвижек, пожарных гидрантов, вантузов и выпусков; местоположение элементов антикоррозийной защиты.

Планы в масштабах 1:2000 и 1:5000, составляемые по данным съемки подземных коммуникаций на территории сельских

населенных пунктов или нефтепромыслов, содержат обязательные сведения о подземных коммуникациях в том же объеме, что и планы масштабов 1 : 1000 и 1 : 500.

При составлении планов масштабов 1 : 2000 и 1 : 5000 следует учитывать, что:

при нанесении однородных сетей, расположенных практически в одной траншее (на расстоянии 2 м и менее друг от друга), на плане проводится одна линия с указанием количества труб и их диаметров;

основные технические характеристики (диаметр и материал труб, высоты их заложения) выносят в каталоги, если из-за большой плотности коммуникаций разместить их на плане не удастся;

дополнительные технические характеристики на планы не наносят и не включают в содержание каталогов, составляемых в дополнение к этим планам.

Планы масштабов 1 : 2000 и 1 : 5000, составляемые по материалам съемок более крупных масштабов или исполнительным чертежам, имеют следующее содержание.

На план масштаба 1 : 5000 наносят:

по водопроводу — трубы диаметром 300 мм и более;

по канализации — трубы диаметром 400 мм и более;

по газопроводу — трубопроводы среднего и высокого давления, а также магистральные газопроводы без разделения их на классы;

по теплосети — теплопроводы, идущие от ТЭЦ, с диаметром не менее 300 мм и местная теплосеть с диаметром труб не менее 350 мм;

по водостоку — коммуникации, имеющие диаметр от 600 мм и более;

по дренажу — коммуникации с диаметром труб 400 мм и более, а также все скважины глубокого заложения;

по кабельным линиям — кабельные коммуникации с напряжением тока 35 кВт и более, а также телефонные коммуникации районного и городского значения, имеющие не менее четырех отверстий.

На план наносят все коллекторы с указанием их назначения, а также здания и сооружения, относящиеся к подземным коммуникациям (водозаборы, станции перекачки, ТЭЦ, АТС, ТП, ГРП и др.).

На планы масштаба 1 : 2000, создаваемые для учетно-справочных целей, наносят:

по водопроводу — все коммуникации с указанием диаметра труб без вводов в отдельные здания;

по канализации — все коммуникации без выпусков из зданий и сооружений с указанием диаметров труб и направления стока;

по газопроводу — все коммуникации с указанием диаметров труб;

по теплосети — все коммуникации, идущие от ТЭЦ, без вводов в здания;

местные теплосети показывают при диаметре труб более 150 мм;

по водостоку и дренажу — все трубопроводы, имеющие диаметры труб не менее 400 мм, с указанием диаметра труб;

по кабельным коммуникациям — кабельные линии, имеющие напряжение тока 6 кВт и более, а также вся телефонная коммуникация районного и городского назначения.

На план наносят все коллекторы, а также здания и сооружения, относящиеся к подземным коммуникациям;

Составление планов подземных коммуникаций. Подземные коммуникации с их техническими характеристиками отображаются на планах путем:

нанесения всех данных на топографические планы местности, совмещенные с планами подземных коммуникаций;

нанесения на топографические планы трасс подземных коммуникаций и их основных технических характеристик с вынесением ряда дополнительных сведений и технических характеристик в каталоги колодцев подземных коммуникаций;

составление специальных планов подземных коммуникаций.

В отдельных случаях при весьма плотной сети подземных коммуникаций в дополнение к специальным планам создают технологические схемы, на которых отображают отдельные виды коммуникаций.

Выбор методики составления планов определяется плотностью коммуникаций на участке работ, наличием специального задания по сбору дополнительных сведений и целевым назначением планов.

В общем случае план подземных коммуникаций следует совмещать с топографическим планом местности. Это позволяет сконцентрировать всю информацию в одном месте, что облегчает пользование планами при проектировании.

Однако возможности совмещения всей информации о подземных коммуникациях на одном листе плана с информацией о топографии местности ограничены необходимостью обеспечить при этом удовлетворительную читаемость плана. Поэтому часто приходится часть информации о подземных коммуникациях помещать в каталоги, а также составлять специальные планы, схемы и эскизы.

Составленные планы должны быть тщательно проверены. Корректуру планов подземных коммуникаций поручают опытным специалистам, хорошо знающим основные принципы проектирования и эксплуатации подземных коммуникаций. В процессе корректуры планов особое внимание уделяется следующему:

на изгибах и врезках самотечных сетей должны быть нанесены колодцы. В противном случае необходимо либо отыскать пропущенный колодец, либо проверить правильность съемки;

на проездах (улицах) городов и поселков линии подземных коммуникаций должны быть практически параллельны красной линии застройки. Существенные отступления от этого правила следует тщательно проверить контрольными полевыми измерениями;

вводы в здания водопроводов, теплосети и газопроводов должны быть под прямым углом к контуру здания. В противном случае следует выполнить контрольные полевые работы;

угол поворота трассы трубопроводов должен быть не менее 90° , в противном случае он требует уточнения;

диаметр труб самотечных коммуникаций и теплосети в колодцах могут быть неодинаковых размеров, несколько увеличиваясь в направлении от обслуживаемых зданий к коллектору (магистралу). Диаметры напорных труб могут иметь неодинаковую величину в межколодезном пролете, но направление увеличения диаметров такое же, как и для самотечных сетей;

напряжение тока в кабельных линиях может изменяться на трансформаторных подстанциях;

Самотечные сети должны иметь уклон не меньше допустимого для данного диаметра труб в направлении от выпуска из зданий к коллектору. Наличие недопустимо малых уклонов обычно указывает на ошибки в нивелировании колодцев и требует повторных измерений;

подземные коммуникации должны быть нанесены на план без разрывов, обеспечивая технологически правильную систему водоснабжения, канализации, отопления и т. д.

Составленные планы или их копии должны быть согласованы с представителями служб эксплуатации. Назначение согласования заключается в проверке полноты содержания планов, правильности диаметров труб, материала труб и других сведений.

§ 60. КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Составление плана города. Для решения задач, связанных с проектно-планировочными работами, благоустройством и строительством города (поселка), необходимы топографические планы в масштабах от 1 : 2000 до 1 : 25 000.

В зависимости от назначения планы составляют на планшетах размером 60×60 см (сделанных из алюминия или высококачественной фанеры с наклеенной на них чертежной бумагой) или на подрамниках размером 2×3 м. Составлять планы на подрамниках больших размеров нецелесообразно, так как возникают затруднения при их составлении и вычерчивании.

Планы составляют по редакционным указаниям и материалам съемок тех же или более крупных масштабов.

Планы городов обычно составляют в масштабах 1 : 2000, 1 : 5000 и 1 : 10 000, а в случае необходимости — в масштабе 1 : 25 000 на всю территорию города и его пригородную зону.

При составлении планов городов в масштабах от 1:500 до 1:25 000 используют следующие материалы:

полевые абрисы плановой и высотной съемок;

топографические планы съемки более крупного масштаба или равного масштабу составляемого плана;

оригиналы составительские, издательские и литографские с оригиналов плана;

аэроснимки залета в масштабах 1:3000—1:7000 и фото-планы с них в масштабах 1:5000—1:10 000;

инвентарно-реестровые и дежурные планы городов в масштабах 1:2000 и 1:5000 с нанесенными текущими изменениями в капитальной застройке и в границах землепользования и пр.;

планы проектирования и строительства промышленных объектов и поселков, планы для строительства водоснабжения, канализации, теплофикации, дорожных магистралей и др.;

справочники административно-территориального деления (списки населенных пунктов, улиц, площадей, железнодорожных станций, портов и других объектов).

Все собранные картографические материалы должны быть изучены и определена их пригодность. В результате изучения и анализа необходимо установить:

вид картографического материала (оригинал топографического планшета, литографский оттиск, составительский или издательский оригинал), год производства съемки, обследования или составления и издания;

масштаб, систему координат и проекцию плана или карты;

наличие и точность положения опорных пунктов, точность, подробность и полноту содержания ситуации и рельефа; графическое оформление используемых материалов и пригодность рисунка для фотографирования;

степень деформации материалов.

В результате изучения и анализа картографических материалов выявляют участки, которые необходимо проверить на местности путем рекогносцировки или дополнительных съемочных работ.

Собранные материалы для составления карт делят на основные и справочные.

К основным картографическим материалам относят материалы, на основании которых создается плановая основа (т. е. элементы ситуации) составительского оригинала и с которых изготовляют синие светокпии, положенные в основу монтажа на оригинале.

Справочным материалом являются те картографические материалы, по которым устанавливают наличие на местности тех или иных объектов, название населенных пунктов и т. д.

После изучения и оценки пригодности картографических материалов для картосоставительских работ необходимо составить редакционный план или технические (редакционные) указания.

В редакционном плане предусматривается программа процесса составления плана города с большим количеством планшетов. Редакционный план особенно необходим в случае, когда планы составляют по материалам съемок крупного масштаба (например составление плана масштаба 1:10 000 по планшетам масштаба 1:2000). Технические (редакционные) указания необходимы при составлении небольшого количества планшетов и при несложной генерализации (например составление плана масштаба 1:5000 по плану масштаба 1:2000).

В редакционном плане должны быть освещены следующие вопросы:

- назначение плана города (для проекта планировки, проекта детальной планировки), масштаб плана, условные знаки, инструкции и специальные указания, на основании которых составляется план;

- геодезическая опорная сеть (плановая и высотная) на территории города, на которую составляется план;

- предложения и рекомендации по картографическим материалам (по каждому в отдельности) для использования их в качестве основных или справочных;

- способы составления (перенесение изображений на составительские оригиналы), очередность составления элементов содержания плана указания по генерализации каждого элемента содержания, выбор шрифтов для подписей, зарамочное оформление, ведение формуляра, требования к корректуре составления;

- указания по вычерчиванию и изданию плана.

В приложения к редакционному плану должны входить схема основных картографических материалов, используемых при составлении плана, схема сводок между планшетами и образцы генерализации, выполненные на небольших участках.

Технические (редакционные) указания составляют по такой же программе, как и редакционный план, но более кратко.

При перенесении элементов ситуации со съемочных материалов в процессе составления планов городов используют различные методы.

Аналитический метод заключается в том, что элементы ситуации проездов, внутриквартальной застройки и другие предметы и контуры местности наносят на план по абрисам полевых съемок от линий теодолитных и тахеометрических ходов, поворотные и створные точки которых наложены на план по координатам.

Фотомеханический метод состоит в том, что материалы съемки, по которым составляется план, фотографируют с уменьшением до требуемого масштаба или в натуральную величину, с них изготовляют фотокопии, по которым монтируют план; при этом фотокопии на мягкой основе должны отличаться от теоретических в сторону уменьшения до 0,6 %. Светокопии монтируют на жесткую основу с точностью 0,2 мм.

При механическом методе нанесение изображения ситуации и рельефа выполняется при помощи пантографа, который устанавливают по координатной сетке; при этом пантографирование из мелкого масштаба в более крупный не рекомендуется.

Оптический метод заключается в том, что при помощи проекторов и рисовальных приборов (диаскопов, эпидиаскопов и пр.) изображение с картографических материалов переносится на составляемый план.

При графическом методе изображение ситуации и рельефа копируют с основного картографического материала на составительский план (при условии одинакового масштаба) с помощью кальки, винипроза или светового стекла. Ошибка перерисовки не должна превышать 0,4—0,5 мм.

Автоматизированный — это редуционно-полярный метод измерений при крупномасштабном картографировании местности.

Копии, изготавливаемые на жесткой основе или пластике, должны удовлетворять следующим требованиям:

расхождения в длинах сторон квадратов прямоугольной сетки с их теоретическими размерами не должны превышать 0,2 мм, а в суммах длин сторон трех квадратов и более — 0,3 мм;

отклонения размеров рамок от их теоретических размеров не должны превышать 0,2 мм, а по диагонали 0,4 мм.

Погрешность нанесения изображения на плане не должна быть больше 0,4 мм (без учета погрешности составления исходных планов).

Составительские оригиналы планов вычерчивают в четырех цветах и оформляют в соответствии с действующими условиями знаками ГУГК и техническими (редакционными) указаниями.

Издательские оригиналы планов должны полно и точно воспроизводить содержание составительских оригиналов или полевых материалов. Издательские оригиналы вычерчивают черной тушью на синих копиях, изготовленных с составительских оригиналов на жесткой основе или на прозрачных пластиках в том же масштабе или с увеличением в 1,25 раза для планов масштаба 1 : 10 000 или мельче.

Для планов масштаба 1 : 5000 и крупнее издание планов допускается с полевых или составительских оригиналов при условии высокого качества их вычерчивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В. Д., Маркузе Ю. И.* Городская полигонометрия. Уравнение и проектирование. М., Недра, 1979.
2. *Бруевич П. Н., Кириленко В. С., Лысков Г. А.* Наземная фототопографическая съемка при инженерных изысканиях. М., Недра, 1979.
3. *Васильев В. Г.* Определение азимута земного предмета по Солнцу. М., Недра, 1971.
4. *Ганьшин В. Н., Коськов Б. И., Хренов Л. С.* Справочное руководство по крупномасштабным съемкам. М., Недра, 1977.
5. *Ганьшин В. Н., Ларина Т. А., Кудряков В. М.* Съемка и обследование подземных инженерных сетей на действующих промышленных предприятиях и площадках. М., Недра, 1971.
6. *Геодезические работы в строительстве.* Под ред. В. Н. Ганьшина/В. Н. Ганьшин, Б. И. Коськов, Л. С. Хренов и др. М., Стройиздат, 1984.
7. *Ганьшин В. Н., Хренов Л. С.* Таблицы для разбивки круговых и переходных кривых. 5-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1985.
8. *Даниленко Т. С.* Организация и производство геодезических работ при крупном строительстве. М., Недра, 1975.
9. *Захаров А. И.* Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., Недра, 1978.
10. *Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов.* М., Недра, 1974.
11. *Инструкция по топографо-геодезическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства Госстроя СССР.* (СН 212—73). М., Стройиздат, 1974.
12. *Инструкция по съемке и составлению планов подземных коммуникаций.* М., Недра, 1978.
13. *Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500.*—ГКИНП-022-033—79. М., Недра, 1985.
14. *Коськов Б. И.* Справочное руководство по съемке городов. 2-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1974.
15. *Коськов Б. И., Урбан Б. Э.* Справочник работника геолого-геодезической службы местных органов по делам строительства и архитектуры. М., Стройиздат, 1982.
16. *Кудрявцева Е. А.* Исполнительные съемки на территории городов. М., Недра, 1976.
17. *Левчук Г. П.* Курс инженерной геодезии. М., Недра, 1970.
18. *Левчук Г. П., Новак В. Е., Лебедев Н. Н.* Прикладная геодезия. М., Недра, 1983.
19. *Литвинов Б. А.* Основы уравнительных вычислений и оценка точности результатов измерений и уравнивания. М., Недра, 1979.
20. *Лобанов А. Н.* Фотограмметрия. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М., Недра, 1984.
21. *Неумывакин Ю. К.* Практическое руководство по геодезии для архитектурной службы района. М., Недра, 1973.
22. *Основные положения по созданию топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500.* М., ГУГК, 1979.
23. *Основные положения по выбору масштаба и высоты сечения рельефа топографических съемок населенных пунктов.* М., Недра, 1980.
24. *Постоянное планово-высотное съемочное обоснование.* Под ред. Л. С. Хренова/Л. С. Хренов, Б. И. Коськов, П. Н. Бруевич и др. М., Недра, 1982.

25. Рытов А. В., Спиридонов А. И. Геодезические приборы для крупномасштабных съемок. М., Недра, 1977.
26. Руководство по применению стенных знаков в полигонометрических и теодолитных ходах. М., Недра, 1972.
27. Руководство по съемке и составлению планов подземных инженерных коммуникаций. М., Стройиздат, 1972.
28. Руководство по съемке и составлению планов подземных коммуникаций и сооружений. М., Стройиздат, 1979.
29. Руководство по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. Фототеодолитная съемка. М., Недра, 1977.
30. Руководство по применению фототеодолитной съемки при инженерных изысканиях для строительства. М., Стройиздат, 1976.
31. Спиридонов А. И., Кулагин Ю. П., Крюков Г. С. Справочник-каталог геодезических приборов. М., Недра, 1984.
32. Справочное руководство по инженерно-геодезическим работам. Под ред. В. Д. Большакова и Г. П. Левчука. М., Недра, 1980.
33. Старицын А. П. Организация и стандартизация геодезическо-маркшейдерских работ в строительстве. М., Стройиздат, 1975.
34. Строительные нормы и правила СНиП II-9—78. Нормы проектирования. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М., Стройиздат, 1979.
35. Судаков С. Г. Основные геодезические сети. М., Недра, 1975.
36. Сундаков Я. А. Геодезические работы при возведении крупных промышленных сооружений и высотных зданий. 2-е изд. М., Недра, 1980.
37. Хренов Л. С. Геодезические таблицы для строителей. М., Недра, 1983.
38. Центры геодезических пунктов для территорий городов, поселков и промышленных площадок. М., Недра, 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Введение | 3 |
| § 1. Назначение и виды геодезических и топографических работ | 3 |
| § 2. Назначение топографических планов | 5 |
| ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ОПОРНЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ СЕТИ | |
| Глава 1. Общие положения | 7 |
| § 3. Составление проектов опорной геодезической сети | 8 |
| § 4. Постройка металлических знаков и надстроек на зданиях и сооружениях | 27 |
| Общие требования, предъявляемые к металлическим геодезическим знакам | 28 |
| Постройка металлических пирамид | 29 |
| Постройка вех-мачт | 33 |
| Постройка металлических сигналов | 35 |
| Постройка металлических надстроек на зданиях и сооружениях | 37 |
| Постройка сложного металлического сигнала | 41 |
| § 5. Закладка центров геодезических пунктов | 46 |
| Глава 2. Триангуляция | 49 |
| § 6. Измерение базисов и выходных сторон | 50 |
| § 7. Измерение углов. Предварительная обработка результатов измерений | 59 |
| § 8. Уравнивание триангуляции с практическими примерами и оценкой точности слабой (удаленной) стороны | 76 |
| Глава 3. Трилатерация | 91 |
| § 9. Измерение сторон | 92 |
| § 10. Уравнивание трилатерации | 95 |
| Глава 4. Полигонометрия | 99 |
| § 11. Цель и назначение городской полигонометрии | 99 |
| § 12. Классы и разряды полигонометрических сетей и их точность | 99 |
| § 13. Угловые измерения | 100 |
| Способы передачи дирекционного угла | 108 |
| Определение азимута из астрономических наблюдений | 110 |
| § 14. Линейные измерения | 118 |
| Приборы для измерения расстояний | 118 |
| Компарирование приборов | 127 |
| Полигонометрические ходы с главными сторонами | 134 |
| Системы ственных полигонометрических знаков и способы привязки к ним ходов полигонометрии | 135 |
| § 15. Уравнивание полигонометрической сети | 143 |
| Строгое уравнивание полигонометрической сети с исходными дирекционными углами на узловых точках | 143 |
| Раздельное уравнивание полигонометрической сети | 151 |
| Глава 5. Нивелирование | 152 |
| § 16. Классы нивелирных сетей и их точность | 152 |
| § 17. Геодезические приборы для производства нивелирования | 154 |
| Нивелирование II класса | 163 |
| Нивелирование III класса | 169 |
| Нивелирование IV класса | 171 |
| § 18. Уравнивание сетей нивелирования | 173 |

ЧАСТЬ ВТОРАЯ. СЪЕМОЧНЫЕ РАБОТЫ

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Глава 6. Съемочное обоснование | 180 |
| § 19. Общие положения | 180 |
| А. Полевые работы | 181 |
| § 20. Составление проекта и рекогносцировка теодолитных ходов и сетей микротриангуляции, их заменяющих | 181 |
| § 21. Требования, предъявляемые к теодолитным ходам и сетям микротриангуляции, их заменяющим, в зависимости от масштабов съемок | 183 |
| § 22. Закрепление пунктов съемочного обоснования | 185 |
| § 23. Геодезические приборы для измерения углов и высот съемочного обоснования | 187 |
| Теодолиты | 187 |
| Нивелиры | 189 |
| § 24. Требования к ведению и оформлению полевых журналов по измерению углов и линий | 193 |
| § 25. Угловые измерения | 193 |
| § 26. Линейные измерения | 195 |
| § 27. Методы привязки теодолитных ходов к стенным знакам различного типа | 203 |
| § 28. Особенности угловых и линейных измерений при плановых привязках знаков постоянного съемочного обоснования | 209 |
| § 29. Техническое нивелирование | 211 |
| Б. Камеральные работы | 213 |
| § 30. Уравнивание теодолитных ходов | 213 |
| § 31. Уравнивание сетей микротриангуляции | 220 |
| § 32. Уравнивание нивелирных ходов | 222 |
| § 33. Переход от одной системы координат к другой | 222 |
| Глава 7. Наземные горизонтальные и вертикальные съемки в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500 | 223 |
| § 34. Выбор масштаба и высоты сечения рельефа для планов и карт при топографических съемках | 223 |
| § 35. Элементы ситуации, подлежащие съемке | 227 |
| § 36. Горизонтальная съемка застроенных территорий | 229 |
| § 37. Нивелирование застроенных и незастроенных территорий | 240 |
| § 38. Мензульная съемка | 244 |
| § 39. Тахеометрическая съемка | 255 |
| § 40. Поддержание планов на уровне современности | 257 |
| Глава 8. Аэрофототопографическая съемка | 260 |
| § 41. Выбор параметров аэрофотографирования для съемки городских территорий | 260 |
| § 42. Плановая привязка аэрофотоснимков | 263 |
| § 43. Вычислительные работы и составление каталогов координат опорных знаков | 266 |
| § 44. Камеральная привязка аэрофотоснимков | 267 |
| § 45. Фотограмметрическое сгущение опорной сети | 268 |
| § 46. Изготовление фотопланов | 270 |
| § 47. Техника дешифрирования фотопланов и аэрофотоснимков городов | 271 |
| § 48. Съемка рельефа на фотоплан | 273 |
| § 49. Стереотопографический метод съемки городов | 274 |
| § 50. Высотная привязка аэрофотоснимков | 275 |
| § 51. Камеральные фотограмметрические работы | 276 |
| Глава 9. Наземная фототопографическая съемка | 278 |
| § 52. Основы наземной фототопографической съемки | 278 |
| § 53. Полевые работы | 287 |
| § 54. Камеральные работы | 295 |
| Приборы для обработки фотоснимков | 297 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Определение пространственных координат точек местности . . . | 300 |
| Составление топографического плана универсальным методом . . | 304 |
| Глава 10. Съёмка подземных коммуникаций | 308 |
| § 55. Виды подземных сооружений | 308 |
| § 56. Съёмка подземных коммуникаций и сооружений в процессе строи- тельства . : : | 309 |
| § 57. Исполнительный чертеж . . . : | 314 |
| § 58. Съёмка действующих подземных коммуникаций | 318 |
| § 59. Составление планов подземных коммуникаций | 322 |
| § 60. Картографические работы . : : | 326 |
| Список литературы | 330 |

ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ИЗДАНИЕ

Борис Иванович Коськов

СПРАВОЧНОЕ ПОСОБИЕ ПО СЪЕМКЕ ГОРОДОВ

**ИЗДАНИЕ ТРЕТЬЕ, ПЕРЕРАБОТАННОЕ
И ДОПОЛНЕННОЕ**

Редактор издательства *Т. А. Борисова*
Художественный редактор *Г. Н. Юрчевская*
Технические редакторы *Л. А. Мурашова, С. В. Торопцева*
Корректор *Р. А. Слобоженко*

ИБ № 6776

Сдано в набор 29.01.86. Подписано в печать 22.05.86. Т-10854.
Формат 60×90^{1/16}. Бумага тип. № 1, имп. Гарнитура Литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 21,0. Усл. кр.-отт. 21,0. Уч.-изд.
л. 22,12. Тираж 8800 экз. Заказ 653/917—15. Цена 1 р. 50 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва,
Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НЕДРА»
ГОТОВЯТСЯ К ПЕЧАТИ И ВЫЙДУТ В СВЕТ
НОВЫЕ КНИГИ

ПОЛИЩУК Ю. В., ГЛАДКИЙ В. И., ШАПОВАЛОВА Л. А.
Создание и обновление специальных планов городов.
20 л., 1 р. 40 к.

Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по созданию и обновлению специальных планов городов при изыскании, проектировании, строительстве, эксплуатации и реконструкции инженерных сооружений. Даны рекомендации по качественной и количественной оценке специальных планов в гражданском и промышленном строительстве, оптимизации содержания и способам обновления.

Для инженеров и техников-геодезистов, проектировщиков и строителей; может быть полезна студентам геодезических вузов.



СУББОТИН И. Е.
Инженерно-геодезические работы при проектировании, строительстве и эксплуатации магистральных нефтепроводов.
10 л., 50 к.

Рассмотрены инженерно-геодезические изыскания, выполняемые при проектировании магистральных нефтегазопроводов и линейных сооружений при них, геодезические разбивочные работы при строительстве, исполнительные съемки объектов законченного строительства, наблюдения за деформациями инженерных сооружений и технологического оборудования перекачивающих станций.

Для специалистов, занимающихся изысканиями и строительством магистральных нефтегазопроводов.

Интересующие Вас книги можно приобрести или заказать в магазинах книготорга, распространяющих научно-техническую литературу, и в магазинах — опорных пунктах издательства «Недра», адреса которых приведены в аннотированном плане, а также через отдел «Книга — почтой» (г. Ленинград, магазин № 17).

Адреса центральных магазинов:

№ 115 — 117334, Москва, Ленинский проспект, 40. Дом научно-технической книги;

№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61

ВОДОРОДНОЙ ЭЛЕКТРОДОВОЙ
ПОДСИСТЕМЫ