

Данный файл представлен исключительно в ознакомительных целях.

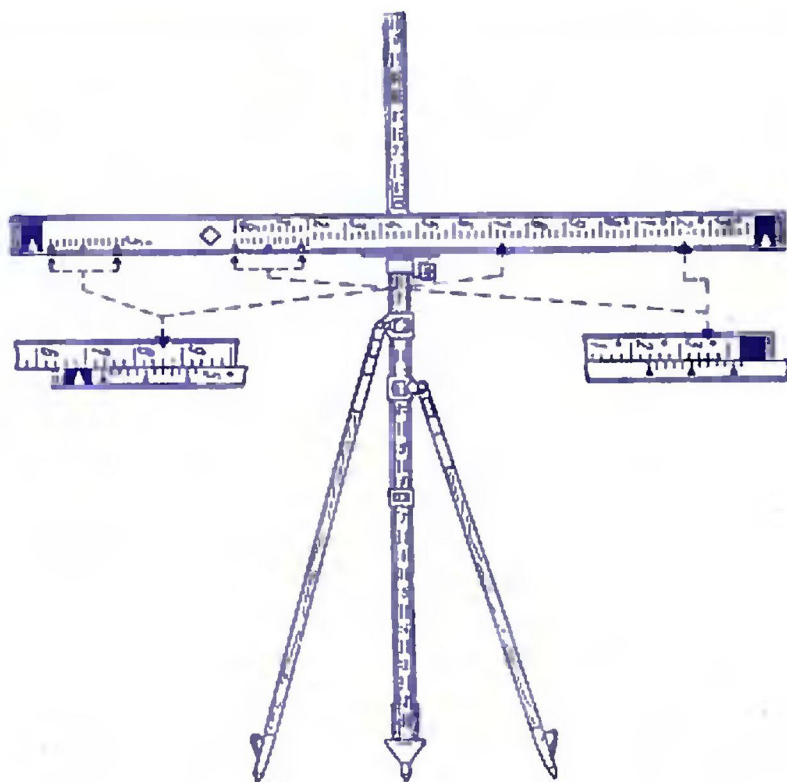
Уважаемый читатель!

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.

В.Г. Селиханович
В.П. Козлов
Г.П. Логинова

Практикум по геодезии



Альянс

УДК 528.1/5 (075.8)

ББК

С29

Селиханович В.Г., Козлов В.П., Логинова Г.П.

**С29 ПРАКТИКУМ ПО ГЕОДЕЗИИ: Учебное пособие / Под
ред. В.Г. Селиханович. 2-е изд., стереотипное.**

Перепечатка с издания 1978 г. — М.: ООО ИД «Альянс»,
2006. — 382 с.

Практикум рассчитан на студентов геодезических специальностей
геодезических и негеодезических высших учебных заведений.

ISBN 590303405-5



ISBN 5-903034-05-5 ИД Альянс

© Авторский коллектив, 2006
© ООО ИД «Альянс», 2006

Учебное пособие «Практикум по геодезии» составлено в соответствии с утвержденной программой по геодезии для второго курса. Книга будет полезным пособием для студентов институтов, в которых изучается геодезия, а также для студентов топографических техникумов.

При написании учебного пособия авторы ставили своей целью максимально помочь студентам при самостоятельной проработке курса геодезии как в период лабораторных практических занятий, так и в период летних учебных практик.

В книге изложены методы производства работ теми приборами, которые изучаются в курсе геодезии, приведены примеры вычислительной обработки результатов геодезических измерений. Решение всех типовых примеров и задач сопровождается пояснениями. Опыт преподавания геодезии показал, что подобные пояснения являются достаточными для самостоятельного выполнения заданий как по производству работ, так и по обработке результатов измерений.

Работа по составлению Практикума была распределена между авторами — членами кафедры геодезии Московского института геодезии, аэрофотосъемки и картографии (МИИГАиК) так: задания 1—3 главы I, задание 4 главы II и задания 1, 3, 7—11 главы III написаны В. Г. Селиханович и Г. П. Логиповой, задания 1—3 главы II, задания 2, 4—6 главы III и задания 1, 2 главы IV написаны В. П. Козловым.

Большую помощь в работе над пособием оказал заведующий кафедрой геодезии профессор доктор технических наук В. Д. Большаков, за что авторы приносят ему благодарность. Без опыта работы по преподаванию геодезии среди высококвалифицированного состава кафедры геодезии, написание данной книги было бы невозможно. Авторы благодарны всем членам кафедры, которые помогали при работе над рукописью.

БАРОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Барометрическое нивелирование основано на зависимости между высотой и атмосферным давлением. Оно представляет собой один из способов определения разности высот точек земной поверхности путем сравнения величин атмосферного давления в этих точках.

Для определения превышений этим методом измеряются в основном две величины: давление с помощью специальных приборов — барометров, и температура воздуха — с помощью термометров. Влияние влажности воздуха, как правило, при полевых работах не измеряется, а учитывается по данным измерений на государственных метеорологических станциях.

Преимущество барометрического нивелирования состоит в том, что при производстве работ не требуется взаимной видимости между пунктами.

Недостатком барометрического нивелирования является его невысокая точность. Так, высоты точек определяются с точностью порядка 0,5 м в равнинных и 1 ÷ 2,5 м в предгорных и горных районах. Однако результаты некоторых исследований, проведенных как в СССР, так и за рубежом, подтверждают возможность определения превышений с точностью 0,25 м.

В СССР барометрическое нивелирование применяется:

для высотного обоснования аэрофотографических съемок при создании карт масштаба 1 : 25 000 в труднодоступных районах;
при геофизических (гравиметрических и сейсмических) методах разведки полезных ископаемых;

при выполнении работ по изысканию;

при геологических, географических и геоморфологических исследованиях и других работах, требующих определения высот точек местности в короткие сроки и с точностью, обеспечиваемой этим методом.

ЗАДАНИЕ I.1.

УСТРОЙСТВО БАРОМЕТРОВ И ТЕРМОМЕТРОВ

I. Задача: ознакомиться с устройством барометров и термометров, применяемых при барометрическом нивелировании.

II. Литература: Прихода А. Г. Барометрическое нивелирование. М., «Недра», 1972, § 9—16.

III. Приборы и принадлежности: ртутный барометр, барометр-апероид; микробарометр (МБНП, МБ-63, ОМБ-1, ОМБ-3П); термометр-пращ, аспирационный психрометр, тетрадь, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) ознакомление с устройством ртутных барометров;
- 2) ознакомление с устройством барометра-анероида;
- 3) ознакомление с устройством микробарометров;
- 4) ознакомление с устройством термометров.

Ознакомление следует сопровождать зарисовкой в тетради схематических чертежей приборов, рекомендуемых преподавателем, с указанием основных их частей, а также отсчетных устройств, соответствующих моменту отсчета. Ниже приводятся необходимые пояснения.

Атмосферное давление с давних времен было принято выражать в миллиметрах высоты ртутного столба (мм рт. ст.) при условии, что ртуть имеет температуру 0° , а плотность ртути равна ее значению для случая нормальной силы тяжести.

В настоящее время в физике, в системе СИ основной единицей давления является ньютон на квадратный метр (Н/м^2), однако одновременно допускается применение десятичной кратной единицы — 1 бар

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Н/м}^2.$$

В метрологии за основную единицу давления принят миллибар (мб) — тысячная доля бара; одновременно употребляется и старая единица давления мм рт. ст.

Соотношения между единицами измерения давления следующие:

$$1 \text{ мб} = 1 \cdot 10^2 \text{ Н/м}^2;$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 1,333224 \text{ мб} \approx \frac{4}{3} \text{ мб};$$

$$1 \text{ мб} = 0,750062 \text{ мм рт. ст.} \approx \frac{3}{4} \text{ мм рт. ст.};$$

$$760 \text{ мм рт. ст.} = 1013,25 \text{ мб}.$$

Барометры, применяемые в геодезии, имеют градуировку шкал и в миллибарах и в миллиметрах ртутного столба.

Приборы для измерения атмосферного давления

Существующие в настоящее время барометры в зависимости от принципа их работы можно разделить на четыре группы: жидкостные (ртутные), барометры с механическим приемником давления (анеронды, микробарометры), газовые и термобарометры (гипсотермометры). Последние два вида барометров в настоящее время при барометрическом нивелировании не применяются.

Ртутные (жидкостные) барометры. Действие ртутных барометров основано на законах гидростатики: атмосферное давление

измеряется высотой столба ртути, его уравнивающей. Ртутные барометры (принципиальная схема устройства показана на рис. 1) по конструкции делятся на три вида: чашечные (рис. 1, а), сифонные (рис. 1, б) и сифонно-чашечные (рис. 1, в). Чашечные и сифонно-чашечные барометры непосредственно на полевых работах не применяются, а используются для наблюдений на постоянных или временных барометрических станциях, а также в полевых партиях для определения поправок к отсчетам по anerоидам и микробарометрам.

Чашечный ртутный барометр. Барометр состоит из пластмассовой или чугунной чашки 1 (рис. 2), в которую опущена стеклянная калиброванная трубка 7 с запаянным верхним концом. Чашка и трубка наполнены дистиллированной ртутью. Перед заполнением ртутью из трубки удаляют воздух. Чашка барометра состоит из трех свинчивающихся между собой частей: средняя часть представляет собой диафрагму с отверстиями, способствующую затуханию колебаний ртути в чашке. Атмосферное давление передается в чашку через резьбу ввинта 2, уравнивая столб ртути в трубке барометра.

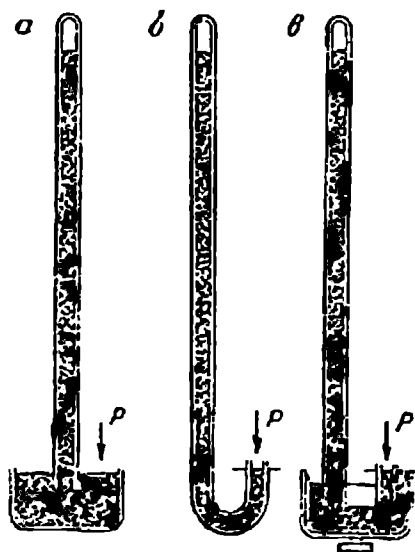


Рис. 1. Принципиальная схема ртутных барометров:
а — чашечный; б — сифонный;
в — сифонно-чашечный

Стеклопаяная барометрическая трубка помещена в металлическую оправу 3. В верхней части оправы имеется прорезь, по краю которой нанесена шкала, градуированная в миллибарах. Для увеличения точности отсчитывания шкала снабжена пониусом (верньером) 8, который перемещается вдоль шкалы вращением головки кремальеры 5. Для предохранения шкалы от загрязнения верхняя часть оправы закрыта стеклянной трубкой 6.

При изменении атмосферного давления происходит изменение уровня ртути не только в трубке, но и в чашке, причем в последней изменение происходит в направлении, противоположном изменению уровня в барометрической трубке. Для учета изменения уровня ртути в чашке использована комбинированная

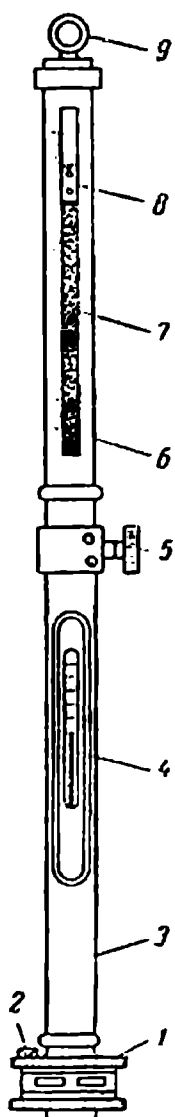


Рис. 2. Чашечный ртутный барометр

шкала. Компенсация шкалы заключается в том, что деления шкалы равны 0,980 мм вместо 1,000 мм у барометров с миллибаровой шкалой, т. е. на 2% меньше нормальных делений, так как площадь поперечного сечения столба ртути в трубке равна 2% от площади поперечного сечения столба ртути в чашке. В среднюю часть оправы вмонтирован термометр 4. Барометр подвешивается за кольцо 9.

Наблюдения по чашечному барометру выполняют в такой последовательности:

а) отсчитывают температуру по термометру с округлением до $0,1^{\circ}$;

б) наводят кремальерой пластинку верньера на верхнюю часть мениска ртути и с округлением до 0,05 деления шкалы производят отсчет.

Рекомендуется перед взятием отсчета ослабить винт 2 на 1—2 полуоборота и постучать пальцем по защитной трубке барометра, чтобы мениск ртути принял нормальную форму.

В СССР изготавливаются чашечные барометры марок СР-А и СР-Б с диапазоном измерения давления от 810 до 1070 мб и от 680 до 1070 мб. Средняя квадратическая погрешность определения давления атмосферы барометрами составляет 0,13 мб.

Сифонно-чашечный ртутный барометр. К этому виду относятся инспекторский и контрольный ртутные барометры.

1. В инспекторском ртутном барометре две стеклянные трубки 3 и 11 (рис. 3) укреплены в верхней части чашки 2. Правая трубка 11 заполнена дистиллированной ртутью и сверху запаяна; левая короткая трубка 3 в верхней части имеет кран 6 для доступа воздуха. Кран открывается и закрывается с помощью специального ключа или винта (последняя модель прибора). Внутри металлической чашки помещен эластичный мешочек из лайки, в дно которого упирается диск подъемного винта 1. При вращении винта диск нажимает на дно мешочка и поднимает ртуть в обеих трубках. Стеклянные трубки по-

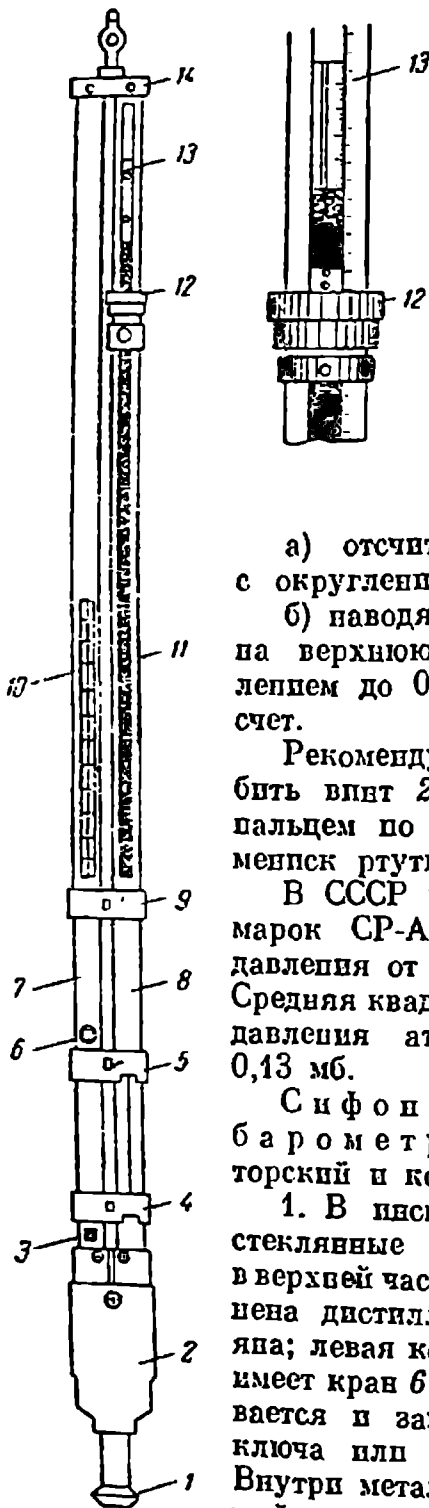


Рис. 3. Инспекторский ртутный барометр

мещены в латунную оправу, состоящую также из двух трубок 7 и 8; последние соединены между собой хомутками 4, 5, 9 и головкой барометра 14. Нижний срез хомутка 4 служит нулевым индексом барометра. Вдоль прорези оправы трубка 8 передвигается муфта с верньером (ноплисом) 13 и приводящим кольцом 12. В оправе трубки 7 укреплен ртутный термометр 10.

Наблюдения по инспекторскому барометру выполняют в такой последовательности:

а) отсчитывают по термометру с округлением до $0,1^{\circ}$ температуру прибора;

б) плавным движением подъемного винта подводят ртуть в короткой трубке так, чтобы мениск коснулся нижнего среза индекса (винтом работают только на вынычивание, чтобы влияние капиллярных сил при каждом отсчете по возможности сделать одинаковым);

в) микрометричным кольцом подводят нижний срез верньера к вершине мениска ртути в правой трубке;

г) проверяют правильность поведения в левой трубке;

д) производят отсчет;

е) опускают подъемным винтом ртуть в короткой трубке.

В СССР изготавливают инспекторские барометры марки ИР с пределами измерения давления от 570 до 1070 мб. Средняя квадратическая погрешность определения давления барометром равна 0,08 мб.

2. Контрольный ртутный барометр в принципе имеет такое же устройство, как и инспекторский; имеются только некоторые конструктивные различия. Диаметры трубок у контрольного барометра несколько больше, чем у инспекторского, что позволяет уменьшить погрешности при отсчете, вызываемые капиллярной депрессией*.

Отечественной промышленностью выпускаются контрольные ртутные барометры КР с диапазоном измерения давления от 880 до 1070 мб и со средней квадратической погрешностью определения давления атмосферы 0,06 мб.

Барометры с механическим приемником давления. К этой группе относятся пружинные барометры, основанные на упругих свойствах различных пружин, вошедшие в практику под названием барометров-анероидов. В последнее время из этих приборов выделилась самостоятельная группа, названная микробарометрами.

Барометр-анероид. Приемником атмосферного давления в барометре-анероиде** старой конструкции служила упругая мембрана металлической вакуумной коробки, а широкая пластинчатая пружина препятствовала сближению коробки

* Капиллярная депрессия — снижение ртутного столба в барометре под действием молекулярного давления.

** Анероид в переводе с греческого — «безжидкостный».

под влиянием атмосферного давления. Небольшие колебания поверхности вакуумной коробки под воздействием изменения давления путем системы передач преобразовывались в угловое перемещение стрелки, движущейся по шкале барометра.

В выпускаемом в СССР в настоящее время беспружинном барометре-анероиде БАММ приемником давления служит анероидный блок 1 (рис. 4), состоящий из трех последовательно соединенных

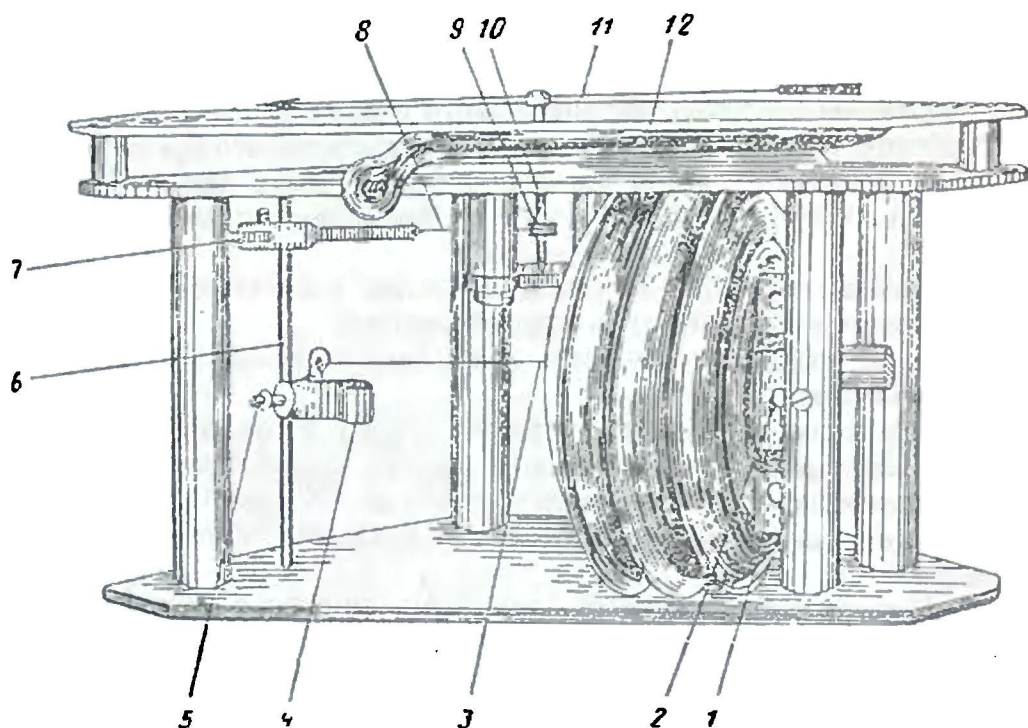


Рис. 4. Барометр-анероид БАММ (внутренний вид)

мембранных коробок и укрепленный на неподвижной плите 2. Под действием атмосферного давления левая и правая плоскости анероидных коробок деформируются до тех пор, пока между внешним давлением и упругими силами мембран и газа, заключенного в коробке, не устанавливается равновесие. Анероидный блок системой передач: стержнем 3, рычагом регулятора 4, укрепленного на оси 6, рычагом 7, цепочкой Галля 8, роликом 9, связан со стрелкой 11, движущейся по шкале. Стрелка 11 плотно сидит на оси 10, с которой неподвижно соединен ролик 9. К шкале прибора с его внутренней стороны крепится ртутный термометр 12. Винт 5 служит для изменения длины рычага-регулятора, которое ведет к изменению чувствительности прибора.

Пределы измерения атмосферного давления барометром-анероидом БАММ от 600 до 800 мм рт. ст.

Барометры-анероиды МД-49-2 и МД-49-А являются модификацией барометра БАММ. В барометре-анероиде МД-49-2 приемник давления состоит из четырех последовательно соединенных мем-

браних коробок, а в барометре-анероиде МД-49-А — из двух мембранных коробок. Диапазон измерения давления у барометра МД-49-2 от 600 до 790 мм рт. ст. Барометр-анероид МД-49-А предназначен для высокогорных районов; его диапазон измерения давления от 300 до 820 мм рт. ст.

Наблюдения по барометру-анероиду (любой конструкции) выполняются в такой последовательности:

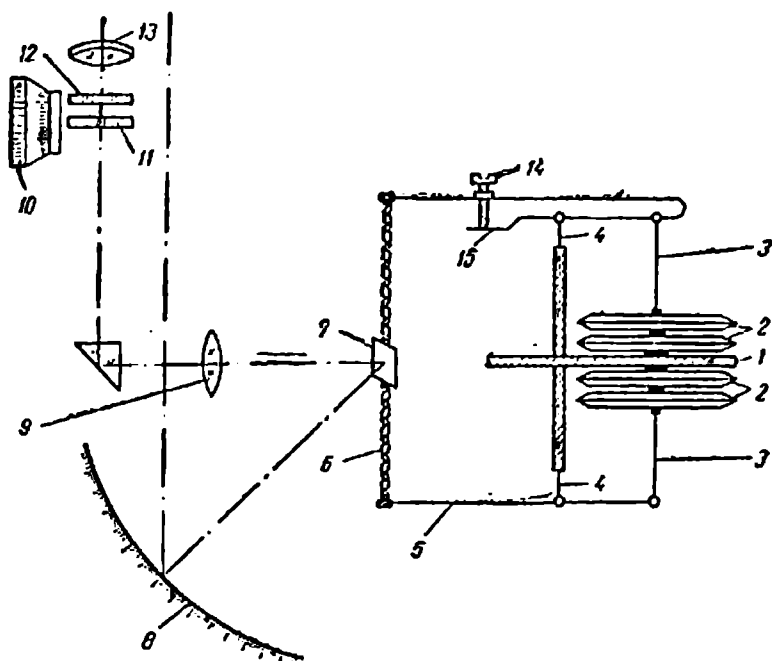


Рис. 5. Принципиальная схема микробаровивелира МБНП

а) отсчитывают температуру прибора с округлением до $0,1^{\circ}$ (у барометры-анероиды МД-49-2 и МД-49-А предварительно необходимо вмонтировать термометры);

б) производят отсчет по шкале прибора с округлением до $0,1$ мм рт. ст. (предварительно постучав пальцем по стеклу барометра для преодоления сил трения в передающем механизме).

Средняя квадратическая погрешность определения давления барометром-анероидом БАММ равна $0,2-0,3$ мм рт. ст., барометром-анероидом МД-49-2 — $0,15-0,20$ мм рт. ст.

Микробарометры. К этой группе барометров относятся микробаровивелир пружинный МБНП и оптические микробарометры: МБ-63, ОМБ-1 и ОМБ-3П.

Микробаровивелир пружинный МБНП (рис. 5 и 6). В микробаровивелире МБНП (на рис. 5 и 6 общая нумерация позиций) приемником давления являются два двухкоробочных анероидных блока 2, укрепленных на общем основании 1 и через рычаги 3, 4, 5 связанных с двойной цилиндрической ленточной пружинной 6. В центре двойной цилиндрической ленточной пружины укреплено зеркало 7.

При изменении давления происходит изменение высоты анодных блоков, передающееся посредством рычагов на двойную цилиндрическую пружину, вызывая ее растяжение или сжатие; зеркало 7 вследствие этого поворачивается вокруг вертикальной осп. Угловое перемещение зеркала фиксируется с помощью оптического устройства, состоящего из шкалы 8, дуговой призмы 16, объектива 9 и окулярного микрометра. Окулярный микрометр включает в себя паводящий винт 10 с рукояткой, разделенной на 100 деле-

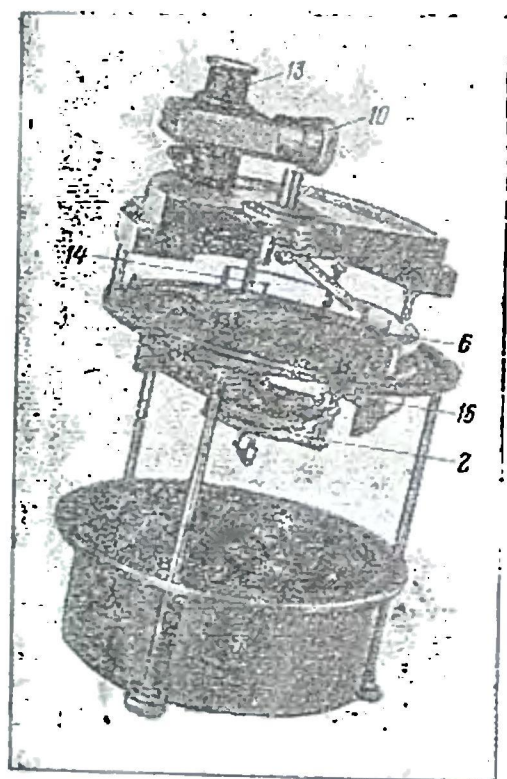


Рис. 6. Внутренний вид микробарометра МБН

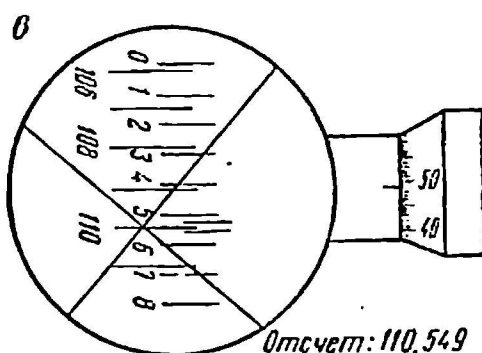
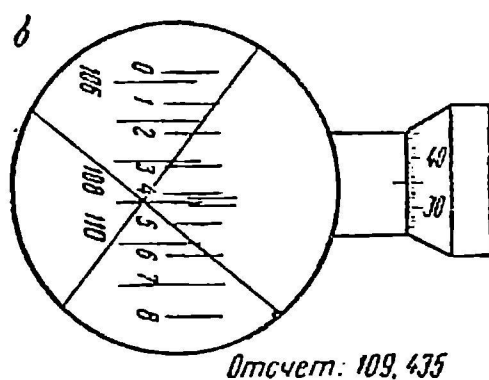
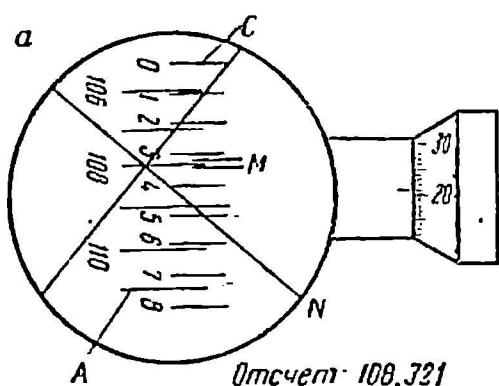


Рис. 7. Поле зрения окуляра микробарометра МБН

пей, пластинку с биссектором и сеткой нитей 11, шкалу окуляра 12, имеющую 8 делений, и окуляр 13.

Для изменения диапазона измеряемого прибором давления служит U-образная плоская пружина 15 и винт 14. Вращением последнего изменяется длина двойной цилиндрической ленточной пружины, что позволяет установить зеркало 7 в заданное положение.

Применение двойной цилиндрической пружины в качестве передаточного механизма позволило добиться большой угловой чувствительности рабочей системы. Перемещение подвижных концов асферидных блоков на 1 мк, соответствующее изменению давления примерно на 0,1 мм рт. ст., вызывает поворот зеркала на 5'.

Поле зрения окуляра микробарометра представлено на рис. 7. В поле зрения видны часть отраженной шкалы прибора *A*, шкала окулярного микрометра *C*, биссектор *M* и перекрестки нитей *N*. Основная шкала прибора имеет 150 делений; шкала окулярного микрометра — 8 делений. Отсчеты производятся относительно 3, 4 и 5 штрихов шкалы окулярного микрометра. Для этого головкой наводящего винта *K* сетку нитей *N* или биссектор *M* наводят поочередно на штрихи основной шкалы прибора, которые располагаются правее 3, 4 и 5 штрихов неподвижной шкалы окулярного микрометра. Отсчет делают в следующем порядке: (рис. 7, *a*) записывают номер штриха подвижной шкалы прибора (108), далее, номер штриха неподвижной шкалы окулярного микрометра (3) и отсчет по головке наводящего винта (21). Полный отсчет оказывается равным 108,321. Отсчеты на рис. 7, *б* и 7, *в* соответственно будут 109,435 и 110,549. Полученные отсчеты приводят к штриху 4 по формуле

$$n = A + \frac{4,00 - a}{K_B}, \quad (1.1)$$

где *A*, *a* — соответственно номера штрихов, отсчитываемых по шкалам: прибора, окулярного микрометра и барабана;

K_B — коэффициент перевода делений шкалы окулярного микрометра в деления шкалы прибора.

Коэффициент *K_B* появляется в формуле (1.1) потому, что расстояние между штрихами шкалы окулярного микрометра (равное 100 делениям барабана) вследствие недостаточно точной юстировки прибора не соответствует расстоянию между штрихами основной шкалы. Величина *K_B* определяется заранее из лабораторных исследований. Из трех приведенных к штриху 4 отсчетов берут среднее.

Приведенные по формуле (1.1) к штриху 4 отсчеты, изображенные на рис. 7, *a*, *б*, *в* соответственно будут

$$1\text{-й отсчет: } 108 + \frac{4,00 - 3,21}{1,15} = 108 + \frac{0,79}{1,15} = 108,69;$$

$$2\text{-й отсчет: } 100 + \frac{4,00 - 4,35}{1,15} = 109 - \frac{0,35}{1,15} = 108,70;$$

$$3\text{-й отсчет: } 110 + \frac{4,00 - 5,49}{1,15} = 110 - \frac{1,49}{1,15} = 108,70.$$

Величина *K_B* = 1,15.

Расхождение между приведенными отсчетами должно быть не более 0,10 делений шкалы (0,05 мм рт. ст.).

Окончательный отсчет будет 108,70.

На кафедре геодезии МИИГАиК в микробаронивелирах МБНП, для упрощения системы отсчитывания, основная шкала

прибора заменена шкалой, коэффициент K_B которой равен единице. Отсчет по такой шкале производится один; биссектор наводится на штрих основной шкалы, расположенной правее 4 штриха шкалы окулярного микрометра.

Для измерения температуры прибора в верхнюю крышку микробаронивелира вмонтирован термометр.

Наблюдения по прибору производятся в такой последовательности:

а) отсчитывают температуру прибора с округлением до $0,1^\circ$;

б) производят отсчеты (или отсчет) по шкалам с округлением до 1 деления барабана микрометра.

Средняя квадратическая погрешность определения разности давлений баронивелиром МБНП без учета погрешностей за неравновесие атмосферы равна 0,03 мб.

Микробарометр МБ-63. Микробарометр представляет собой модернизированный вариант микробаронивелира МБНП, в котором перемещение аэродинамических блоков передается непосредственно на двойную цилиндрическую пружину (рис. 8).

Шкала прибора имеет 130 делений. Отсчет по шкале прибора берется один, только по 4 штриху, так как коэффициент K_B равен 1. Поле зрения окуляра микробарометра изображено на рис. 9. Отсчет равен 48,18.

Температура прибора измеряется электротермометром. Освещение шкалы микробарометра осуществляется с помощью нескольких поочередно включаемых лампочек.

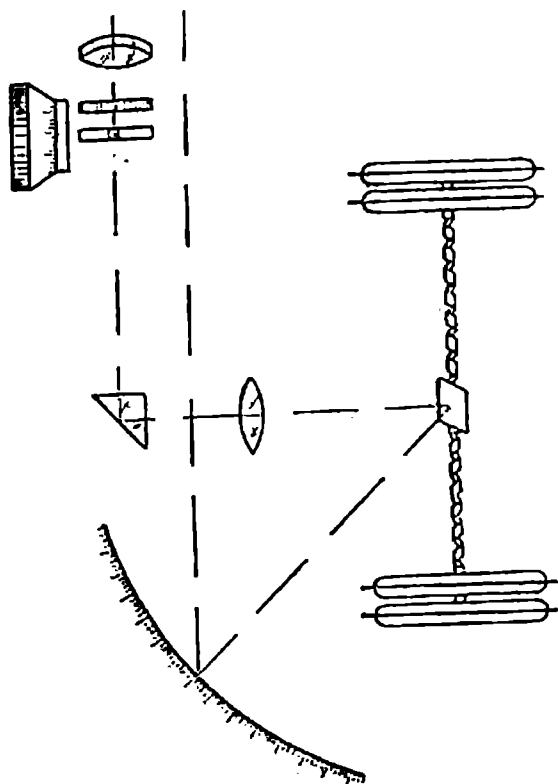


Рис. 8. Принципиальная схема микробарометра МБ-63

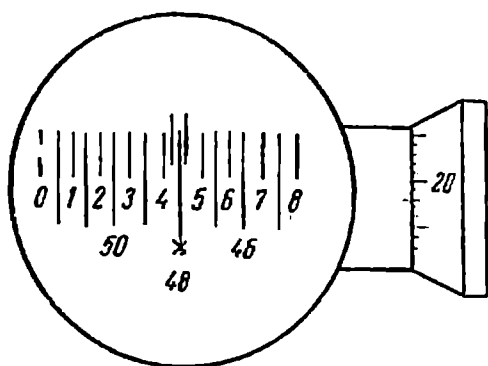


Рис. 9. Поле зрения окуляра микробарометра МБ-63

На рис. 10 представлен внешний вид микробарометра. На верхней панели 2 прибора расположены наводящий винт 1, окуляр 3, гнездо разъема для подключения источника питания с пробкой 4, электротермометр 5, регулирующий винт установки шкалы термометра 6, штупцер 7, переключатель источника питания 8, кнопочный микровыключатель 9.

Средняя квадратическая погрешность определения разности давлений прибором 0,04 мб.

Оптический микробарометр ОМБ-1. На рис. 11 изображена схема устройства оптического микробарометра ОМБ-1.

На нижнем основании барометра 1 неподвижно закреплен одним концом приемник давления — трехкоробочный анероидный блок 2. На верхней плите основания укреплены два зеркала: неподвижное 4 и качающееся 5. При изменении давления изменится высота анероидного блока и свободный конец его 3 вызовет поворот зеркала 5 вокруг горизонтальной оси на некоторый угол относительно неподвижного зеркала 4. Этот угол, определяющий изменение давления, измеряется с помощью специального оптического устройства, состоящего из двойной автоколлимационной системы, оптического микрометра и отсчетного микроскопа.

Свет от источника 10 через светофильтр 11, конденсатор 12 и стеклянную пластину 13, имеющую два параллельных штриха, длинный, проходящий через всю пластину, и короткий, идущий до половины пластины (рис. 12, а), попадает на плоскость полупрозрачного зеркала 9 (см. рис. 11).

Часть светового потока проходит через зеркало 9 в отсчетное устройство, другая часть, отразившись, выходит из объектива 8 и попадает в призматический блок 7, откуда, благодаря наличию светоделительного слоя, часть света пойдет к неподвижному зеркалу 4, а часть к качающемуся зеркалу 5. Отразившись от зеркал, световые лучи идут в обратном направлении тем же путем

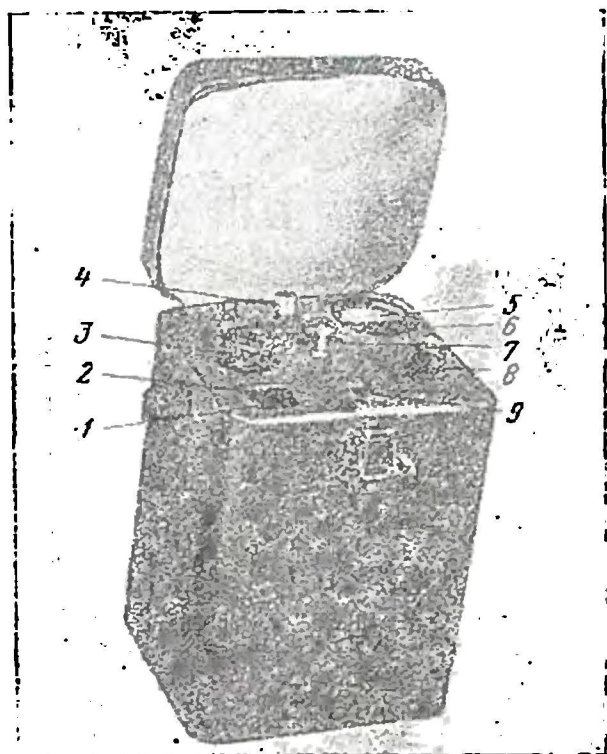


Рис. 10. Микробарометр МБ-63 (внешний вид)

до зеркала 9 и далее через прямоугольную диафрагму 15, расположенную в плоскости изображения, к окуляру 14.

Юстировкой оптических клиньев 6 и качающегося зеркала 5 добиваются такого положения, при котором внутри диафрагмы поля зрения наблюдается отражение биссектора от неподвижного зеркала и отражение штриха от качающегося зеркала. Таким образом, в фокальной плоскости получается изображение и двойного штриха и одинарного.

При изменении атмосферного давления наблюдается смещение изображения одинарного штриха вследствие изменения угла

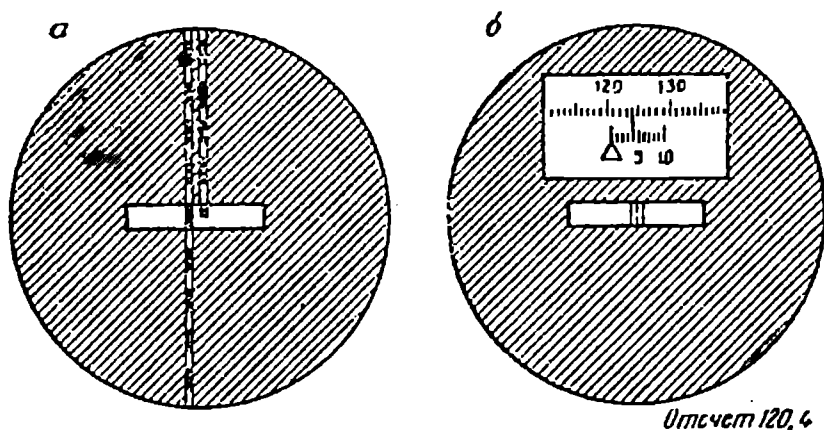


Рис. 12. Окуляр оптического микробарометра ОМБ-1:

а — общий вид, б — поле зрения

наклона качающегося зеркала относительно неподвижного. Для измерения этого смещения служит компенсационная линза 21, которая перемещается специальным механическим устройством 16 до тех пор, пока подвижный штрих не окажется в середине биссектора. Компенсационная линза 21 жестко связана со шкалой 23, и верньером (нониусом) 22. С помощью объектива 20 и призм 18 и 17 шкала и верньер проектируются в верхнюю часть поля зрения окуляра 14. Шкалы освещаются частью светового потока от источника света 10 через зеркала 19 и 24.

Шкала прибора имеет 400 делений, каждое десятое из которых оцифровано (рис. 12, б). Шкала верньера имеет 10 делений. Деления шкалы и верньера представлены в поле зрения в виде светлых линий на черном фоне. Совпадающие штрихи верньера и шкалы сливаются в одну сплошную светящуюся линию. На рис. 12, б изображено положение шкалы и верньера, соответствующее отсчету 120,4 деления. Для изменения диапазона работы прибора служит оптический клин 25 (см. рис. 11).

Прибор заключен в герметизированный стакан, сообщающийся с атмосферой через резиновую трубку и штуцер, расположенный на верхней крышке прибора. Такая конструкция позволяет определять цену деления прибора без специальной барокамеры.

На верхней панели прибора имеется термометр.

Наблюдения по прибору производят в следующем порядке:

а) отсчитывают температуру прибора с округлением до $0,1^{\circ}$;

б) включив освещение, вводят винтом наводки подвижной штрих в середину биссектора и производят отсчет с округлением до $0,1$ деления шкалы.

Средняя квадратическая погрешность определения разности давлений по прибору без учета ошибок за неравновесие атмосферы выражается величиной $0,03$ мб.

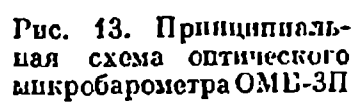
О п т и ч е с к и й м и к р о б а р о м е т р ОМБ-ЗП. На рис. 13 изображена схема устройства оптического микробарометра ОМБ-ЗП.

На приборе основан барометр помещен двухкоробочный анероидный блок 1, являющийся приемником давления. К нему крепится цилиндрическая пружина 2, в середине которой укреплено зеркало 6. Вторым концом цилиндрическая пружина соединена с рамой прибора через наводящее устройство переключателя диапазона 11. Изменение давления вызывает деформацию анероидного блока, а следовательно, растяжение или сжатие пружины 2, которое приводит к повороту зеркала 6 вокруг вертикальной осп. При этом в поле зрения окуляра 12 последовательно проектируются новые деления измерительной круговой шкалы 7, имеющей 20 делений. Шкала освещается светом от источника 10. Нить осветительной лампы 10 с помощью сложного конденсатора 8 и призмного блока 5 проектируется в плоскость зеркала 6. Изображение шкалы 7 передается в поле зрения окуляра с помощью призмного блока 5, зеркала 6, объектива 4, системы призм 3 и зеркала 9. В поле зрения окуляра видна также неподвижная отсчетная шкала 14, имеющая 100 делений. Отсчет по шкале прибора складывается из номера штриха измерительной шкалы (на рис. 13 штрих 12) и отсчета по окулярной шкале относительно этого штриха (на рис. 13 отсчет 45,7). Полный отсчет, соответствующий положению штрихов обеих шкал, изображенных на рис. 13, будет 1245,7 делений.

Для устранения вредного влияния напорного действия ветра сообщение приемника давления с атмосферой осуществляется через спиральную многооборотную трубку 13. Для исключения влияния механических вибраций один конец двойной цилиндрической пружины помещен в цилиндрический сосуд 15, наполненный специальной жидкостью.

Приемник давления и отсчетно-измерительное устройство заключены в герметический сосуд, сообщающийся с атмосферой через штуцер. Весь прибор помещен в сосуд Дьюара, что позволило улучшить режим его работы.

Термометры, расположенные внутри прибора, подсвечиваются источником света 10 и рассматриваются через линзу, расположенную на верхней панели прибора.



Наблюдения по прибору производятся в следующем порядке:
а) включив освещение, отсчитывают температуру прибора с округлением до $0,1^{\circ}$;

б) производят отсчет по шкале с округлением до 0,1 деления.

Средняя квадратическая погрешность определения разности давлений по прибору без учета погрешностей за пераивовесие атмосферы выражается величиной 0,02 мб.

Для непрерывного фиксирования величины давления на одной точке употребляются приборы-самописцы — барографы. В последние годы в СССР разработаны оптические микробарографы высокой точности, которые позволяют регистрировать изменение давления с точностью порядка 0,06—0,04 мб (струнный барограф СМБ, МБ-67 (ВНИИ Геофизика) и др.

Приборы для измерения температуры и влажности воздуха

Основными приборами, применяемыми в настоящее время для измерения температуры воздуха при производстве барометрического пивелирования, являются: термометр-пращ, аспирационный психрометр (служит одновременно и для определения влажности воздуха) и термометры сопротивления различных конструкций.

Термометр-пращ. Общий вид термометра-праща представлен на рис. 14. Цена деления шкалы термометра-праща ТМ-8 составляет 0,5 или 1°C , а диапазон измерения от $+50$ до -36° . При измерении температуры привязанный на шнур термометр вращают несколько раз в воздухе, после чего производят отсчет.

Аспирационный психрометр. Устройство прибора показано на рис. 15. Два термометра 3 прикрепляются к корпусу прибора 4, представляющего собой полую трубку. В трубках для термометров 1 и 7 вставлены резервуары термометров. Верхний конец трубки 2 соединен с аспиратором 5, который засасывает наружный воздух и пропускает его через трубки 1 и 7.

Механизм аспиратора заводится ключом 6. От прямой солнечной радиации термометры защищены двойными стенками трубок 1 и 7 и хорошей полировкой поверхности прибора.

Для определения влажности воздуха до начала наблюдений один из термометров обвязывают кусочком материи (батистом) и смачивают дистиллированной водой (за 4—5 мин до момента наблюдения). Значение влажности вычисляют по показаниям сухого и смоченного термометров, пользуясь специальными таблицами.

При работе в равнинных районах психрометр обычно используется только для измерения температуры. В горных районах в случае необходимости им измеряют влажность воздуха.

Аспирационный психрометр позволяет измерять температуру воздуха со средней квадратической погрешностью $0,25^{\circ}\text{C}$, а влажность воздуха (давление водяных паров) — с погрешностью 1 мб.

Термометры сопротивления. Термометры сопротивления позволяют производить дистанционное измерение температуры воздуха. В основу этих приборов положена зависимость изменения сопротивления проводников от изменения их температуры.

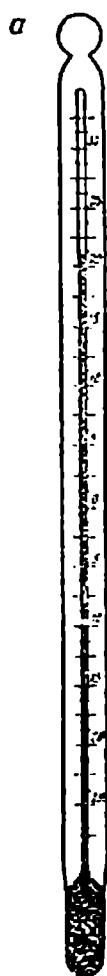


Рис. 14. Термометр-пращ

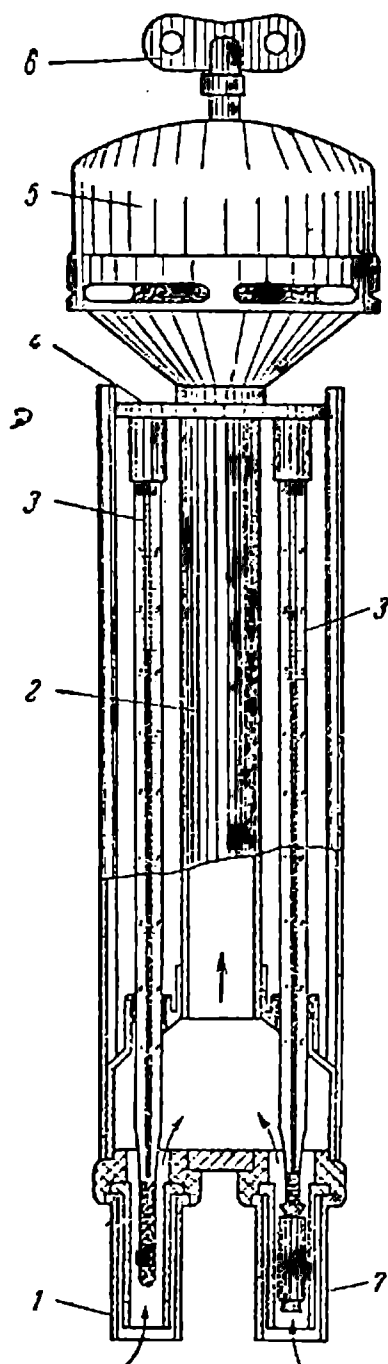


Рис. 15. Аспирационный психрометр

В настоящее время разработана конструкция дистанционного электротермометра ДЭТ-Г, позволяющего проводить измерение температуры воздуха на удалении от поверхности земли до 15 м

с точностью до $0,2-0,4^{\circ}\text{C}$. Термометр помещается в специальном блоке, предохраняющем прибор от прямого действия солнечных лучей; блок прикрепляется к специальной мачте или дереву и соединяется проводом с пультом управления. Питание прибора осуществляется от батарей.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Изучает барометры и термометры каждый студент.

ЗАДАНИЕ 1.2

ПРОИЗВОДСТВО БАРОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

I. Задача: проложить замкнутые барометрические ходы с опорой на временную барометрическую станцию (ВБС).

II. Литература: Прихода А. Г. Барометрическое нивелирование. М., «Недра», 1972, § 19, 30.

III. Приборы и принадлежности: барометры — 2; термометры — 2; часы — двое; аэрофотоснимок местности; журналы барометрического нивелирования, ручки.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) составление проекта ходов;
- 2) организация временной барометрической станции (ВБС);
- 3) производство наблюдений на временной барометрической станции;
- 4) производство наблюдений на точках хода (в рейсе).

Для производства барометрического нивелирования более широко применяются:

- 1) способ замкнутых полигонов с опорой на временную барометрическую станцию;
- 2) способ передвижной барометрической станции;
- 3) способ нивелирования с опорой на несколько барометрических станций (способ срочных отсчетов).

Из перечисленных способов рассмотрим только первый.

Способ замкнутых полигонов с опорой на временную барометрическую станцию (ВБС) позволяет успешно вести борьбу с источниками погрешностей, вызываемыми изменением давления с течением времени. Нивелирование выполняется от ВБС путем проложения одним или несколькими исполнителями замкнутых ходов, включающих определяемые точки.

1. Составление проекта работ. Перед началом полевых работ по барометрическому нивелированию составляется проект маршрутов ходов. На аэрофотоснимках намечаются ВБС и определяемые точки, а также отмечаются пути подхода к ним. С аэрофотоснимков запроектированные точки переносятся на фотосхему, фотоплан или карту, а затем на восковку, на которой составляется детальный проект работ. Копия маршрутов остается на базе партии или барометрической станции.

Число проектируемых точек зависит как от того, для каких целей производится нивелирование, так и от сложности рельефа местности.

Для ВБС при проектировании выбирают точку, высота которой известна. Для обеспечения большей надежности результатов нивелирования рекомендуется производить привязку запроктированных ходов не менее чем к двум твердым точкам.

Расстояния между ВБС и точками хода проектируются в зависимости от необходимой точности определения высот, а также средних значений горизонтального барического градиента, возможных в данное время на данной территории.

Для определения допустимых удалений точек хода от временной барометрической станции можно воспользоваться данными табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Средняя квадратическая погрешность определения высот точек, м	Допустимое удаление средних точек нисходящего хода от ВБС, км	
	Зима	Лето
До 0,5—0,6	2,5	3,5
» 1,0—1,2	6,0	10,0
» 2,0—3,0	12,0	16,0
» 4,0—6,0	18,0	25,0

При этом удаление средних точек хода подсчитывается как среднее из удалений от ВБС всех точек данного хода.

Влияние погрешностей, обусловленных наличием горизонтального барического градиента, можно ослабить, если барометрические ходы или полигоны прокладывать между точками с высотами, полученными из геодезического или геометрического нивелирования. При проектировании таких ходов необходимо стремиться, чтобы они были по возможности вытянутыми, а разность высот исходных точек минимальной. При соблюдении этих условий допуски, приведенные в табл. 1, можно увеличить в два раза, если общая по времени продолжительность проложения хода (рейса) будет не более 4 ч. ВБС в таком ходе может располагаться на любой точке хода или вблизи него.

В условиях учебной практики ход барометрического нивелирования намечается руководителем бригады на аэрофотоснимке или фотоплане.

2. Организация временной барометрической станции. ВБС организуется для регистрации изменения с течением времени давления и температуры окружающего воздуха в период проложения хода. ВБС, высота которой должна быть известна, располагается на средней высоте, характерной для местности, подлежащей

пневматизации. Не рекомендуется располагать станцию непосредственно около больших водоемов, если определяемые точки находятся вдали от них, и на остроконечных открытых вершинах. На последних возможны искажения показаний барометров под влиянием напорного действия ветра.

3. Производство наблюдений на временной барометрической станции. Работа, выполняемая на ВБС, состоит из следующих операций:

1) одновременные наблюдения давления и температуры по станционным и полевым приборам (сравнение приборов) до начала проложения хода;

Таблица 2

Средняя квадратическая погрешность определения высот точек, м	Интервалы между отсчетами по барометрам и термометрам на барометрических станциях, мин
До 0,5	10
» 1,0	15
» 2,5	30
» 5,0	60

2) наблюдения давления и температуры воздуха через определенные промежутки времени;

3) одновременные наблюдения давления и температуры по станционным полевым приборам (сравнение приборов) после проложения хода.

Сравнение приборов производится для приведения показаний всех используемых барометров в единую систему. На

основании результатов этих сравнений вводят поправки за несоответствие начальных отсчетов и смещение нуля шкал приборов.

После сравнения приборов два исполнителя (наблюдатель и вычислитель) остаются на временной барометрической станции и производят наблюдения давления и температуры воздуха. Интервалы этих наблюдений устанавливаются в соответствии с требуемой точностью определения высот (табл. 2).

Наблюдения на ВБС выполняют с помощью одного или двух барометров и термометра, фиксируя моменты отсчетов по выверенным часам. Приборы устанавливают на станции около знака на подставках или штативах на одинаковом уровне от земли и закрывают от солнечных лучей зонтом, навесом и т. п. Ртутные барометры устанавливают в специальных барометрических шкафах, а барометры-анеронды и микробарометры в упаковочных ящиках. Высоту установки приборов над землей и над центром знака фиксируют в станционном журнале.

Наблюдения начинают через 10—30 мин после установки приборов, чтобы они восприняли температуру и давление окружающего воздуха. Если транспортировка осуществлялась на автомобиле или вертолете (в производственных условиях), то приборы должны отстояться не менее 30 мин. После этого можно производить отсчеты по:

а) часам;

б) аспирационному термометру или термометру-пращу;

- в) термометрам при барометрах;
- г) барометрам (в последовательности, указанной в задании 1.1).

Наблюдения при сравнении приборов выполняют дважды; через 3—5 мин после первых производят повторные.

Отчеты записывают в станционный журнал барометрического привелирования. Образцы записи и вычислений в журналах для различных барометров рассмотрены в задании 1.3.

По результатам, полученным на станции, целесообразно строить графики изменения давления (рис. 16) и температуры воздуха с течением времени. Графики используют для определения поправок к результатам наблюдений на определяемых точках.

Для станционных наблюдений лучше использовать приборы-самописцы: барографы и термографы, инструментальная точность которых не ниже точности полевых приборов.

4. Производство наблюдений на точках хода. После сравнения приборов на временной барометрической станции часть исполнителей отправляется по точкам хода (в рейс). По прибытии на первую точку устанавливают приборы (или на специальные штативы, или на землю) и через 10 мин после установки производят наблюдения. Порядок наблюдений такой же, как и на ВБС. Результаты наблюдений записывают в полевой журнал. После первой точки переходят (или переезжают) на вторую, третью и т. д. После чего возвращаются на ВБС и производят повторное сравнение приборов.

Изменение разности давления между станционными и рейсовыми приборами от первого до второго сравнения (величина сползания нуля) является контролем качества работы приборов. Для одного и того же прибора величина сползания примерно одинакова и может колебаться (при одном перепаде температур в рейсе) в пределах 0,10 мм (0,08 мм рт. ст.).

При наблюдениях на определяемых точках хода двумя приборами о качестве барометрического привелирования судят по сравнению результатов наблюдений, полученных по двум барометрам. Расхождение в показаниях приборов должно быть таким же, каким оно было при сравнении их на ВБС.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Задание выполняет бригада из четырех

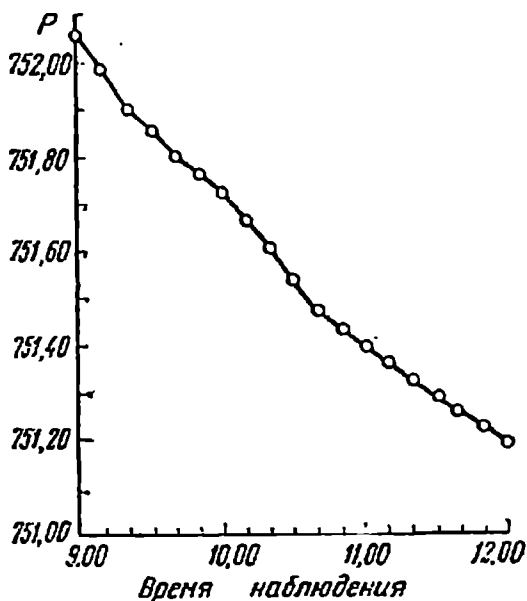


Рис. 16. График изменения давления с течением времени

студентов: два наблюдателя, два вычислителя. Каждый член бригады последовательно выполняет обязанности наблюдателя и вычислителя по плану чередования, составленному руководителем.

ЗАДАНИЕ 1.3

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ БАРОМЕТРИЧЕСКОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ

I. Задача: вычислить отметки точек хода барометрического нивелирования.

II. Литература: Прихода А. Г. Барометрическое нивелирование. М., «Недра», 1972, § 19.

III. Пособия и принадлежности: арифмометр, счеты, логарифмическая линейка, барометрические таблицы, журналы барометрического нивелирования, бланки для вычислений, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) вычисление атмосферного давления;
- 2) вычисление отметок точек хода;
- 3) оценка точности определения высот точек из барометрического нивелирования.

1. Вычисление атмосферного давления. После произведенных наблюдений по барометрам вычисляют атмосферное давление. Его получают по формулам, которые зависят как от принципа устройства барометра, так и его конструкции.

Вычисления атмосферного давления по ртутному барометру

Необходимо в отсчет по прибору P' ввести следующие поправки: за температуру δP_t , за изменение силы тяжести $\delta P_{ст}$ и инструментальную $\delta P_{инстр}$

$$P = P' + \delta P_t + \delta P_{ст} + \delta P_{инстр}. \quad (I.2)$$

Поправка за температуру δP_t в ртутном барометре возникает вследствие расширения ртути и латунной оправы при изменении температуры. Чтобы исключить влияние температуры, показания барометров приводят к 0°C , для чего в отсчет по прибору вводят поправку δP_t , вычисляемую по формуле

$$\delta P_t = -(r_1 - r_2) P' t, \quad (I.3)$$

где r_1 — коэффициент расширения ртути, равный 0,000181;
 r_2 — коэффициент расширения материала, из которого изготовлена шкала (для латуни $r_2 = 0,000018$);
 P' — отсчет по барометру при температуре t° ;
 t — температура прибора.

Поправка за изменение силы тяжести $\delta P_{ст}$ вызывается тем, что плотность ртути зависит от ускорения

силы тяжести. Последнее определяется географической широтой местности и высотой относительно уровня моря.

Поэтому эта поправка разделяется на две:

а) поправку за приведение показания ртутного барометра к нормальной силе тяжести на широте 45° δP_ϕ , равную

$$\delta P_\phi = -\beta \cos 2\phi P', \quad (1.4)$$

где β — коэффициент, равный 0,00265;

ϕ — географическая широта места наблюдения;

б) поправку за приведение показания ртутного барометра к нормальной силе тяжести на уровне моря δP_H , равную

$$\delta P_H = -\frac{2H}{R} P', \quad (1.5)$$

где H — высота места наблюдения над уровнем моря;

R — радиус Земли.

Величины поправок δP_t , δP_ϕ и δP_H обычно выбирают из заранее составленных таблиц по аргументам: температуре прибора, географической широте и высоте места наблюдения над уровнем моря.

Инструментальная поправка $P_{\text{инстр}}$ является следствием влияния некоторых погрешностей изготовления прибора; наличия остаточного воздуха в вакууме над ртутью; некоторых смещений, происходящих в приборе в процессе его эксплуатации. Эту поправку определяют путем сравнения показаний ртутного барометра с учетом температурной поправки и поправки за приведение к нормальной силе тяжести с показаниями барометра-эталопа.

Пример 1. Вычислить атмосферное давление по ртутному барометру в журнале барометрического пиледрова (табл. 3). Исходные данные для вычисления: $\phi = 56^\circ$; $H = 200$ м; $R = 6370$ км.

Решение примера дано в табл. 3. Давление P вычисляют по формуле (1.2). Поправки δP_t , δP_ϕ и δP_H — по формулам (1.3) — (1.5).

Определения атмосферного давления барометром-анероидом

В отсчет по шкале A следует ввести поправки за погрешность шкалы $\Delta P_{\text{шк}}$, за температуру ΔP_t и добавочную ΔP_0 .

Таким образом, атмосферное давление вычисляется по формуле

$$P = A + \Delta P_{\text{шк}} + \Delta P_t + \Delta P_0. \quad (1.6)$$

Появление поправки за погрешность шкалы обуславливается тем, что при изготовлении anerоидов шкалы делают линейными для всего диапазона давлений и одинаковыми для всех приборов данного типа. Однако anerоид неодинаково реагирует на изменение давления в различных участках шкалы. Кроме того, рычажная передаточная система прибора вызывает нелинейность шкалы

Таблица 3

Журнал барометрического шифрования

Дата 29/VII 1975 г.

Приборы для измерений:

Погода: пасмурно, ветер слабый

1. Чашечный ртутный барометр № 985

Наблюдатель А. В. Тихонов

2. Термометр-пращ

Вычислитель Т. В. Степанов

Выписка из аттестата: Инструментальная поправка ртутного барометра № 985 равна $+0.12$ мм

Название и № станции	Время наблю- дения	Температура воздуха, градус	Отсчеты по прибору		Поправки к отсчетам				Р, мм рт. ст.
			темпера- ра, градус	давление Р', мм рт. ст.	$\delta P_{\text{инстр}}$	δP_t	$\delta P_{\text{ф}}$	δP_H	
ВБС Реп 89	8 00	+17.9	+17.9	749.85	+0.12	-2.18	+0.74	-0.05	748.48

в различных ее частях, так как угол между передаточными рычагами меняется. Поправки за погрешность шкалы анероидов определяют для интервалов шкалы через 10 мм рт. ст. и записывают в аттестат прибора (табл. 4).

Таблица 4

Журнал барометрического шифрования

Приборы для наблюдения

Дата 15/VI 1975 г.

1. Барометр анероид БАММ № 1271

Погода: ясно, слабый ветер

2. Термометр-пращ

Наблюдатель О. М. Петренко

Вычислитель И. К. Зотов

№ точки	Дата и время наблюдения	Температура воздуха, градус	Отсчеты по анероиду		Поправки к отсчетам, мм рт. ст.			Р, мм рт. ст.
			темпера- тура t, градус	давление Р, мм рт. ст.	$\Delta P_{\text{шк}}$	ΔP_t	P_c	
5	21/V. 1975 г. 17 ч 00 мин	+23.1	+23.0	752.7	+0.2	+0.7	-1.4	752.2

Поправка за температуру ΔP_t обуславливается тем, что следствием изменения температуры анероида является изменение размеров механических его частей, а также изменение плотности газа в мембранной коробке и определяется по формуле

$$\Delta P_t = b t, \quad (1.7)$$

где b — коэффициент пропорциональности;

t — температура прибора.

Д о б а в о ч н а я п о п р а в к а анероида возникает вследствие неточного учета погрешности шкалы и поправок за температуру из-за остаточных деформаций в механизме прибора и от изменения первоначальной установки деталей анероида в период эксплуатации и главным образом вследствие транспортировки прибора.

Поправка $\Delta P_{\text{шк}}$ и коэффициент b поправки за температуру определяются до начала и после окончания полевого сезона путем сравнения прибора с эталоном в специальных барокамерах. Механизм анероида МД-49-А помещен в герметический стакан, что позволяет эталонировать барометр без барокамеры. Добавочная поправка определяется как разность между давлением, полученным по ртутному барометру, и отсчетом по шкале анероида, предварительно исправленным поправками за температуру и за шкалу. Величина поправки ΔP_0 в течение полевого периода определяется через промежутки в несколько дней и тем чаще, чем эта поправка менее устойчива.

П р и м е р 2. Вычислить атмосферное давление по барометру-анероиду в журнале барометрического нивелирования (см. табл. 5). Выписка из аттестата прибора приведена в табл. 4.

Т а б л и ц а 5

Выписка из аттестата барометра-анероида БАММ № 1271

Дата поверки	Поправки к отсчетам					
	За шкалу $P_{\text{шк}}$, мм рт. ст.				Температурный коэффициент b	Добавочная P_0
	730	740	750	760		
17/V. 1975 г.	+0,2	+0,4	+0,3	0,0	+0,03	-1,4

Величина поправки за шкалу $\Delta P_{\text{шк}}$ для давления, равного 752,7 мм рт. ст., находится путем линейного интерполирования поправок, указанных в табл. 4. Для давления 750 и 760 мм рт. ст. $\Delta P_{\text{шк}}$ соответственно равна +0,3 и 0,0. Чтобы получить поправку $\Delta P_{\text{шк}}$ для давления, равного 752,7 мм рт. ст., сначала составляют пропорцию

$$10 \dots \dots \dots (-0,3),$$

$$2,7 \dots \dots \dots x,$$

откуда $x = -0,08$ мм рт. ст., а затем получают поправку $\Delta P_{\text{шк}} = +0,30 - 0,08 = +0,22 \approx +0,2$ мм рт. ст.

Поправку за температуру ΔP_t вычисляют по формуле (1.7). Давление P получают по формуле (1.6).

Вычисление атмосферного давления по микробаропневматру МБНП и микробарометрам МБ-63, ОМБ-1, ОМБ-3П

Вычисление производят по формуле

$$P_i = P_0 + C_{0,0} n_i + \sigma \frac{n_i^2}{2} + \delta P_i t_i + R (P_{ст} - P'_i) t_i, \quad (1.8)$$

где P_0 — значение абсолютного давления, соответствующее начальному отсчету шкалы микробарометра (величину P_0 получают путем сравнения давления по микробарометру с давлением по ртутному барометру);

$C_{0,0}$ — цена деления шкалы, соответствующая первому от начала шкалы делению при температуре барометра 0°C (цена деления шкалы у приборов не является величиной постоянной);

n_i — отсчет по шкале прибора;

σ — градиент цены деления шкалы — соотношение между изменением цены деления шкалы прибора и изменением отсчета;

δP_i — поправка за температуру микробарометра на 1°C , определенная при некотором давлении $P_{ст}$;

t_i — измеренная температура прибора;

R — термоэластичный коэффициент материала, из которого изготовлены anerоидные блоки ($R = 30 \cdot 10^{-5}$ градуса $^{-1}$);

$P_{ст}$ — давление, при котором определялась поправка за температуру δP_i ;

P'_i — измеренное давление.

Постоянные приборов P_0 , $C_{0,0}$, σ , δP_i определяют лабораторным путем* перед началом работы и вписывают в аттестат прибора.

Примеры на вычисление атмосферного давления по микробарометрам приведены ниже.

Пример 3. Вычислить атмосферное давление на точках хода Реп 5, 1, 2, 3, Реп 100 по наблюдениям, выполненным микробаропневматром МБНП № 560. Результаты наблюдений и постоянные прибора приведены в табл. 6.

В графу 6 вписывают P_0 . В графах 7—9 вычисляют второе, третье и четвертое слагаемые для формулы (1.8). Последнее слагаемое для этой формулы получают в графе 11. Для его вычисления необходимо знать измеренное давление P'_i . Его можно получить или одновременным измерением давления барометром-анероидом или вычислением по формуле

$$P'_i = P_0 + C_{0,0} n_i + \sigma \frac{n_i^2}{2} + \delta P_i t_i. \quad (1.9)$$

* Об этом см. [25, § 13]. Методы определения постоянных прибора могут быть предметом изучения в научном студенческом кружке по геодезии,

Журнал барометрического нивелирования

30 мая 1974 г.

Погода: ясно, слабый ветер

Наблюдатель М. И. Неенина

Вычислитель В. А. Суслова

Приборы для наблюдений

1. Микробарометр МЕНП № 560

2. Термометр-пращ

Выписка из аттестата микробарометра № 560

 $P_0 = 698,23$ мм рт. ст. $C_{0,0} = 0,5004$ мм рт. ст./дел $\sigma = -9,4 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст./дел² $R = 30 \cdot 10^{-5}$ градус⁻¹ $\delta P_I = -0,016$ мм рт. ст./градус $P_{97} = 753,00$ мм рт. ст.

Наименование и № точки	Время наблюдения, ч мин	Температура воздуха, °C	Отсчеты по прибору		P_0	$C_{0,0} n_I$	$\sigma \frac{n_I}{2}$	δP_I	P_I	$R_I (P_{97} - P_I)$	P'_I мм рт. ст.
			температуры, °C	по пилоте n_I							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Реп 5	9 00	21,5	20,5	110,44	698,23	55,23	-0,56	-0,32	752,58	0,00	752,58
1	9 50	23,0	21,5	111,19	698,23	55,01	-0,57	-0,34	752,93	0,00	752,93
2	10 35	25,2	23,0	106,46	698,23	53,24	-0,52	-0,37	750,58	+0,01	750,59
3	11 25	26,7	26,1	106,02	698,23	53,02	-0,51	-0,42	750,32	+0,02	750,34
Ген 100	12 00	27,8	28,0	105,13	698,23	52,58	-0,50	-0,45	749,86	+0,03	749,89

Примечание. Микробарометр устанавливался на Реп 5 в Реп 100 на уровне 0,2 м над центром знаков, на точках 1—3 — на высоте.

Журнал барометрического нивелирования

Приборы для наблюдения

1 августа 1974 г.
Погода: ясно, слабый ветер
Наблюдатель М. Н. Соколов
Вычислитель А. А. Ким

1. Микробарометр ОМБ-1 № 43
2. Аспирационный психрометр

Выписка из аттестата микробарометра ОМБ-1 № 43

$P_0 = 1020,52$ мб
 $C_{0,0} = 0,2055$ мб/дел
 $\sigma = -7,6 \cdot 10^{-6}$ мб/дел²

$R = 30 \cdot 10^{-5}$ градус⁻¹
 $\delta P_t = -0,027$ мб/градус
 $P_{\Sigma T} = 991,32$ мб

Наименование и № точки	Время наблюдения, ч мин	Температура воздуха, °C	Отсчеты по прибору		P ₀	C _{0.0} n _i	$\frac{n_i^2}{\sigma^2}$	$\delta P_i'$	P _i '	Rl (P _{ΣT} - P _i ')	P _i мм рт. ст.
			температуры, °C	по шкале n _i							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ВБС	10 20	22.1	22.0	149.5	950.52	30.72	-0.84	-0.59	979.81	-0.08	979.73
Реп 38	10 40	22.2	22.2	149.8	950.52	30.73	-0.85	-0.60	979.85	-0.08	979.77

Примечание. Микробарометр устанавливался на уровне 0,1 м над центром знака.

В графе 11 величина P_i получена по формуле (1.9). Атмосферное давление P_i вычисляют по формуле (1.8) и записывают в графу 12.

Пример 4. Вычислить атмосферное давление на временной барометрической станции реп 38 в моменты времени 10 ч 20 мин и 10 ч 40 мин по наблюдениям, выполненным микробарометром ОМБ-1 № 43. Результаты наблюдений и постоянные прибора приведены в табл. 7.

Вычисление атмосферного давления производят по формуле (1.8) в той же последовательности, что и в примере 3.

2. Вычисление отметок точек хода барометрического нивелирования. В способе замкнутых полигонов с опорой на временную

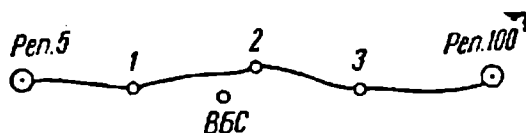


Рис. 17. Схема хода барометрического нивелирования

барометрическую станцию вычисление можно производить или способом последовательных превышений, или полярным способом, в котором превышения промежуточных точек определяют относительно ВБС. Оба способа дают одинаковые результаты. Рассмотрим указанные способы вычислений на примерах.

Пример 5. Вычислить отметки промежуточных точек хода 1, 2, 3 (рис. 17) по результатам барометрического нивелирования, выполненного способом полигонов с опорой на временную барометрическую станцию. Высоты исходных марок равны $H_5 = 172,3$ м; $H_{100} = 194,8$ м. Сведения о приборах и результаты полевых наблюдений приведены в табл. 6, а выписка из станционного журнала в табл. 8.

Решение примера выполнено способом последовательных превышений и приведено в табл. 9. В графы 1—4 выписывают данные из журнала барометрического нивелирования (см. табл. 6).

В графу 5 записывают полученные путем линейного интерполирования давления на станции для тех моментов времени, в которых велись наблюдения на точках 2, 3 и 4.

Например, давление на станции для 10 ч 35 мин вычисляют так: составив пропорцию

$$10 \text{ мин} \dots\dots\dots -0,06 \text{ мм рт. ст.},$$

$$5 \text{ мин} \dots\dots\dots x,$$

находят $x = -0,03$ мм рт. ст., сложив алгебраически полученную величину с давлением на станции для 10 ч 30 мин, получают искомое давление, т. е. $751,53 - 0,03 = 751,50$ мм рт. ст.

В графе 6 вычисляют поправки δP за изменение давления на станции (а следовательно, и в районе проложения хода

Выписка из журнала барометрического нивелирования на ВЭС

30 мая 1974 г.

Погода: ясно, слабый ветер

Наблюдатель Г. В. Борисова

Вычислитель Г. П. Беляева

Приборы для наблюдения

1. Микробарометр МБНП № 583

2. Термометр-пращ

Время наблюдения, ч мин	Темпера- тура воздуха, °С	Давление, мм рт. ст.	Время наблюдения, ч мин	Темпера- тура воздуха, °С	Давление, мм рт. ст.
9 00	+21,5	752,06	10 40	+25,3	751,47
9 10	21,9	751,98	10 50	25,8	751,43
9 20	22,2	751,90	11 00	26,2	751,40
9 30	22,5	751,85	11 10	26,5	751,36
9 40	22,7	751,80	11 20	26,6	751,32
9 50	23,0	751,76	11 30	26,9	751,29
10 00	23,4	751,72	11 40	27,2	751,26
10 10	23,9	751,66	11 50	27,5	751,23
10 20	24,5	751,60	12 00	27,9	751,20
10 30	25,0	751,53			

барометрического нивелирования) с течением времени или поправки за время. Как известно, давление изменяется не только от высоты местности, но и с течением времени. Это происходит главным образом из-за неравномерного нагревания поверхности земли солнцем, за счет которого непрерывно перемещаются воздушные массы. Поэтому необходимо учесть изменение атмосферного давления, происшедшее за время следования наблюдателя от начальной точки до последующих, и из измеренных давлений на точках исключить. Для этого приводят все показания на станции к одному, например начальному, моменту времени, в нашем случае к 9 ч 00 мин. Поправки за время вычисляют путем вычитания из давления в начальный момент давлений в каждый последующий, т. е. $752,06 - 751,76 = +0,30$ мм рт. ст.; $752,06 - 751,50 = +0,56$ мм рт. ст. и т. д.

В графе 7 (см. табл. 9) путем алгебраического сложения измеренного давления на точке P_i и поправки за время δP_i получают «приведенное» давление на точке, зависящее только от высоты местности.

По приведенному давлению и температуре воздуха вычисляют превышения h по барометрическим формулам, причем чаще используют сокращенные барометрические формулы Бабице и Певцова.

Сокращенная барометрическая формула Бабице имеет вид

$$h = 2MK_0(1 + \alpha t_{cp}) \frac{P_1 - P_2}{P_1 + P_2}, \quad (I.10)$$

Таблица 9
Ведомость обработки разомкнутого барометрического хода, продолженного методом полигонов с опорой на ВЕС

№ точки	Время, в мин	Определенная точка		ВЕС		Приведенное давление, мм рт. ст.	$\frac{1}{2}(P_1 + P_2)$	$\frac{1}{2}(I_1 + I_2)$	Средняя высота ΔH , м	$P_1 - P_2$	$h = \Delta H \cdot (P_1 - P_2)$, м	Приведенная длина (H), м	$(H_2) - (H_1)$, м	δh_r , м	$h = (H_2) - (H_1) + \delta h_r$	Высота H, м
		Температура, °С	Давление, мм рт. ст.	Давление, мм рт. ст.	Поправка на индекс											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Реп 5	9 00	+21.5	752.58	752.06	0.00	752.58	752.90	22.2	11.52	-0.65	-7.5	83.0	-7.3	+0.2	+0.3	172.3
1	9 50	23.0	752.93	751.76	+0.30	753.23	752.19	24.1	11.60	+2.08	+24.1	75.7	+23.4	+0.7	+0.3	165.1
2	10 35	25.2	750.59	751.50	+0.56	751.15	751.12	26.0	11.69	+0.05	+0.6	99.1	+0.6	0.0	+0.3	189.5
3	11 25	26.7	750.34	751.30	+0.76	751.10	750.92	27.2	11.76	+0.35	+4.1	99.7	+4.1	+0.2	+0.2	190.4
Реп 100	12 00	27.8	749.89	751.20	+0.86	750.75						103.6			+4.3	194.8

$$\sum h = +21.4 \text{ м}$$

$$H_{100} - H_6 = +22.5 \text{ м}$$

$$f_h = -1.1 \text{ м}$$

$$\text{сред } f_h = \pm 1.5 \text{ м}$$

Примечание. При укладке нити средние превышения, полученные по разным таблицам.

Вычислял Б. А. Иевин

где M — модуль перехода от натуральных логарифмов к десятичным ($M = 0,4343$);

$K_0 = 18404$ — барометрическая постоянная;

α — коэффициент расширения воздуха при нагревании на 1°C ($\alpha = 0,003665$);

$t_{\text{ср}}$ — средняя температура столба воздуха;

P_1, P_2 — соответственно измеренное давление в точках 1 и 2.

Для вычисления превышений по формуле Бабине составлены таблицы барических ступеней высот, используя которые, превышение вычисляют по формуле

$$h = \Delta H (P_1 - P_2), \quad (1.11)$$

где ΔH — барическая ступень высоты, равная

$$\Delta H = \frac{MK_0(1 + \alpha t_{\text{ср}})}{P_{\text{ср}}}. \quad (1.12)$$

Величины ΔH выбирают из таблиц барических ступеней высот (прил. 1) по аргументам $P_{\text{ср}}$ и $t_{\text{ср}}$ (графы 8 и 9) и записывают в графу 10. В графе 11 вычисляют разности $P_1 - P_2$, а в графе 12 превышения h по формуле (1.11).

Вычисления ведут на логарифмической линейке с округлением до 0,1 м.

Для контроля, превышения вычисляют вторично по сокращенной барометрической формуле Певцова

$$h = K(1 + \alpha t_{\text{ср}}) \lg \frac{P_1}{P_2}, \quad (1.13)$$

где $K = 18\,470$.

По формуле (1.13) составлены барометрические таблицы приближенных альтитуд (высот), используя которые, превышения находят из выражения

$$h = (H_2) - (H_1) + \alpha(t_{\text{ср}} - t_0) \{(H_2) - (H_1)\}. \quad (1.14)$$

Здесь (H_1) и (H_2) — приближенные значения высот при среднем значении атмосферного давления на уровне моря, равном 760 мм рт. ст.*, и температуре воздуха t_0 .

Таблицы приближенных альтитуд, составленные при $t_0 = 15^\circ$, имеются в прил. 2.

Величины (H_1) и (H_2) выбирают из таблиц по аргументам P_1 и P_2 и записывают в графу 13. В графе 14 получают разности приближенных альтитуд для каждой смежной пары точек, вычитая из последующей предыдущую.

В графе 15 (см. табл. 9) записывают поправки в превышения за температуру δh_t , выбираемые из специальных таблиц (прил. 3) по аргументам $\{(H_2) - (H_1)\}$ и $t_{\text{ср}}$.

* Некоторые таблицы для значений (H) составлены по среднему значению атмосферного давления на уровне моря, равному 762 мм рт. ст.

Следует учитывать, что при температуре $+15^{\circ}\text{C}$ поправка равна 0; при температуре ниже $+15^{\circ}\text{C}$ имеет знак минус; выше $+15^{\circ}\text{C}$ — знак плюс. Поправку с учетом ее знака надо прибавить к абсолютному значению разности. Например, для $(H_2) - (H_1) = 7,3$ м и $t_{\text{ср}} = 22,2$ поправка $\delta h_i = +0,2$ м. Тогда превышение $h = -(7,3 + 0,2) = -7,5$ м.

Превышения записывают в графу 16. Расхождения между величинами превышений, полученными по формулам (1.11) и (1.14), должны лежать в пределах точности вычислений (0,1–0,2 м).

Подсчитав сумму средних превышений, вычисляют невязку хода

$$f_h = \sum h - (H_k - H_n), \quad (1.15)$$

которую сравнивают с предельной величиной. Величине предельной невязки для ходов длиной не более 15 км и при разности высот точек хода не более 200 м можно принять равной $\pm 1,5$ м. Невязку распределяют прямо пропорционально времени.

Значение отметок точек 1, 2, 3 вычисляют с округлением до 0,1 м и записывают в графу 17.

Пример 6. Вычислить отметки промежуточных точек хода 1, 2, 3 и 4 (рис. 18) по результатам барометрического нивелирования, выполненного способом замкнутых полигонов с опорой на ВБС, расположенную на репере 13, с отметкой 174,8. Нивелирование выполнялось микробаронивелирами МБНП № 178 и № 182 и термометр-пращами. Выписка из стационарного журнала приведена в табл. 10; результаты полевых наблюдений в табл. 11 (графы 1, 2, 4, 6).

Таблица 10

Выписка из журнала барометрического нивелирования на ВБС Реп 13

12 июля 1975 г.

Погода: ясно, слабый ветер

Наблюдатель А. В. Макаров

Вычислитель И. П. Власов

Приборы для наблюдения

1. Микробаронивелир МБНП № 178

2. Термометр-пращ

Время наблюдения, ч мин	Темпера- тура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Давление, мм рт. ст.	Время наблюдения, ч мин	Темпера- тура воздуха, $^{\circ}\text{C}$	Давление, мм рт. ст.
6 35	16,4	751,16	8 25	21,2	751,36
6 38	16,4	751,16	8 35	21,5	751,39
6 45	17,5	751,22	8 45	21,5	751,42
6 55	18,5	751,26	8 55	21,5	751,44
7 05	18,9	751,26	9 05	21,5	751,46
7 15	19,2	751,24	9 15	21,5	751,48
7 25	19,8	751,28	9 25	22,7	751,46
7 35	20,5	751,32	9 35	23,0	751,45
7 45	20,5	751,32	9 45	23,5	751,45
7 55	20,5	751,31	9 55	24,0	751,45
8 05	20,7	751,30	10 05	24,0	751,47
8 15	21,0	751,32	10 07	24,0	751,47

Таблица 11
Ведомость обработки замкнутого барометрического хода, проложенного методом полигонов с опорой на ВБС

№ точки	Время, ч мин	Температура воздуха, °C		Давление воздуха, мм рт. ст.		Поправка за сравнение полигонов	Давление P_i исправленное, мм рт. ст.	$\frac{1}{2}(P_c + P_i)$	$\frac{1}{2}(t_c + t_i)$	Средняя высота, ΔH_i , м	$\Delta P = P_i - P_c$	$h = \Delta H_i \Delta P$	H_G , м	H_P , м	$\Delta = H_P - H_G$
		на станции	на точке	на станции P_c	на точке P_i										
1		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ВЕС Реп 13	6 35	+16,4	+16,4	751,06	750,84	+0,22	751,06	—	—	—	—	—	174,8	—	206,21 —0,4
	7 15	19,2	19,4	751,24	753,15	+0,24	753,39	752,32	19,3	11,42	+2,15	+24,6	199,4	—	
	8 00	20,6	19,4	751,30	752,16	+0,26	752,42	751,86	20,0	11,45	+1,12	+12,8	187,6	—	
Трианг. пункт 3	8 25	21,2	22,0	751,36	753,46	+0,27	754,13	752,75	21,6	11,50	+2,77	+31,8	206,6	206,21	—0,4
	9 00	21,5	21,7	751,45	753,17	+0,29	753,46	752,46	21,6	11,50	+2,01	+23,1	197,9	—	
	10 05	24,0	24,0	751,47	751,15	+0,32	751,47	—	—	—	—	—	—	—	
ВЕС Реп 13															

Вычисляла З. А. Бодрик

Решение примера выполнено полярным способом. В этом способе, как уже указывалось, превышения промежуточных точек хода определяют относительно ВБС.

В графы 1—4 и 6 табл. 11 выписывают данные из журналов барометрического нивелирования на станции и на точках. В графу 5 записывают давления на станции для тех же моментов времени, в которые проводились наблюдения на точках 1—4. Величину давления вычисляют по данным станционных наблюдений (см. табл. 10) путем линейного интерполирования (см. пояснения к аналогичным вычислениям в примере 5).

В графе 7 вычисляют поправки за сравнение станционных и полевых приборов. Поправки за сравнение для начального

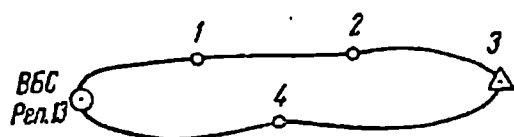


Рис. 18. Схема хода барометрического нивелирования

момента времени 6 ч 35 мин и конечного 10 ч 05 мин равны соответственно разности давлений, отсчитанных на станции и на точке для этих моментов времени; $751,06 - 750,84 = +0,22$ мм рт. ст. и $751,47 - 751,15 = +0,32$ мм рт. ст. Поправку за сравнение для остальных моментов времени получают путем линейного интерполирования по времени только что найденных величин поправок.

Например, поправку за сравнение для 7 ч 15 мин (точки 1) получают так.

Сначала находят изменение поправки за сравнение за весь период продолжения хода, т. е. за 3 ч 30 мин, оно равно $0,32 - -0,22 = +0,10$ мм рт. ст., а затем из пропорции вычисляют ее изменение за период с 6 ч 35 мин до 7 ч 15 мин, т. е. за 40 мин

$$3 \text{ ч } 40 \text{ мин} - 0,10 \text{ мм рт. ст.}$$

$$40 \text{ мин} - x$$

$$x = \frac{40 \text{ мин} \cdot 0,10}{3 \text{ ч } 40 \text{ мин}} = +0,02 \text{ мм рт. ст.}$$

Для 7 ч 15 мин (точки 1) поправка за сравнение будет равна

$$+0,22 + 0,02 = +0,24 \text{ мм рт. ст.}$$

В графе 8 вычисляют исправленное давление на точках, суммируя измеренное давление и поправку за сравнение.

Далее по исправленному давлению P_i и температуре t_i на точках хода и давлению P_c и температуре t_c на станции вычисляют с использованием таблиц ступеней высот (прил. 1) превышения между ВБС и каждой точкой хода по формуле

$$h_i = \Delta H_i (P_i - P_c). \quad (1.16)$$

Степень высоты ΔH , выбирают из таблиц по величинам

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{2} (P_{\text{с}} + P_{\text{л}}) \quad (I.17)$$

и

$$t_{\text{ср}} = \frac{1}{2} (t_{\text{с}} + t_{\text{л}}). \quad (I.18)$$

Вычисления ведут в графах 9—13 (см. табл. 11).

Для контроля превышения h вычисляют вторично по формуле (I.14) с использованием таблиц приближенных альтитуд (в примере эти вычисления не приведены).

В графе 14 получают высоту точек хода по формуле

$$H_i = H_{\text{с}} + h_i. \quad (I.19)$$

В графе 16 вычисляют разности высот контрольных точек Δ , вычитая из высоты, известной из геодезического или геометрического нивелирования, высоту, полученную из барометрического нивелирования. Предельная величина разности не должна превышать удвоенной средней квадратической погрешности высот точек, полученных из барометрического нивелирования.

3. Оценка точности определения высот точек, полученных из барометрического нивелирования. Оценку точности производят по разностям Δ , которые рассматриваются как истинные погрешности.

Среднюю квадратическую погрешность определения высот вычисляют по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \quad (I.20)$$

где n — число точек, взятых для оценки точности.

Для надежного получения величины m , необходимо использовать контрольные точки большого числа ходов.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. В период теоретического обучения задание выполняет каждый студент, производя вычислительную обработку результатов барометрического нивелирования методом, указанным преподавателем. В период учебной практики задание выполняется бригадой в составе 5 студентов. Ведомость обработки хода барометрического нивелирования вычисляется в одном экземпляре.

По окончании работ подлежат сдаче следующие материалы:

- 1) оформленные и проверенные стандартный и полевой журналы;
- 2) ведомость обработки хода барометрического нивелирования;
- 3) аэрофотоснимок (или аэрофотоснимки) с нанесенным маршрутом хода.

На всех материалах должны быть даты их выполнения и подписи исполнителей, а также лиц, их проверявших.

Глава II

НИВЕЛИРОВАНИЕ III КЛАССА

Нивелирование III класса входит в государственную нивелирную сеть СССР. Нивелирование III класса обеспечивает решение инженерно-технических задач народного хозяйства и служит основой для сгущения государственной высотной сети и съемочного обоснования при топографических съемках. Приборы, программа наблюдений, точность результатов измерений — устанавливаются требованиями общегосударственной инструкции по нивелированию.

ЗАДАНИЕ II.1

ПРИБОРЫ ДЛЯ НИВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

I. Задача: ознакомиться с приборами, провести их исследования и поверку.

II. Литература: *Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов*. М., «Недра», 1974. 160 с.

Практикум по геодезии. М., «Недра», 1973. 368 с. Под ред. Н. И. Модринского.

III. Приборы и принадлежности: штатив и нивелир с уровнем (типа НЗ), штатив и нивелир с компенсатором по точности не ниже чем НЗ, комплект нивелирных реек, зонт топографический, стальная 20-метровая лента, кольца деревянные, 2 металлических колышка (башмака), топор, контрольная линейка, журнал исследований и поверок.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) ознакомление с нивелирами и рейками, применяемыми при нивелировании III класса;

2) исследование нивелиров и реек;

3) поверка нивелиров и реек.

1. Ознакомление с нивелирами и рейками, применяемыми при нивелировании III класса. При нивелировании используются приборы с увеличением трубы не менее 30× и с цепой деления цилиндрического неконтактного уровня 15" на 2 мм, контактного — не более 30" на 2 мм. Нивелиры с самоустанавливающей линией визирования не должны иметь среднюю квадратическую погрешность на 1 км хода больше 4 мм. Из современных нивелиров применяют: НВ-1, НЗ, Н2, НА-1, НПГ, Ni030 и нивелиры с компенсаторами: НСЗ, NiB-3, 4, 5, 6; NiA-3, Ni007.

Устройство нивелиров НВ-1, НЗ и ознакомление с некоторыми видами компенсаторов дается в «Практикуме по геодезии»

(под редакцией Н. И. Модрицкого), М., «Недра», 1973, в главе VII (VII.1).

Нивелирование III класса выполняют с помощью шашечных реек, снабженных круглыми уровнями. Шашечные рейки представляют собой цельные трехметровые двусторонние бруски, с обеих сторон которых нанесены сантиметровые деления. На черной стороне рейки нули совпадают с пяткой. На красной стороне с пятками совпадают отсчеты более 40 дм, различающиеся на 1 дм для каждой пары реек (например, на одной рейке отсчет 4786 мм, на другой — 4887 мм).

Случайные погрешности дециметровых и метровых интервалов реек для нивелирования III класса не должны превышать 0,5 мм. Нивелиры и рейки в обязательном порядке исследуют с целью установления их пригодности и определения постоянных.

2. Исследование нивелиров и реек. К исследованиям нивелира и реек следует отнести:

а) О с м о т р н и в е л и р а. Проверяется чистота оптики и одновременная четкость изображения сетки нитей и концов пузырька уровня, симметричность половиннок пузырька уровня относительно их разделительной линии. Проверяют плавность вращения окуляра, винта фокусирующей линзы, элевационного винта. Убеждаются в отсутствии неисправностей у отдельных деталей нивелира (зеркало, закрепительные винты). Подъемные винты нивелира должны вращаться легко и плавно при плотно зажатом станковом винте. Необходимую регулировку выполняют, не снимая нивелира со штатива, вывинчивают по очереди подъемные винты до момента, пока круглые отверстия на стержнях не совпадут с углублениями внутренней втулки каждого подъемного винта. Далее, шпилькой, вставленной в углубление, поворачивают втулку, ослабляя или усиливая ход винта. Проверяют плавность вращения нивелира вокруг вертикальной осп. При тугом вращении следует выполнить чистку и смазку осп. Проверяется исправность штатива и отсутствие внешних дефектов у реек.

б) И с с л е д о в а н и е з р и т е л ь н о й т р у б ы. Необходимо убедиться в соответствии зрительной трубы нивелиров, применяемых в III классе, требованиям инструкции. Для этого определяют увеличение трубы с помощью рейки (сравнивая число делений, видимых невооруженным глазом, соответствующее изображению одного деления, видимого в трубу) или с помощью диаметра (как отношение диаметра объекта к диаметру выходного зрачка окуляра). Это исследование описано в «Практикуме по геодезии» (М., «Недра», 1973). Увеличение зрительной трубы нивелира Г должно быть большим или равным 30×.

в) О п р е д е л е н и е ц е п ы д е л е н и я у р о в н я н и в е л и р а. Для проведения этого исследования рейку устанавливают на костыль (башмак) на расстоянии 30—40 м от нивелира. Расстояние от осп вращения нивелира до плоскости делений рейки

измеряется лентой или рулеткой. Эlevationным винтом (рис. 19) точно совмещают ближайший к объективу конец пузырька цилиндрического уровня с каким-либо из крайних делений шкалы ампулы уровня a и производят отсчет по рейке l_1 . Перемещают elevationным винтом пузырек на n делений (не меньше 5) и так же точно совмещают его со штрихом шкалы b . По рейке производят отсчет l_2 . Эти наблюдения составляют полуприем. Аналогично проводят наблюдения по концу пузырька уровня, расположенного вблизи окуляра, и получают значения n' — число делений перемещения пузырька уровня и отсчеты по рейке l'_1 и l'_2 .

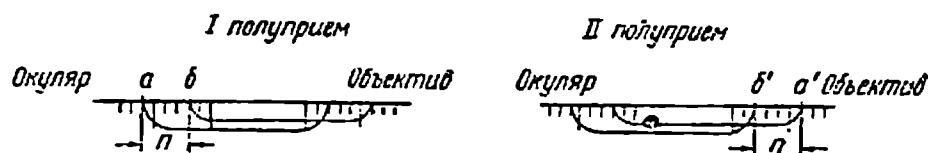


Рис. 19. Определение цены деления уровня по рейке

Цена деления уровня определяется как среднее значение τ из двух полуприемов, вычисленное по формуле

$$\tau = \frac{\rho''(l_1 - l_2)}{Sn}, \quad (\text{II.1})$$

где $\rho'' = 206.265''$. Величины l и S выражаются в мм.

Указанные действия и вычисления составляют один прием. В условиях учебных практик число приемов равно числу студентов в бригаде. В приемах расстояния до реек различны. За окончательное значение τ принимается среднее значение из всех определений. Точность среднего значения τ может быть охарактеризована величиной M_τ , вычисляемой по формуле

$$M_\tau = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n(n-1)}}, \quad (\text{II.2})$$

где δ — отклонения значений τ , полученных в отдельных приемах от среднего значения;

n — число приемов.

Если полученная цена делений больше $15''$ для неконтактного и больше $30''$ для контактного уровней, то такие нивелиры использовать при нивелировании III класса нельзя.

г) **О п р е д е л е н и е к о э ф ф и ц и е н т а н и т я п о г о д а л ь н о м е р а.** В 50—75 м от нивелира устанавливают рейку и по черной стороне производят отсчеты по дальномерным нитям при трех горизонтах инструмента. Расстояние до рейки (от оси вращения нивелира) измеряют с точностью 0,1 м лентой или рулеткой. Коэффициент дальномера вычисляют по формуле

$$K = \frac{D}{(n - v)_{\text{ср}}}, \quad (\text{II.3})$$

где D — расстояние до рейки, мм;
 $(u - v)_{\text{ср}}$ — среднее из разностей отсчетов по нижней и верхней
 дальномерным нитям, мм.

д) **Исследование постоянства визирной оси при изменении фокусировки трубы.** Перед исследованием нивелир должен быть выверен (см. поверки нивелира). На местности лентой измеряют линию в 100 м и закрепляют на ней колышки через каждые 10 м. На концах линии устанавливают рейки (рис. 20). Далее из точек, расстояние до которых равно 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 м, при двух горизонтах инструмента определяют превышения между колышками от 0 до 100 м.

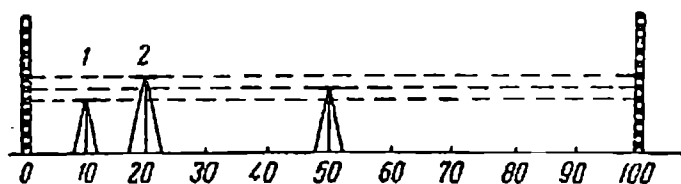


Рис. 20. Исследование постоянства визирной оси

Если средние превышения (из двух горизонтов), определенные из всех точек, не отличаются от превышения, полученного из середины (точка 50), более чем на 4 мм, нивелир считается удовлетворительным. Если расхождения превышают 4 мм, нивелир подлежит ремонту.

е) **Осмотр реек.** Раскраска реек не должна быть потерта, пятка должна быть плоскостью, перпендикулярной к оси рейки. Покоробленность рейки выявляется при помощи нити (бечевки), натянутой вдоль всей вогнутой стороны рейки. Расстояния между нитью и плоскостью рейки не должно быть больше 10 мм.

ж) **Исследование дециметровых делений рейки.** Исследование выполняется при помощи контрольной линейки. Пример рассмотрен в Практикуме по геодезии (задание VII.2) и в Инструкции по нивелированию (прил. 23). Если погрешности в дециметровых делениях рейки превышают 0,5 мм, их использовать при нивелировании III класса нельзя.

з) **Определение средней длины одного метра пары реек.** Эти исследования также выполняются при помощи контрольной линейки. Пример описан в Практикуме по геодезии (задание VII.2) и в Инструкции по нивелированию (прил. 22). Размеры метровых делений на всех сторонах реек и длина среднего метра пары реек не должна отличаться от номинальной на величину, большую чем 0,5 мм.

и) **Определение разностей положения ушей черных и красных сторон реек.** Рейкам, как правило, придают номера 1 и 2, которые и указываются на боковых сторонах. На костыль, забитый примерно в 15 м

от нивелира, ставят первую рейку и делают отсчет средней лптью по черной и красной сторонам. Затем такие же отсчеты делаются и по второй рейке, установленной на этом же костыле. Далее костыль забивается песком на 1—2 м) от нивелира и отсчеты по рейкам повторяются. Таких определений проводится не менее восьми. Порядок записи отсчетов и вычислений приведен в табл. 12.

Таблица 12

Определение разностей поворота нулей черных и красных сторон реек № 1 и 2

Наблюдатель С. В. Федоров
Вычислитель Г. Б. Турнова

21 июля 1975 г.

№ присмов	Отсчеты по рейке № 1			Отсчеты по рейке № 2		
	Черная сторона	Красная сторона	Разность отсчетов	Черная сторона	Красная сторона	Разность отсчетов
1	463	5 250	4 787	462	5 151	4 689
2	512	5 300	4 788	511	5 199	4 688
3	591	5 377	4 786	591	5 278	4 687
4	692	5 479	4 787	691	5 379	4 688
5	509	5 296	4 787	510	5 199	4 689
6	557	5 345	4 788	558	5 247	4 689
7	638	5 425	4 787	639	5 327	4 688
8	738	5 526	4 788	736	5 425	4 689
Σ	4700	42 998	38 298	4698	42 205	37 507
Среднее	587,5	5374,8	4787,3	587,2	5275,6	4688,4

Разность высот нулей красной и черной стороны рейки № 1—4787 мм;
» » » » » » » » рейки № 2 — 4688 мм.

Разность нулей реек (1—2):

черных сторон $587,5 - 587,2 = +0,3$ мм;

красных сторон $5374,8 - 5275,6 = +99,2$ мм;

пары реек $+0,3 - 99,2 = -98,9$ мм ≈ -99 мм, $d = 99$ мм.

С величинами -99 мм в случае (1—2) и $+99$ мм в случае (2—1) и будут сравниваться разности значений превышений на станциях, полученные по черным и красным сторонам реек, и также устанавливаться правильность чередования реек при продолжении хода.

3. Поверки нивелиров и реек. Поверки нивелиров и реек должны выполняться ежедневно перед началом работ.

Поверки глухого нивелира
с цилиндрическим уровнем
и элевационным впитом

а) Ось установочного (круглого) уровня и ось вращения нивелира должны быть параллельными. Подъемными винтами приводят пузырек круглого уровня на середину и поворачивают трубу

пивелира вокруг оси вращения на 180° . Если пузырек уровня сместился с середины, то его перемещают исправительными винтами круглого уровня на половину отклонения. Затем проверка повторяется до момента выполнения условия, т. е. когда пузырек при повороте трубы на 180° будет оставаться на середине.

б) *Горизонтальная нить сетки должна быть перпендикулярна к оси вращения нивелира.* Приводят нивелир в рабочее положение и делают отсчеты по вертикально установленной рейке (на расстоянии 20—25 м) по средней нити у краев поля зрения трубы. При выполнении условия отсчеты не должны отличаться более чем на 0,5 мм. Для проверки при отсутствии ветра можно также использовать нить отвеса, на которую наводится вертикальная нить сетки. Если один конец вертикальной нити сетки (при совмещении другого конца с отвесом) отходит на величину более 0,5 мм, необходимо исправить установку сетки нитей путем поворота сеточного кольца.

в) *Визирная ось и ось цилиндрического уровня должны быть параллельными* (главное условие). Перед проверкой этого условия следует убедиться, что ось уровня и визирная ось трубы лежат в параллельных плоскостях. Для этого устанавливают нивелир примерно в 75 м от рейки так, чтобы один подъемный винт находился в плоскости, проходящей через визирную линию, а два других — по обе стороны от нее. Приводят ось вращения нивелира в отвесное положение по круглому уровню и после тщательного приведения пузырька цилиндрического уровня в нуль-пункт производят отсчет. Затем вращением двух боковых подъемных винтов в разные стороны на 2—3 полных оборота дают наклон нивелиру вправо и влево, следя при этом за тем, чтобы отсчет по рейке не изменился. Если пузырек уровня при наклоне нивелира в любую сторону отклоняется от нуль-пункта более одного деления, то установку уровня исправляют боковыми исправительными винтами. После этого переходят к проверке главного условия (параллельность визирной оси и оси цилиндрического уровня). При проверке используется только одна рейка. Эта проверка может быть выполнена следующими способами.

1-й способ. На одном конце линии, на расстоянии около 75 м, устанавливают нивелир, на другом рейку. Приводят ось вращения нивелира в отвесное положение, наводят трубу на рейку, левачным винтом приводят пузырек уровня в нуль-пункт (совмещая изображения концов пузырька) и берут отсчет. Затем измеряют высоту нивелира i_1 (рулеткой или рейкой) от центра окуляра до вершины костыля или кола, заблаговременно забитого под окуляром, с точностью 1 мм. Затем меняют места нивелира и рейку и выполняют на второй точке такие же измерения, как и на первой. Погрешность в отсчете x за несоблюдение главного условия определяется по формуле

$$x = \frac{a_1 + a_2}{2} - \frac{i_1 + i_2}{2}, \quad (11.4)$$

где a_1 , a_2 и i_1 , i_2 — соответственно отсчеты по рейкам и высоты нивелиров на точках 1 и 2.

Если x более 4 мм, то при помощи элевационного винта устанавливают среднюю нить на отсчет по рейке, равный $a_2 - x$, и вертикальными исправительными винтами устанавливают пузырек в нуль-пункт. Поверку и исправление выполняют до тех пор, пока величина x окажется меньше 4 мм. Недостатком этого способа является затруднение в измерении высоты нивелира, что ведет к потере точности определения величины x .

2-й способ. На расстоянии в 75 м друг от друга забивают два колышка. Устанавливают нивелир на продолжении створа в 5—6 м от первого колышка и производят отсчет i_1 по рейке, установленной на первом (ближнем) колышке, и отсчет a_1 по рейке — на втором (дальнем) колышке. После этого переходят на вторую станцию и устанавливают нивелир на продолжении створа в 5—6 м за другим (вторым) колышлем и производят отсчеты i_2 (рейка на втором, ближнем, колышке) и a_2 (рейка на первом, дальнем, колышке).

Вычисление величины x , исправление — проводятся так же, как в первом способе. Этот способ не требует непосредственного определения высоты инструмента.

3-й способ. Нивелир устанавливают точно на середине между двумя колышками, забитыми на расстоянии примерно 75 м. Затем производят отсчеты a_1 по рейке на задний колышек и b_1 — на передний. Затем нивелир устанавливают за передним колышлем на расстоянии 3—5 м от него и производят по рейке отсчеты a_2 на дальний (задний) колышек и b_2 на ближний (передний). Предвычисленный отсчет $a'_2 = (a_1 - b_1) + b_2$ не должен отличаться от фактического отсчета a_2 более чем на 4 мм. В противном случае устанавливают отсчет элевационным винтом, равный a'_2 , а пузырек уровня приводят в нуль-пункт исправительными винтами.

Поверки нивелиров с компенсаторами

1. *Ось установочного (круглого) уровня и ось вращения нивелира должны быть параллельными.* Поверка выполняется так же, как и для нивелиров с элевационным винтом.

2. *Линия визирования должна быть горизонтальна при наклоне оси вращения нивелира в определенных пределах.* Поверка выполняется так же, как и поверка главного условия для нивелиров с элевационным винтом. Устранение погрешности x выполняется исправительными винтами сетки нитей.

3. *Определение погрешности недокомпенсации.* Точно на середине в створе между рейками, расстояние между которыми равно 100 м, устанавливают нивелир и делают пять определенных превышений поочередно при положениях круглого уровня, указанных на рис. 21.

Если средние значения превышений, полученные при положениях уровня II, III, IV, V, отличаются от среднего при

положении I более 3 мм, то нивелир пуждается в заводской юстировке и не может быть использован при нивелировании III класса.

П о в е р к а у с т а н о в к и у р о в н е й р е с к. Ось круглого уровня должна быть параллельна плоскости рейки. Это условие проверяется с помощью отвеса, прикрепленного к рейке. Если при вертикальном положении рейки пузырек круглого уровня окажется не в нуль-пункте, исправляют его положение исправительными винтами (перемещают в центр ампулы). Эту проверку можно выполнить и по вертикальной нити нивелира. Устанавливают рейку отвесно при помощи вертикальной нити нивелира, расположенного в 50—75 м. Сначала рейку ставят

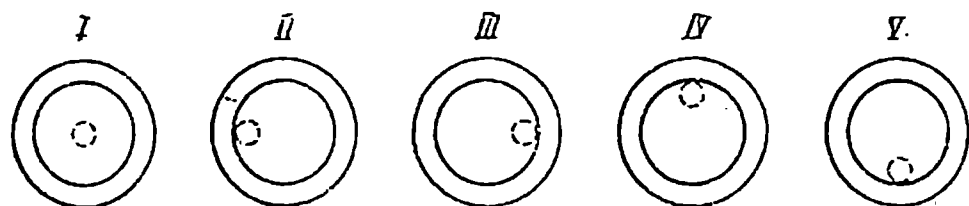


Рис. 21. Определение погрешности целокомпенсации

плоскостью, а затем ребром к нивелиру и каждый раз исправительными винтами уровня пузырек перемещают в центр ампулы. Проверку выполняют несколько раз, пока не убедятся, что при установке пузырька уровня в нуль-пункт рейка действительно занимает отвесное положение.

С о с т а в и с п о л н и т е л е й и р а с п р е д е л е н и е о б я з а н н о с т е й. Проверки нивелиров и реек выполняет каждый студент.

ЗАДАНИЕ II.2

ПРОИЗВОДСТВО НИВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

I. Задача: Между двумя реперами (марками) нивелирования II класса проложить разомкнутый нивелирный ход III класса.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. II. Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962, § 11—18;

Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., Недра, 1974;

Практикум по геодезии. М., «Недра», 1973. Под редакцией Н. И. Модрицкого.

III. Приборы и принадлежности: нивелир со штативом, 2 нивелирные рейки, 2 башмака (костыля), 75-метровый трос (бечена), зонт топографический, рулетка, журнал нивелирования III класса.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) рекогносцировка нивелирного хода и закладка знаков;
- 2) привязка нивелирного хода;
- 3) проложение нивелирного хода.

1. Рекогносцировка нивелирного хода и закладка знаков. Периметр полигона III класса, как правило, не должен превышать 150 км. При рекогносцировке стремятся, чтобы ход пролегал по наиболее удобным участкам местности, избегая затруднительные для нивелирования (овраги, заболоченные места и др.) и выбирая для постановки знаков через 5—7 км удобные места вблизи характерных контуров и ориентиров, которые в дальнейшем облегчат их отыскание. Для обеспечения долговременной сохранности и

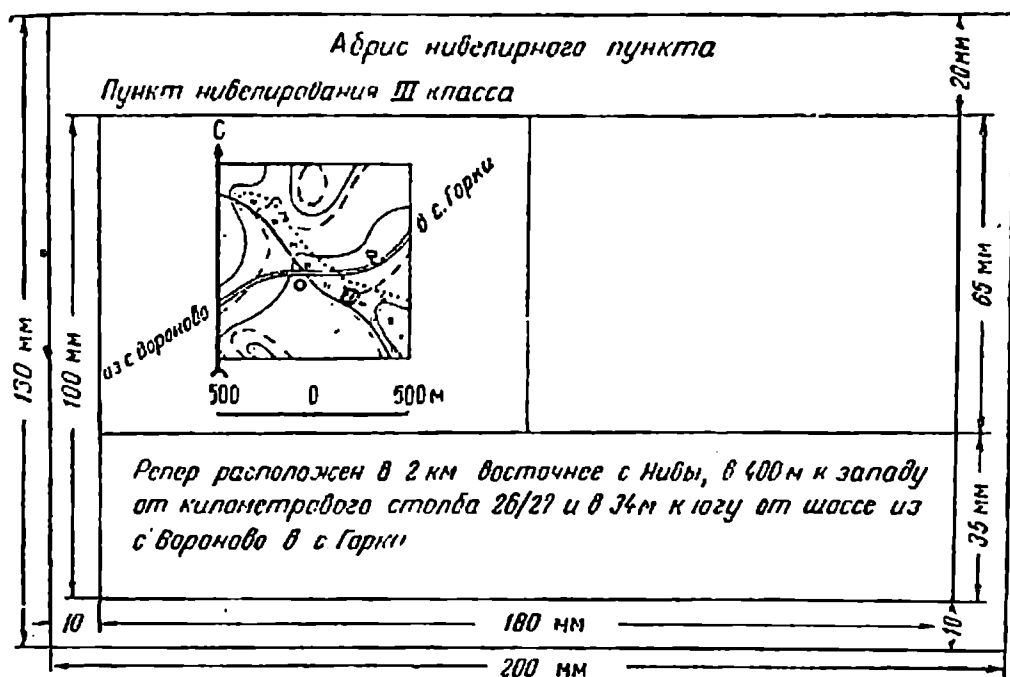


Рис. 22. Образец абриса нивелирного пункта

падежности реперов места для их закладки намечают по возможности на возвышенностях.

Не следует намечать места для закладки реперов на участках, где проявляются карстовые и оползневые явления, на затопляемых участках, на участках, где возможны строительные, гидротехнические, дорожные или сельскохозяйственные работы. На пахотных землях места для закладки реперов приурочивают к перелескам, полеваям, лесным полосам, обочинам дорог. Конструкции применяемых грунтовых и ственных нивелирных знаков указаны в Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов. Постановка грунтовых реперов выполняется в соответствии с инструкцией.

Для каждого знака составляется абрис (рис. 22) — глазомерный план местности с зарисовкой и описанием его местонахождения. На абрисе указываются ориентиры и расстояния от них до реперов, характерные формы рельефа. Абрис и описания должны быть составлены так, чтобы обеспечить обязательное

пахождение репера в будущем геодезисту, незнакомому с данной местностью и трассой нивелирного хода. Абрис составляется размером 4×4 см в масштабе $1 : 25\,000$. Стороны этого квадрата должны быть ориентированы относительно стран света. При наличии топографических материалов делается выкопировка с переходом к масштабу $1 : 25\,000$. Постоянные знаки подлежат сдаче по актам на хранение местным Советам народных депутатов.

2. Привязка нивелирного хода к грунтовым и стенным реперам. Привязка производится путем отсчитывания по рейке, установленной на грунтовом репере или на полочке степного репера. При привязке нивелирного хода к степной марке применяется специальная подвесная рейка. При отсутствии ее можно применить другие способы. Например, использовать вместо подвесной рейки обыкновенную проверенную линейку с миллиметровыми делениями или отметить на стене проекции средней и дальних нитей нивелира, а расстояния от центра марки до этих проекций измерить проверенной стальной рулеткой или линейкой. Проверка рулетки и линейки производится сравнением их с нивелирными рейками. Полученные расстояния до проекций следует выразить в системе делений рейки. Затем вычисляют превышение на станции, считая измеренные расстояния до проекций нитей, соответствующими отсчетам по рейке, причем обязательно учитывают знак: если нить проектируется выше центра марки, знак отсчета положительный, если ниже — отрицательный. Наблюдения на станции указанными способами выполняются при двух горизонтах инструмента (горизонт инструмента меняется не менее чем на 3 см). На полях нивелирного журнала обязательно дается зарисовка привязки по образцу, приведенному в Практикуме по геодезии (задание VII.4).

3. Проложение нивелирного хода. Учебный нивелирный ход III класса содержит столько секций, сколько студентов в бригаде. Длина секции примерно 0,8—1,0 км. Ход может быть закреплен временными знаками (столбы, пни, удобные для установок рейки выступы и другие местные предметы).

Перед началом работ страницы нивелирного журнала нумеруются и в журнале заполняется титульный лист.

Необходимо также ознакомиться с основными требованиями к нивелированию III класса и принять их к обязательному исполнению. Рассмотрим некоторые из них.

Нивелирование выполняется в прямом и обратном направлениях. Наблюдения на станции проводятся в определенной последовательности. Нормальная длина визирного луча 75 м. При спокойном изображении реек и увеличении трубы не менее $35\times$ длину луча разрешается иметь до 100 м. Неравенство расстояний до реек на станции должно быть не более 2 м, а их накопление по секции 5 м.

Высота визирного луча (для средней нити) не должна быть меньше 30 см над поверхностью земли.

При нивелировании прибор защищают от солнца при помощи зонта. Рейки устанавливаются на колышки или бабмаки по уровню. От станции к станции рейки чередуются местами относительно нивелира, т. е. та, которая была задней становится передней, это значит, что после завершения наблюдений на станции всегда переходит вместе с нивелировщиком задний реечник. Секции следует наблюдать при четном количестве станций, что при обработке исключит разность пятков реек.

Расхождение превышений по секции между прямым и обратным ходом не должно превышать

$$d_{\text{пред}} = 10 \text{ мм} \sqrt{L_i} \quad (\text{II.5})$$

где L_i — длина секции, км.

Если расхождения превышают этот допуск, то нивелирование повторяется в одном каком-либо направлении. Разность сумм превышений секций прямого и обратного хода также не должна превышать величины, указанной в формуле (II.5).

Значение невязки по ходу

$$f_h = \sum h_{\text{ср}} - (H_k - H_n), \quad (\text{II.6})$$

где $\sum h_{\text{ср}}$ — сумма средних значений прямых и обратных превышений по всему ходу,

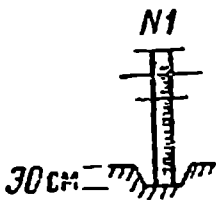
H_n, H_k — отметки исходных начального и конечного пунктов не должны превышать величины

$$f_{h \text{ пред}} = 10 \text{ мм} \sqrt{L}, \text{ км.} \quad (\text{II.7})$$

После ознакомления с требованиями и порядком наблюдений приступают к полевым измерениям. Нивелирный ход начинается от твердой точки, закрепленной в виде марки или репера. Расстояние между нивелиром и рейками откладывается тросом, бечевой или проводом. Это очень удобно на ровной открытой местности. Однако в пересеченной местности целесообразней и удобнее использовать пятый дальномер зрительной трубы нивелира. В этом случае нивелировщик определяет по дальномеру сначала расстояние до задней рейки, а затем устанавливает местоположение передней рейки методом приближений, давая соответствующие указания переднему реечнику. Обычно достаточно лишь одного перемещения переднего реечника для установления необходимого местоположения рейки. (При переходе заднему реечнику рекомендуется шагами измерять расстояние от переднего колышка до новой установки нивелира). Эти предварительные измерения расстояний (отсчеты по дальномерным лентам) в журнале не фиксируются. Убедившись, что разность плеч не превышает 2 м (при $K = 100$ это составляет 20 мм), можно приступать к наблюдениям на станции.

В журнале в колонке «номер штатива и реек» записывается номер начальной марки или репера и дается схематическая

Ход от групп. реп. № 6 до временного нивелирного знака № 1
 Дата 9 июля 1975 г. Погода: ясно, слабый ветер
 Начало: 6 ч 20 мин Изображение спокойное
 Конец: 18 ч 00 мин

№ штатива и рейки	Наблюдения по дальномерным нитям		
	Задняя рейка	Передняя рейка	Контрольное превышение
 1 (реп № 6) 1—2	1281 (2) 1482 (3) 201 (9)	1425 (5) 1627 (6) 202 (10)	—144 (11) —145 (12) —1/—1 (13)
2 2—1	0888 1243 355	1649 1998 349	—761 —755 +6/+5
3 1—2	1926 2410 484	1275 1761 486	+651 +649 —2/+3
4 2—1	389 0910 521	2359 2877 518	—1970 —1967 +3/+6
Постраничные контрольные вычисления	1561 (20)	1555 (21)	—4442 (22) —2221 (27)

Подсчет по секции

13408 Σ (20); 13410 Σ (21); +2736 Σ (27)

$\epsilon_1 = 2,7$ км (33) $n = 25$ шт.
 $h = +2,734$ м (37)

вапия III класса

Наблюдения по средней нити				Среднее превышение (мм)
Сторона рейки	Задняя рейка	Передняя рейка	Превышение	
ч к	1382 (1) 6066 (8) 4684 (16)	1527 (4) 6310 (7) 4783 (17)	-145 (14) -244 (15) +99 (18)	-144,5 (19)
ч к	1066 5850 4784	1823 6507 4684	-757 -657 -100	-757,0
ч к	2168 6851 4633	1518 6300 4782	+650 +551 +101	+650,5
ч к	0651 5433 4782	2618 7302 4684	-1967 -1869 -98	-1968,0
	29 467 (23) -33 905 (24) 4 438 (28)	33 905 (24)	-4438 (25) -2219 (29)	-2219 (26)

206 756 Σ (23) 201 289 Σ (24) + 5467 Σ (25) + 2733,5 Σ (26)201 289 Σ (24) +2733,5 (31)
+5 467 (30)Измеренное превышение $h' = +2733,5$ мм (34)Поправка за длину среднего
матра рейки $\delta h = + 0,3$ мм (35)Исправленное превышение $h = +2733,8$ мм (36)

зарисовка рейки и проекций нитей. Указывается номер станции (штатива) и реек (задняя, передняя). Обычно рейкам придают номера 1 и 2. Нумерацию станций по отдельным секциям следует начинать всегда с первого. Следует помнить, что отсчетывание по рейке следует производить без ненужной поспешности, убедившись в установке трубы «по глазу», «по предмету», т. е. убедившись в четкости изображения рейки и нитей сетки и отсутствии параллакса нитей. Так как изменение фокусирования сказывается на положении визирной оси, то при наблюдениях реек в различных условиях освещения не следует подправлять фокусировку.

Порядок наблюдений на станции следующий:

а) устанавливают нивелир в рабочее положение с помощью круглого уровня;

б) наводят трубу на черную сторону задней рейки, приводят пузырек уровня в нуль-пункт и делают отсчеты по средней и дальномерным нитям;

в) наводят трубу на черную сторону передней рейки, приводят пузырек в нуль-пункт и делают отсчет по средней и дальномерным нитям;

г) делают отсчет (при пузырьке уровня в нуль-пункте) по средней нити по красной стороне передней рейки;

д) наводят трубу на красную сторону задней рейки, приводят пузырек уровня в нуль-пункт и берут отсчет по средней нити.

В табл. 13 приведено оформление, а последовательность наблюдений и записи в нивелирном журнале обозначены числами в скобках. Так, наблюдения на станции представлены отсчетами (1), (2)...(8). Отсчеты (1) и (4) не должны быть менее 300 мм. Прежде чем перейти на следующую станцию, необходимо выполнить все вычисления в журнале и убедиться в выполнении контрольных допусков. При нивелировании III класса соблюдают следующие допуски:

а) средняя величина, полученная из отсчетов по дальномерным нитям не должна отличаться от отсчета по средней нити той же рейки более чем на 3 мм:

$$\frac{(2) + (3)}{2} - (1) = \pm 3 \text{ мм}; \quad \frac{(5) + (6)}{2} - (4) = \pm 3 \text{ мм};$$

б) расхождение между значениями превышений, получаемыми по черным и красным сторонам реек, с учетом разности высот пар реек, не должны быть более 3 мм.

Вычисления в журнале на станции:

(9) = (3) - (2) — расстояние в дальномерных единицах до задней рейки (при $K = 100$, т. е. один миллиметр соответствует расстоянию на местности в один дециметр);

(10) = (6) - (5) — расстояние в дальномерных единицах до передней рейки;

$(11) = (2) - (5)$ } контрольное превышение по дальпомер-
 $(12) = (3) - (6)$ } ным нитям;
 $(13) = (9) - (10) = (12) - (11)$ — числитель — неравенство
 плеч допускается 2 м (при $K = 100$ составит 20 единиц), знаме-
 натель — накопление неравенств плеч по секции допускается 5 м
 (при $K = 100$ составит 50 единиц);

$(14) = (1) - (4)$ — превышение по черным сторонам реек;

$(15) = (8) - (7)$ — превышение по красным сторонам реек;

$(16) = (8) - (1)$ — разность пяток задней рейки;

$(17) = (7) - (4)$ — разность пяток передней рейки;

$(18) = (14) - (15)$ — разность пяток пары реек;

$(18) = (17) - (16)$ — контроль вычислений.

Значение (18) не должно отличаться более чем на 3 мм от опре-
 деленной ранее величины d разности пяток реек при исследова-
 нии их (см. табл. 12).

$(19) = \frac{(14) + \{(15) \pm d\}}{2}$ — среднее превышение на станции (вычи-
 сляется до 0,1 мм).

Если все вышесказанные условия выполнены, работу на
 станции можно считать законченной. Дается команда перехода
 заднему реечному, а нивелир переносится на следующую стан-
 цию. Без выполнения вышеуказанных вычислений на станции
 переход запрещается.

Записи в журналах должны быть четкими и разборчивыми.
 В этом документе не допускаются подчистки и исправления запи-
 санных цифр. При необходимости исправления написанного числа
 (при вычислениях) его следует аккуратно зачеркнуть и сверху
 над ним написать исправленное значение. При несоблюдении
 контрольных требований на станции не разрешается повторение
 отдельных отсчетов. Все записи на этой станции перечеркива-
 ются одной чертой по диагонали. Записи повторных наблюдений
 производятся ниже забракованных, а у номера станции дается
 приписка «bis» («повторение»). При нивелировании необходимо
 следить за строгим чередованием постановок реек путем сравне-
 ния знаков у разности пяток (18), знак на последующей станции
 должен быть обратным знаку на предыдущей. При окончании
 нивелирования по секции в журнале в колонке «№ штативов и
 реек» указывается номер и схематический рисунок репера и рейки.
 Закачивать секцию желательно той же рейкой, которая была
 установлена на начальном репере (при этом условии будет четное
 число станций). После завершения всех наблюдений по секции
 хода в журнале надо оставить незаполненной одну полную стра-
 ницу для страничных вычислений и вывода среднего значения
 превышения по секции.

По завершении нивелирования всего хода (а не одной секции)
 в прямом направлении прокладывается обратный ход по той же
 трассе.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Задание выполняет бригада из четырех студентов: наблюдатель, помощник (вычислитель) наблюдателя и два речника. Каждый член бригады последовательно выполняет все обязанности по плану чередования, составленному руководителем. Каждый студент должен отнаблюдать одну секцию в прямом и обратном направлениях.

ЗАДАНИЕ II.3

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ШВЕЛИРОВАНИЯ III КЛАССА

I. Задача: вычислить превышения по секциям в швелирном ходе III класса.

II. Литература: *Инструкция по швелированию I, II, III и IV классов*. М., «Недра», 1974. 160 с.

III. Пособия и принадлежности: журнал швелирования III класса, счеты, логарифмическая линейка, чертежная бумага 20×20 см, чертежное перо, черная тушь, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) выполнение постраничного контроля в швелирном журнале;
- 2) вычисление сумм превышений по секциям и введение поправок за длину метра реек;
- 3) составление ведомости превышений;
- 4) составление схемы швелирного хода.

1. Выполнение постраничного контроля в швелирном журнале. Вычисление производится с целью контроля. На каждой странице внизу подсчитываются (см. табл. 13):

$$(20) = \sum (9)$$

$$(21) = \sum (10)$$

$$(22) = \sum \{(11) + (12)\}$$

$$(23) = \sum \{(1) + (8)\}$$

$$(24) = \sum \{(4) + (7)\}$$

$$(25) = \sum \{(14) + (15)\}$$

$$(26) = \sum (19)$$

$$(27) = \frac{(22)}{2}$$

$$(28) = (23) - (24)$$

$$(29) = \frac{(25)}{2} - \text{при четном числе станций на странице}$$

$$(29) = \frac{(25) \pm \text{разность пятюк пары реек}}{2} - \text{при нечетном числе станций.}$$

Должно иметь место следующее выполнение условий:

$$(21) - (20) = \sum (13); (13) - \text{неравенство плеч на станции}$$

$$(25) = (28)$$

$$(26) = (29)$$

Сумма контрольных превышений (27) не должна выходить за пределы $(26) \pm 3 \cdot n$, где n — число станций на странице.

Суммирование следует выполнять на счетах.

2. Вычисление сумм превышений по секциям и выведение поправок за длину метра реек. Вычисления выполняются в журнале в конце секции и заключаются в следующем. Используя данные постраничного контроля, подсчитывают по секции $\sum (20)$, $\sum (21)$, $\sum (27)$, $\sum (23)$, $\sum (24)$, $\sum (25)$, $\sum (26)$ и вычисляют

$$(30) = \sum (23) - \sum (24)$$

$$(31) = \sum \frac{(25)}{2}$$

Должны иметь место равенства:

$$(30) = \sum (25)$$

$$(31) = \sum (26)$$

$\sum (26) \approx \sum (27)$ — контроль отсутствия грубых промахов при наблюдениях и вычислениях.

Величина $\sum (26)$ и является суммой измеренных превышений по секции. В журналах в конце секции выписывают длину секции (33)

$$L_r, \text{ км} = (\sum (20) + \sum (21))_{\text{мм}} \cdot K \cdot 10^{-3},$$

где K — коэффициент дальномера нивелира.

При $K = 100$

$$L_r, \text{ км} = \frac{\sum (20) + \sum (21)}{10\,000}.$$

Указывают число штативов (станций) по секции n .

Число штативов $n = 25$.

Выписывают:

измеренное превышение $h' = \sum (26)$, мм;

поправку за длину рабочего метра δh ;

исправленное превышение $h = h' + \delta h$.

Поправка за длину рабочего метра вычисляется следующим образом. Если при исследовании пары реек была получена средняя длина метра пары реек, равной $1 \text{ м} + \Delta$ (например, $1 \text{ м} + 0,15 \text{ мм}$), то поправка в превышение будет равна

$$\delta h_{\text{мм}} = h_{\text{м}} \cdot \Delta.$$

Если длина рабочего метра больше номинальной (Δ — положительные), то абсолютное значение исправленного превышения будет больше измеренного, т. е. знак δh совпадает со знаком h' . Если длина рабочего метра меньше номинальной (Δ — отрицательная), то абсолютное значение исправленного превышения будет меньше измеренного, т. е. знак δh будет обратным знаку превышения h' . Значения δh и h даются в миллиметрах до десятых долей.

По завершении обработки результатов нивелирования прямого и обратного ходов сравнивают исправленные превышения по секциям, вычисляя разности

$$d = h_{\text{пр}} + h_{\text{обр}} \quad (\text{II.8})$$

Превышения не должны различаться на величину, указанную в формуле (II.5). При нарушении этого требования проводятся повторные полевые измерения превышений по секции в каком-либо направлении. Суммы превышений всех секций по прямому и обратному ходам не должны отличаться на величину, указанную в формуле (II.7).

3. Составление ведомости превышений. После обработки нивелирных журналов составляется ведомость, согласно представленному образцу (табл. 14). В ведомости указываются номера секций, тип и номер нивелирного знака, описание местоположения знака (согласно абрису), длина секций (в км), расстояние от начального репера (в км), число штативов (стандций) в прямом (числитель) и обратном (знаменатель) ходах, измеренные превышения (в м) с введенными поправками за длину реек, разности превышений по секциям прямого и обратного ходов (в мм) и их допустимые величины, высоты исходных пунктов. Внизу ведомости даются полученная и допустимая невязки по ходу.

4. Составление схемы нивелирного хода. Схема составляется в масштабе 1 : 10 000—1 : 50 000. Направление хода должно быть ориентировано относительно стран света. Схема вычерчивается черной тушью в условных знаках. На ней должны быть представлены: исходные реперы с указанием отметок, промежуточные определяемые реперы с их номерами, направление прямого хода, длина секции до десятых долей километра, измеренные превышения до мм, выраженные в м, в виде дроби (числитель — прямой ход, знаменатель — обратный ход), масштаб схемы, год исполнения, состав бригады. Для лучшей читаемости схемы на ней следует отображать наиболее важные объекты местности, имеющие ориентирное значение: населенные пункты, реки, дороги и др. На рис. 23 приводится образец схемы нивелирного хода и перечень условных знаков.

С о с т а в и с п о л н и т е л е й и р а с п р е д е л е н и е о б я з а н н о с т е й. Каждый член бригады производит обработку в журнале своей секции (постраничные контроли, вычисления превышений).

Ведомость превышений и схема хода составляются в одном экземпляре. На них должны быть подписи исполнителей и проверяющих лиц.

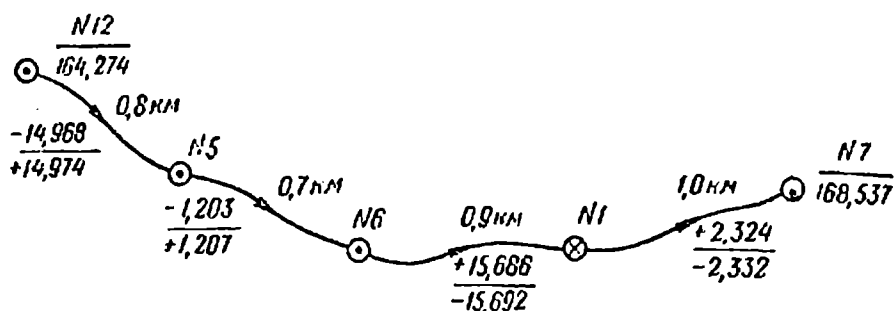
По окончании работ подлежат сдаче следующие материалы: 1) оформленные и проверенные журналы, 2) результаты исследований нивелира и реек, 3) ведомость превышений, 4) схема нивелирного хода, 5) абрисы нивелирных пунктов.

Ведомость превышений нивелирования III класса

Тип и номер нивелирного знака	Описание местоположения нивелирного знака	Расстояние между соседними знаками, м	Расстояние от начального пункта, км	Число пунктов прямого и обратного ходов	Измеренные превышения, мм		Разность превышений прямого и обратного ходов, мм	Допустимая разность, мм	Среднее превышение, м	Примечание
					Прямой ход	Обратный ход				
Исполнители: бригада № 121 (студенты 2 курса геодезического факультета) П. И. Иванов, В. А. Широков, А. Б. Рузин, Н. Ф. Фокин Ход от гр. реп. 12 до стел. реп. 7 МКИГАНК										
Гр. реп. 12	Дата 1—3 июля 1975 г. с. Кулаково по дороге в с. Луч у скотного двора	0,8	0,0	12/10	—14,968	+14,974	+6	9	—14,971	$H_{12} = 104,274$ м
Гр. реп. 5	с. Манушкино, юго-зап. окраина, берег реки Сухоп. Лопасы	0,7	0,8	10/12	+1,203	—1,207	—4	8	+1,205	
Гр. реп. 6	В 1,2 км к юго-зап. от с. Манушкино, на опушке леса	0,9	1,5	14/14	+15,688	—15,692	—0	9	+15,689	
Вр. реп. 1	В 0,8 км к сев.-зап. от с. Люторенское у пересечения полевых дорог	1,0	2,4	14/12	+2,324	—2,332	—8	10	+2,328	$H_7 = 168,537$ м
Стел. реп. 7	с. Люторенское, поколь школы, сев. сторона		3,4							
Итого по ходу		3,4	3,4	50/48	+4,245	—4,257	—12	18	+4,251	

Разность высот исходных данных $H_K - H_H = +4,263$ м.Полученная поправка $f_h = -12$ мм.Допустимая поправка $f_h = \pm 10 \text{ мм} \sqrt{3,4} = \pm 18 \text{ мм}$.Проведен 9 июля 1975 г. А. Б. Рузин
Проверит В. А. Широков

СХЕМА НИВЕЛИРНОГО ХОДА III КЛАССА от гр. реп. 12 до стен. реп. 7



Масштаб 1:25 000 1975 год

бригада N121 П.П. Иванов,
В.А. Шираев, А.Б. Рузин, И.Ф. Фомин

Условные знаки :

0,4 мм линия нивелирования III класса

3,0 мм грунтовой репер

3,0 мм стенной репер

3,0 мм марка (стенная)

2,0 мм временный (вр. реп.) репер

2,5 мм пункт триангуляции
или государственной полигонометрии

2,0 мм пункт полигонометрии 1 и 2 разрядов

Рис. 23. Образец схемы нивелирного хода III класса

На всех материалах должны быть даты их выполнения и подписи исполнителей.

ЗАДАНИЕ 11.4

УРАВНИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В НИВЕЛИРОВАНИИ III КЛАССА

I. Задача: произвести уравнивание превышений и вычисление высот промежуточных реперов по результатам нивелирования III класса. Произвести оценку точности полевых измерений и уравниваемых значений.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. И. Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962, § 20—24.

Инструкция по вычислению нивелировок. М., «Недра», 1971.

III. Поспособия и принадлежности: логарифмическая линейка, счеты, линейка или угольник, полевые журналы, ведомости для вычислений.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) уравнивание одиночного нивелирного хода;
- 2) уравнивание сети с одной узловоей точкой;
- 3) уравнивание сети способом эквивалентной замены;
- 4) уравнивание сети способом последовательных приближений;
- 5) уравнивание сети способом полигонов В. В. Попова непосредственно на чертеже сети.

При проложении нивелирных ходов и сетей III класса производится измерение не только необходимых для вычисления отсчетов превышений, но и некоторое число избыточных превышений.

Избыточные измерения производятся для проведения контроля в работе, повышения точности окончательных результатов, оценки точности как полевых измерений, так и полученных результатов.

Наличие избыточных измерений приводит к необходимости производить уравнивание измеренных величин, целью которого является устранение невязок, возникающих в данном ряде измерений, путем вычисления и введения поправок в измеренные величины.

В одиночном нивелирном ходе вследствие неизбежных ошибок, сопровождающих измерение превышений, сумма превышений по ходу не будет равна разности высот исходных точек. Полученная невязка распределяется с обратным знаком пропорционально обратным весам превышений по секциям, т. е. вычисляются поправки в измеренные превышения. По полученным уравненным превышениям вычисляют наиболее надежные высоты промежуточных реперов.

Оценка точности полевых измерений в одиночном ходе производится по разностям двойных измерений.

Наиболее надежное значение высоты в системе нивелирных ходов — нивелирной сети — с одной узловоей точкой определяется по принципу общей арифметической середины с учетом весов измеренных превышений. По разности между уравненным значением высоты узловоей точки и высотой той же точки, полученной по любому из нивелирных ходов, определяют величины поправок в измеренные превышения этих ходов. Поправки в превышения каждого хода вычисляются так же, как в одиночном ходе.

Нивелирные сети со многими узловыми точками уравниваются по правилам метода наименьших квадратов параметрическим или коррелятивным способами. Эти способы изучаются студентами в соответствующих разделах курса теории математической обра-

тки геодезических измерений и подробно излагаются в учебнике [5].

Для нивелирных сетей с небольшим числом узловых точек кроме указанных еще применяются следующие способы уравнивания:

— основанный на весовом среднем «способ эквивалентной замены»;

— основанный на параметрическом способе — «способ последовательных приближений» и «способ узлов» (разработанный проф. В. В. Поповым);

— основанный на коррелятном способе — «способ полигонов» (разработанный проф. В. В. Поповым).

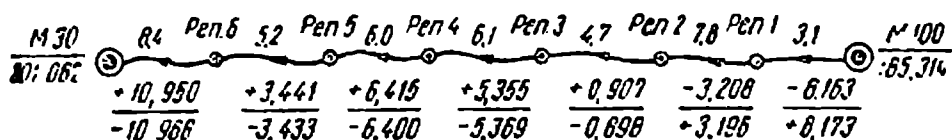


Рис. 24. Схема одиночного нивелирного хода

Из перечисленных в курсе геодезии изучаются способы эквивалентной замены, последовательных приближений, полигонов В. В. Попова (способ распределения невязок в полигонах непосредственно на чертеже сети).

Для оценки точности полевых измерений в нивелирных сетях используются поправки ходов.

Рассмотрим способы уравнивания одиночного хода и нивелирных сетей с одной и более узловыми точками на конкретных примерах, по ходу решения которых приведем необходимые формулы и пояснения.

1. Уравнивание одиночного нивелирного хода. Пример 1. Произвести уравнивание одиночного хода нивелирования III класса, проложенного между марками II класса. Исходные данные и измеренные величины приведены на схематическом чертеже хода (рис. 24).

В табл. 15 приводится решение примера и последовательность его выполнения.

а) Оценка качества нивелирования. Оценка производится по разностям измеренных превышений в прямом и обратном ходах. Выполняется она так же, как это указано в задании II.3 (см. табл. 14).

В графы 1—5 (табл. 15) выписывают со схемы хода исходные данные и измеренные величины. В графе 7 вычисляют по формуле (II.8) разности превышений по прямому и обратному ходам. Разности d контролируют суммированием величин, записанных в графах 4, 5 и 7,

$$\sum h_{np} + \sum h_{обp} = \sum d.$$

Таблица 15
Ведомость уравнивания превышений и вычисления высот реперов хода швелпрования III класса

№ секции хода	№ реперов	Длина секции L_i , км	Превышения			Расхождения			d_i^2	$\frac{d_i^2}{L_i}$	Поправка v_i , мм	Наравнение на провод- ящий, м	Высота H_i , м	Рес отсчетов R_{H_i}	Средняя направлен- ная погреш- ность M_{H_i}	Средняя направлен- ная погреш- ность M_{H_i}	Средняя направлен- ная погреш- ность M_{H_i}
			Прямой ход h_i , м	Обрат- ный ход h_i , м	Среднее h_i , м	Получен- ные d_i , мм	Пределы по полу- стиям, мм	мм									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
1	100	3,1	-8,163	+8,173	-8,168	+10	±18	100	32,3	+4	-8,164	185,314					
2	11	7,8	-3,208	+3,196	-3,202	-12	±28	144	18,5	+10	-3,192	177,150	0,35	4,4	1,2		
3	12	4,7	+0,907	-0,898	+0,902	+9	±22	81	17,2	+6	+0,908	173,958	0,12	7,5	2,0		
4	13	6,1	+5,355	-5,369	+5,362	-14	±25	196	32,2	+7	+5,369	174,866	0,10	8,2	2,2		
5	14	6,0	+6,415	-6,400	+6,408	+15	±24	225	37,5	+7	+6,415	180,235	0,10	8,2	2,2		
6	15	5,2	+3,441	-3,433	-3,437	+8	±23	64	12,3	+6	+3,443	186,650	0,11	7,8	2,1		
7	30	8,4	+10,950	-10,968	+10,959	-18	±29	324	38,6	+10	+10,969	190,093	0,15	6,7	1,8		
		41,3	+15,697	-15,699	$\Sigma h_i =$ +15,698	-2		1134	188,5	+50	+15,748						
			$H_K - H_H = +15,748$														

$$f_h = -0,050 \text{ м}$$

$$\text{пред } f_h = \pm 10 \sqrt[4]{41,3} = \pm 0,064 \text{ м.}$$

$$\text{Контроль: } m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{188,5}{7}} = 2,6 \text{ мм; } m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \sqrt[4]{\frac{1134}{41,3}} = 2,6 \text{ мм; } m_{\text{км}} = \frac{2,6}{\sqrt[4]{14}} = 0,60 \text{ мм.}$$

Выполнил П. И. Казарин

Полученные разности сравнивают с предельными значениями, найденными по формуле (II.5) и делают заключение о соответствии полевых измерений данному классу нивелирования.

б) Уравнивание превышений и вычисление отсчетов промежуточных реперов. В графе 6 вычисляют средние из абсолютных значений прямого и обратного превышений. У полученных величин проставляют знак, соответствующий прямому превышению. Вычисление средних превышений контролируют выражением

$$\frac{\sum |h_{пр}| + \sum |h_{обр}|}{2} = \sum |h_{ср}|.$$

Невязки нивелирного хода вычисляют по формуле (II.6); ее сравнивают с предельным значением, полученным по (II.7).

Поправки в измеренные превышения по каждой секции находят по формуле

$$v_{h_i} = -\frac{f_h}{L} L_i. \quad (II.9)$$

В графе 12 вычисляют исправленные превышения с контролем по формуле

$$\sum (h_{ср} + v) = H_k - H_n. \quad (II.10)$$

Затем вычисляют высоты промежуточных реперов

$$H_{i+1} = H_i + h_{ср_i} + v_{h_i}, \quad (II.11)$$

где H_i — высота предыдущей точки (марки или репера);

H_{i+1} — высота последующей точки.

Вычисленные высоты точек записывают в графу 13.

в) Оценка точности полевых измерений. Оценку производят по разностям двойных измерений d_i . Среднюю квадратическую погрешность среднего превышения по ходу длиной 1 км вычисляют дважды, соответственно по основной и контрольной формулам

$$m_{км} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\left[\frac{d^2}{L} \right]}{n}}, \quad (II.12)$$

$$m_{км} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d^2]}{[L]}}, \quad (II.13)$$

где n — число разностей.

В формуле (II.12) вес измеренного превышения определяется как $p_{h_i} = 1/L_i$, а в формуле (II.13) обратный вес — как $1/p_{h_i} = L_i$.

Величины d_i^2 и d_i^2/L_i вычисляют в графах 9 и 10, причем d_i берут в мм, а L_i в км.

Для суждения о надежности проведенной оценки точности вычисляют среднюю квадратическую погрешность самой погрешности

$$m_{m_{км}} = \frac{m_{км}}{\sqrt{2n}}. \quad (II.14)$$

г) Оценка точности уравненных значений. Состоит в вычислении средних квадратических погрешностей промежуточных реперов в ходе, которые находят по формуле

$$M_{П_i} = \frac{m_{км}}{\sqrt{P_{П_i}}}. \quad (II.15)$$

В этой формуле $P_{П_i}$ — вес отметки репера, средняя квадратическая погрешность которой вычисляется. Для вычисления $P_{П_i}$ служит формула

$$P_{П_i} = \frac{1}{[L]_1^i} + \frac{1}{[L]_{i+1}^n} = \frac{[L]_1^n}{[L]_1^i [L]_{i+1}^n}. \quad (II.16)$$

Здесь $[L]_1^n$ — длина всего хода;

$[L]_1^i$ — длина хода от начальной марки до репера с номером i ;

$[L]_{i+1}^n$ — длина хода от конечной марки до репера i .

Например, для репера 12 вес будет равен

$$P_{П_{12}} = \frac{1}{10.9} + \frac{1}{30.4} = \frac{41.3}{10.9 \cdot 30.4} = 0.12.$$

Веса отметок записывают в графу 14, а средние квадратические погрешности в графу 15. В графе 16 вычисляют средние квадратические погрешности самих погрешностей реперов

$$m_{M_{П_i}} = \frac{m_{м, км}}{\sqrt{P_{П_i}}}. \quad (II.17)$$

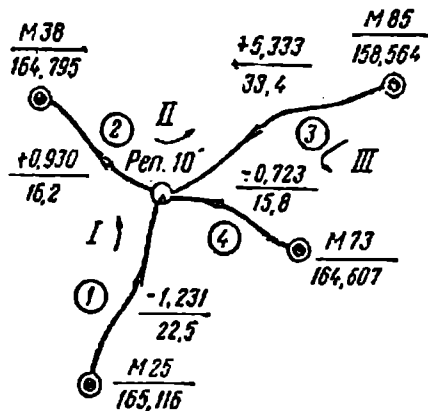


Рис. 25. Схема сети с одной узловой точкой

2. Уравнивание сети с одной узловой точкой. Пример 2. Произвести уравнивание сети швелпрования III класса с одной узловой точкой (рис. 25). Все исходные данные и измеренные величины (средние превышения и длины ходов) приведены на схематическом чертеже сети.

Решение примера и последовательность его выполнения приводятся в табл. 16 и 17.

а) Оценка качества швелпрования и проверка соответствия его данному классу. Оценка качества производится сравнением вычисленных связей

Ведомость сравнения вычисленных невязок по полигонам с их допустимыми значениями

№ полигона	Порядок обхода полигона	№ ходов, входящих в полигон	Сумма превышений по полигону $\sum h$, мм	$H_K - H_n$, м	Невязка f_h , мм	Длина полигона L , км	Предельная невязка пред. f_h , мм	Сумма поправок по полигону $\sum v$, мм
I	От М25 до М38	1, 2	-0,301	-0,321	+20	38,7	± 61	-20
II	От М38 до М85	2, 3	-6,263	-6,231	-32	49,6	± 70	+32
III	От М85 до М73	3, 4	+6,056	+6,043	+13	49,2	± 70	-13

Вычисляла В. А. Белякова

по полигонам с их допустимыми значениями. Вычисления располагают в таблице (см. табл. 16).

Для данной сети можно выбрать три разомкнутых полигона. Полигоны обозначают римскими цифрами, а направление обхода указывают стрелками. Невязку f_h каждого полигона вычисляют по формуле (II.6), в которой $\sum h$ — сумма превышений по ходам, образующим полигон.

Предельную невязку полигона нивелирования III класса вычисляют по формуле (II.7), в которой L — длина полигона, равная сумме длин ходов, составляющих полигон.

Как следует из табл. 16, невязки по всем полигонам меньше предельных, следовательно, точность полевых измерений соответствует требованиям, предъявляемым к нивелированию III класса, и можно переходить к уравниванию сети.

б) Вычисление наиболее надежного значения высоты узлового репера и уравнивание превышений. Высоту узлового репера вычисляют как среднее весовое из отметок, вычисленных по ходам от исходных марок и реперов по формуле

$$H = \frac{H'_1 p_1 + H'_2 p_2 + \dots + H'_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n}, \quad (\text{II.18})$$

где $H'_1, H'_2, \dots, H'_n$ — высоты узловой точки, вычисленные по ходам 1, 2, ..., n;

$p_1, p_2, \dots, p_n$ — веса измеренных превышений по ходам 1, 2, ..., n (или вычисленных по ним от твердых точек отметок).

Вычисления производят в ведомости уравнивания (см. табл. 17). В графы 1, 2, 3, 4, 5 и 6 выписывают со схемы сети исходные

Таблица 17

Ведомость уравнивания превышений и вычисления высот пунктов сети нивелирования III класса

№ узлового репера	№ исходных марок	Отметка марок H_i , м	№ ходов	Длина ходов L_i , км	Превышения h_i , м	Отметка узлового репера H_i , м	e_i , мм	Вес $p_i = \frac{25}{L_i}$	$e_i p_i$	Поправка v_i , мм	$p_i v_i$	$p_i v_i^2$
10	25	165,116	1	22,5	-1,231	163,885	+20	1,11	+22,2	-4,7	-5,2	24,4
	38	164,795	2	16,2	-0,930	163,865	0	1,54	0	+15,3	+23,6	361,0
	85	158,564	3	33,4	+5,333	163,897	+32	0,75	+23,9	-16,7	-12,5	208,8
	73	164,607	4	15,8	-0,723	163,884	+19	1,58	+30,0	-3,7	-5,8	21,5
						$H_0 = 163,865$		4,98	+76,1		+0,1	615,7
						15,3						
						$H = 163,880_3$						

$$\mu_{25} = \sqrt{\frac{615,7}{4-1}} = 14,3 \text{ мм};$$

$$m_\mu = \frac{14,3}{\sqrt{2(4-1)}} = 5,8 \text{ мм};$$

$$m_{KM} = \frac{14,3}{\sqrt{25}} = 2,9 \text{ мм};$$

$$M_{H_{1,6}} = \frac{14,3}{\sqrt{4,98}} = 6,4 \text{ мм};$$

$$m_{M_{H_{1,6}}} = \frac{5,8}{\sqrt{4,98}} = 2,6 \text{ мм}.$$

Ответ: $H_{10} = 163,880 \text{ м} \pm 6,4 \text{ мм} (\pm 2,6 \text{ мм})$.

Выполнила В. А. Белекова

данные и измеренные величины, обращая внимание на знак превышения. Направление превышения указано стрелкой.

Высоту узлового репера по каждому ходу H_i вычисляют как алгебраическую сумму высоты исходной марки и измеренного превышения. Записывают полученные значения в графу 7.

В графе 9 по одной из формул

$$\left. \begin{aligned} p_i &= \frac{C}{L_i}; \\ p_i &= \frac{C}{N_i} \end{aligned} \right\} \quad (II.19)$$

вычисляют вес измеренного превышения по ходу (или вычисленной по нему от твердой точки отметки).

Здесь L_i — длина хода, км;

N_i — число станций в ходе;

C — постоянное число, выбираемое с расчетом, чтобы значения весов выражались числами, близкими к единице (для удобства вычислений).

Величину C можно определить приближенно как

$$C = \frac{L_{\min} + L_{\max}}{2}, \quad (II.20)$$

где $L_{\min}$ и $L_{\max}$ — длина минимального и максимального ходов в сети.

Следует иметь в виду, что, устанавливая число C , одновременно выбирают число измерений, вес которых при оценке точности полевых измерений принимают за единицу.

В данном примере за единицу удобно взять вес превышения в ходе длиной 25 км, так как

$$C = \frac{15.8 + 33.4}{2} = 24,6 \approx 25.$$

Отметку репера 10 получают по формуле (II.18), которую преобразуют к удобному для вычисления виду:

$$H = H_0 + \frac{[e p]}{[p]}, \quad (II.21)$$

где H_0 — приближенное значение высоты;

$e_i = H_i - H_0$ — разность между высотой точки, полученной по каждому ходу и вычисленной приближенно;

$[p]$ — сумма весов измеренных превышений по ходам.

За приближенное значение H_0 удобно принять наименьшую высоту; для данного примера она равна 163,865 м. Наиболее надежное значение высоты вычисляют с округлением до 0,0001 м.

Разности e_i записывают в графу 8, а произведения $e_i p_i$ в графу 10.

Значение высоты узлового репера, вычисленное по формуле (II.21), является окончательным и наиболее надежным.

Поправки в превышения отдельных ходов вычисляют как разности между наиболее надежным значением высоты узлового репера и его значениями, полученными по этим ходам

$$v_i = H - H'_i. \quad (\text{II.22})$$

Например, поправка в превышение по первому ходу $v_1 = 163,8803 - 163,885 = -0,0047 \text{ м} = -4,7 \text{ мм}$. Записывают поправки в графу 11.

Вычисление поправок контролируют, используя соотношение

$$[pv] = 0, \quad (\text{II.23})$$

или при наличии погрешностей округлений

$$|[pv]| \leq \beta [p], \quad (\text{II.24})$$

где β — предельная погрешность округления величины среднего всосового значения высоты и поправок.

Подставляя в формулу (II.24) значение $\beta = 0,05 \text{ мм}$ (для данного примера), получим неравенство $0,1 \leq 0,25$.

Контроль вычисления поправок можно провести также их суммированием по ранее намеченным полигонам. По каждому полигону должно выполняться равенство

$$\sum v = -f_h. \quad (\text{II.25})$$

Вычисленные значения $\sum v$ записывают в последнюю графу табл. 16.

Контроль по формуле (II.23) или (II.24), а также по (II.25) является заключительным при уравнивании сети.

Уравненные значения превышений по отдельным ходам вычисляют по формуле

$$h_i = h_{изм_i} + v_i. \quad (\text{II.26})$$

Дальнейшее распределение поправок в превышения по секциям в каждом ходе производят так же, как в однопочном нивелирном ходе. В данном примере эти вычисления не приводятся.

в) **Оценка точности полевых измерений.** Оценка точности состоит в вычислении средних квадратических погрешностей превышения, вес которого принят за единицу μ , и превышения по ходу в 1 км, $m_{км}$

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-k}}; \quad (\text{II.27})$$

$$m_{км} = \frac{\mu}{\sqrt{C}}. \quad (\text{II.28})$$

Здесь n — число всех ходов;

k — число узловых точек;

C — постоянное, принятое в формуле (II.19) для вычисления веса.

Величины $p_i v_i^2$ вычисляют и записывают в графе 13. В нашем примере $C = 25$, следовательно, полученная величина $\mu = 14,3$ мм представляет собой среднюю квадратическую погрешность превышения хода, длиной в 25 км.

Обычно величину μ вычисляют по формуле (II.27) на основании ограниченного числа измерений, поэтому для определения надежности μ вычисляют среднюю квадратическую погрешность самой погрешности m_μ по формуле

$$m_\mu = \frac{\mu}{\sqrt{2(n-k)}}. \quad (\text{II.29})$$

г) Оценка точности уравненных значений. Качество уравненных значений определяется средней квадратической погрешностью, вычисляемой для узлового репера по формуле

$$M_{H_i} = \frac{\mu}{\sqrt{[p]}} = \frac{\mu}{\sqrt{P_{H_i}}}, \quad (\text{II.30})$$

где

$$[p] = P_{H_i} = p_1 + p_2 + \dots + p_n, \quad (\text{II.31})$$

Рис. 26. Схема сети с тремя узловыми точками

и средней квадратической погрешностью самой погрешности

$$m_{M_{H_i}} = \frac{m_\mu}{\sqrt{P_{H_i}}}. \quad (\text{II.32})$$

3. Уравнивание сети способом эквивалентной замены. Пример 3. Произвести уравнивание нивелирной сети, опирающейся на марки, способом эквивалентной замены и оценить точность полевых измерений и высот узловых реперов. Исходные данные и измеренные величины приведены на схематическом чертеже сети (рис. 26).

Решение примера приводится в табл. 18—20 и производится в следующем порядке.

а) Оценка качества нивелирования. Оценка производится тем же способом, который рассмотрен в примере 2.

Для уравнивания сеть, изображенную на рис. 26, разбивают на четыре полигона: три замкнутых и один разомкнутый; полигоны обозначают римскими цифрами, а направление обхода их указывают стрелками. Все вычисления располагают в табл. 18.

Как следует из табл. 18, все невязки по абсолютной величине оказались меньше предельных, следовательно, точность полевых измерений соответствует данному классу нивелирования.

Таблица 18

Ведомость сравнения вычисленных невязок по полигонам с их допустимыми значениями

№ полигона	Порядок обхода полигона	№ ходов, входящих в полигон	Невязка f_h , мм	Длина полигона L , км	Предельная невязка $f_{пред}/h$, мм	Сумма поправок по полигону $\sum v$, мм
I	От реп. 5 до реп. 5	1, 2, 3, 4	+24	32,8	±57	-24
II	От реп. 4 до реп. 4	3, 5, 6	-12	30,3	±55	+12
III	От реп. 3 до реп. 3	4, 6, 7	-5	35,4	±60	+5
IV	От М300 до М312	1, 7	+10	20,1	±45	-10

Вычисляла В. А. Белякова

б) Вычисление наиболее надежного значения отметок узловых реперов и уравнивание превышений. Рассмотренный в примере 2 способ уравнивания нивелирной сети с одной узловой точкой не может быть непосредственно применен для уравнивания сетей с несколькими узловыми точками. Для некоторых сетей* с небольшим числом узловых точек применяют способ эквивалентной замены, сущность которого заключается в том, что система ходов с несколькими узловыми точками сводится к системе ходов с одной узловой точкой.

Основываясь на принципе общей арифметической середины, заменяют несколько ходов одним эквивалентным им ходом, по которому отметка будет получена с таким же весом, с каким бы она была получена по действительным ходам.

В нивелирной сети с тремя узловыми точками (см. рис. 26) действительные ходы 1 и 7, 2 и 5 заменяются эквивалентными (1, 7) и (2, 5).

После замены нивелирная сеть примет вид сети с одной узловой точкой (реп. 4), в которую сходятся три хода: простой ход 6 и два сложных (1, 7 + 4) и (2, 5 + 3); каждый из сложных ходов состоит из эквивалентного — (1, 7) или (2, 5) и действительного 4 или 3 (рис. 27, а).

* Имеется в виду, что не к каждой сети можно применить способ эквивалентной замены.

Таблица 19
Бедомость уравнивания превышений и вычисления высот узловых реперов инвентарной сети
(способ эквивалентной замены)

№ ходов	№ исходных марок в узловых реперов	Измеренные превыше- ния h_i , м	Длины ходов D_i , км	Вычисленные высоты узловых реперов H_i , м	Остаток e_i , мм	Вес $p_i = \frac{10}{L_i}$	$p_i e_i$	Окончательные высо- ты H_i , м	Поправки p_i , мм	$p_i v_i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 7	300 312	-2,075 +6,740	5,8 14,3	190,103 190,093	Рен 3 10 0	1,72 0,70	17,2 0	190,096 ₅	-6,5 +3,3	72,9 8,7
1,7 4		+0,771	4,13 9,0	190,100 ₁		2,42 1,11	17,2		-3,6 -7,7	66,0
2 5	300 312	-5,601 +3,221	7,9 8,1	186,577 186,574	Рен 5 3 0	1,26 1,24	3,8 0	186,578 ₇	+1,7 +4,7	3,6 27,4
2,5 3		+4,273	4,0	186,575 ₆	Рен 4	2,50 0,99	3,8	190,859 ₈	+3,2 +8,1	65,0

1,7 + 4 2,5 + 3 6	312	+7,506	13,13 14,10 12,1	190,874, 190,845, 190,859	22,6 0 10,5	0,76 0,71 0,83	12,2 0 8,7	-11,3 +11,3 +0,8	0,5
				190,859 ₉		2,30	25,9		244,1

$$\mu_{10} = \sqrt{\frac{244,1}{4}} = 7,8 \text{ мм};$$

$$m_{\mu} = \frac{7,8}{\sqrt{8}} = 2,7 \text{ мм};$$

$$m_{KM} = \frac{7,8}{\sqrt{10}} = 2,5 \text{ мм}.$$

$$M_{H_3} = \frac{7,8}{\sqrt{3,06}} = 4,4 \text{ мм};$$

$$m_{M_{H_3}} = \frac{2,7}{\sqrt{3,06}} = 1,54 \text{ мм};$$

$$M_{H_4} = \frac{7,8}{\sqrt{3,30}} = 5,1 \text{ мм};$$

$$m_{M_{H_4}} = \frac{2,7}{\sqrt{2,30}} = 1,78 \text{ мм};$$

$$M_{H_5} = \frac{7,8}{\sqrt{3,11}} = 4,4 \text{ мм};$$

$$m_{M_{H_5}} = \frac{2,7}{\sqrt{3,11}} = 1,53 \text{ мм}.$$

Ответ: $H_3 = 190,096 \text{ м} \pm 4,4 \text{ мм}$ ($\pm 1,54 \text{ мм}$);
 $H_4 = 190,860 \text{ м} \pm 5,1 \text{ мм}$ ($\pm 1,78 \text{ мм}$);
 $H_5 = 186,579 \text{ м} \pm 4,4 \text{ мм}$ ($\pm 1,53 \text{ мм}$).

Производя эквивалентную замену ходов в другом порядке, можно получить сети с узловыми точками на реп. 3 или реп. 5. В первом случае сложный ход $(2, 5 + 3)$ и ход 6 можно снова заменить эквивалентным ходом $\{(2, 5 + 3), 6\}$, тогда к точке реп. 3 будут примыкать три одпочных хода: простые 1 и 7 и сложный $\{(2, 5 + 3), 6 + 4\}$ (рис. 27, б). Аналогично можно получить третий вариант сети с узловой точкой на реп. 5 (рис. 27, в).

Для решения задачи принят первый вариант.

В графы 1, 2, 3, 4 ведомости уравнивания (табл. 19) выписывают со схемы сети исходные данные и измеренные величины, необходимые для вычисления высоты реп. 3 по ходам 1 и 7.

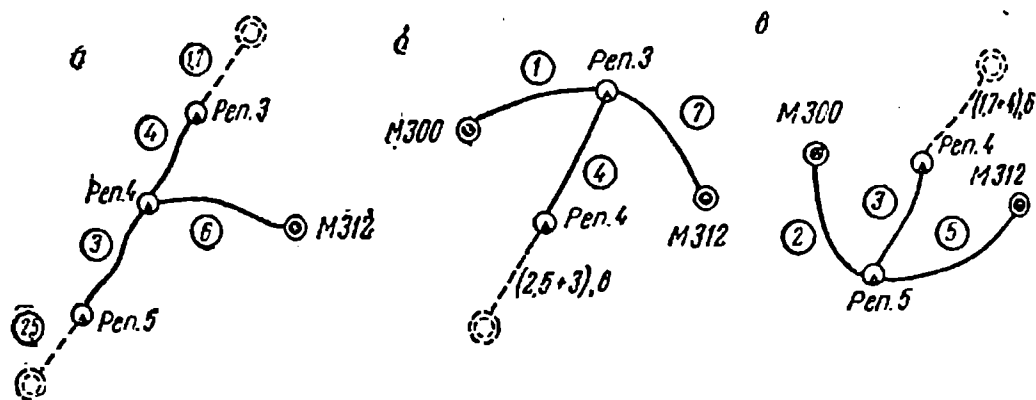


Рис. 27. Способ эквивалентной замены

Ходы 1 и 7 заменяют одним эквивалентным с весом, равным сумме весов по ходам 1 и 7. Вычисление весов измеренных превышений (или вычисленных по ним высот) выполняют по формуле (II.19). Для решения данной задачи C удобно принять равным 10 (см. указания к примеру 2).

Высоту реп. 3 получают как среднее весовое из отметок по ходам 1 и 7 по формуле (II.21) (см. указания к примеру 2).

Определим теперь длину эквивалентного хода, по которому можно было бы получить высоту реп. 3 с таким же значением и с таким же весом, с каким она получена как среднее весовое из отметок по ходам 1 и 7.

Длину эквивалентного хода определяют по формуле

$$L_{1, 2, \dots, i} = \frac{C}{P_{1, 2, \dots, i}}, \quad (\text{II.33})$$

где

$$P_{1, 2, \dots, i} = P_1 + P_2 + \dots + P_i \quad (\text{II.34})$$

— есть вес превышения по эквивалентному ходу (или отметки, вычисленной по эквивалентному ходу);

$P_1, P_2, \dots, P_i$ — соответственно веса превышений по ходам, составляющим эквивалентный ход.

Таблица 20

Ведомость вычисления весов узловых точек
(способ эквивалентной замены)

№ хода	L_i , км	$P_i = \frac{10}{L_i}$	№ хода	L_i , км	$P_i = \frac{10}{L_i}$
2 5	7,9 8,1	+1,26 1,24	1 7	5,8 14,3	1,72 0,70
2,5 3	4,00 10,1	2,50 0,99	1,7 4	4,13 9,0	2,42 1,11
2,5 + 3 6	14,10 12,1	0,71 0,83	1,7 + 4 6	13,13 12,1	0,76 0,83
(2,5 + 3), 6 4	6,50 9,0	1,54 1,11	(1,7 + 4), 6 3	6,30 10,1	1,59 0,99
(2,5 + 3), 6 + 4 1 7	15,50 5,8 14,3	0,64 1,72 0,70	(1,7 + 4), 6 + 3 2 5	16,40 7,9 8,1	0,61 1,26 1,24
$P_{H_1} = 3,06$			$P_{H_2} = 3,11$		

Вычисляла В. А. Белякова

По формуле (II.33), с учетом формулы для веса, получим

$$L_{1,7} = \frac{10}{P_{1,7}} = \frac{10}{2,42} = 4,13 \text{ км.}$$

Все числа, относящиеся к эквивалентному ходу 1,7, записывают в соответствующие графы по строке 1,7. Ниже строкой выписывают длину, превышение и вес его по ходу 4.

Далее переходят к реп. 5. Его высоту получают по эквивалентному ходу 2,5 с весом 2,50 и длине 4,00 км. Все числа, относящиеся к эквивалентному ходу 2,5, записывают в соответствующие графы по строке 2,5. Ниже строкой выписывают длину, превышение и вес его по ходу 3.

Вычисленные высоты реп 3 и реп. 5 являются только предварительными, так как при вычислении их участвовали только по два хода из семи.

После этого вычисляют высоту реп. 4 как среднее весовое из отметок, полученных по ходам (1,7 + 4); (2,5 + 3) и 6. Для полу-

чения высоты реп. 4 по сложному ходу (1,7 + 4) необходимо к предварительной высоте реп. 3 прибавить превышение по ходу 4

$$H'_4 = H'_3 + h_4 = 190,100_1 + 0,771 = 190,871_1 \text{ м.}$$

Длина сложного хода (1,7 + 4) равна сумме ходов, его составляющих

$$L_{1,7+4} = L_{1,7} + L_4$$

а вес этого хода равен

$$P_{1,7+4} = \frac{10}{L_{1,7+4}}.$$

Аналогично получим высоту реп. 4 по сложному ходу (2,5 + 3)

$$H'_4 = H'_5 + h_3; \quad L_{2,5+3} = L_{2,5} + L_3; \quad P_{2,5+3} = \frac{10}{L_{2,5+3}}.$$

Значение высоты реп. 4, равное 190,859₈, будет окончательным и наиболее надежным, так как в его образовании участвовали все семь ходов.

Далее определяют наиболее надежные значения реп. 3 и реп. 5. Для этого сначала по формуле

$$v_i = H_i - H'_i \quad (\text{II.35})$$

вычисляют поправки по ходам (1,7 + 4), (2,5 + 3) и 6, а затем поправки на сложные ходы распределяют пропорционально длинам ходов, их составляющих.

Так, поправки по сложному ходу (1,7 + 4) и ходам 1,7 и 4 равны

$$v_{1,7+4} = 190,859_8 \text{ м} - 190,871_1 \text{ м} = -11,3 \text{ мм};$$

$$v_{1,7} = \frac{v_{1,7+4} \cdot L_{1,7}}{L_{1,7+4}} = \frac{-11,3 \cdot 4,13}{13,13} = -3,6 \text{ мм};$$

$$v_4 = \frac{v_{1,7+4} \cdot L_4}{L_{1,7+4}} = \frac{-11,3 \cdot 9,0}{13,13} = -7,7 \text{ мм}.$$

Контролем вычислений будет являться равенство

$$v_{1,7+4} = v_{1,7} + v_4.$$

Значение поправок записывают в графу 10 (табл. 19).

Наиболее надежное значение высоты реп. 3 получим, прибавив к предварительной его высоте поправку на ход 1,7, т. е.

$$H_3 = 190,100_1 \text{ м} + (-3,6 \text{ мм}) = 190,096_6 \text{ м}.$$

Это значение записывают в графу 9.

Поправки по ходам 1 и 7 можно получить, вычитая высоты реп. 3, полученные по этим ходам, из наиболее надежного значения отметки реп. 3. Например,

$$v_1 = 190,096_6 \text{ м} - 190,103 \text{ м} = -6,5 \text{ мм}.$$

Аналогично вычисляют поправки $v_{2,5}$ и v_3 , наиболее надежное значение реп. 5 и поправки по ходам 2 и 5.

Заключительный контроль уравнивания сети удобнее всего провести суммированием поправок по ранее замеченным полигонам (см. указания к примеру 2). Вычисленные значения записывают в последнюю графу табл. 18.

в) Оценка точности полевых измерений. Качество полевых измерений оценивают по формулам (II.27), (II.28) и (II.29) (см. указания к примеру 2).

Произведения $p_i v_i^2$ подсчитывают в графе 11 (см. табл. 19) только для действительных ходов.

г) Оценка точности уравненных значений отметок. Для определения средних квадратических погрешностей уравненных значений высот всех узловых реперов по формуле (II.30) вычисляют сначала веса отметок по формуле (II.31).

Вес реп. 4 уже получен непосредственно в ведомости уравнивания (см. табл. 19, графа 7), он равен 2,30. Веса отметок реп. 3 и реп. 5 определяют на основе метода эквивалентной замены

$$P_{H_2} = p_1 + p_7 + p_{(2,5+3), 6+1};$$

$$P_{H_5} = p_2 + p_3 + p_{(1,7+4), 6+3}$$

и записывают в отдельной таблице (см. табл. 20).

Завершают оценку точности вычислением средних квадратических погрешностей самих погрешностей по формуле (II.31).

4. Уравнивание сети способом последовательных приближений. Пример 4. Произвести уравнивание способом последовательных приближений нивелирной сети, изображенной на рис. 26.

Решение примера приводится в табл. 21. Рассмотрим последовательность уравнений.

а) Оценка качества нивелирования выполняется тем же способом, что в примере 3.

в) Вычисление наиболее надежного значения отметок узловых реперов и уравнивание превышений. Уравненные значения высот узловых реперов получают путем последовательных приближений. Для этого значение высоты каждой узловой точки в любом приближении (исключение может составлять первое приближение) вычисляется как среднее весовое из значений отметок, получаемых по всем ходам, непосредственно примыкающим к узловой точке. При этом вычислении высоты всех соседних точек независимо от того, будут ли они исходными или узловыми, рассматриваются как безошибочные.

Сеть, изображенная на рис. 26, имеет три узловые точки. Первую — реп. 3 с примыкающими к нему ходами 1, 4 и 7, вторую — реп. 4 с примыкающими к нему ходами 3, 4 и 6 и третью — реп. 5 с ходами 2, 3 и 5.

В ведомость для уравнивания в графы 1—6 (см. табл. 21) выписывают со схемы сети необходимые данные для каждой узло-

Ведомость уравнивания превышений и выш
(способ последова

№ узлового репера	№ хода	№ исходной марки и репера	Высота исходной марки H , м	Измеренные превышения h_i , м	Длина хода L_i , км	Вес		I		II
						$\frac{10}{p_i} = \frac{1}{L_i}$	$\frac{p_i}{ p_i }$	H , м	$e_i p_i'$	H , м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	1	300	192,178	-2,075	5,8	1,72	0,49	190,103	+17,2	190,103
	4	4		-0,771	9,0	1,11	0,31			190,094 ₉
	7	312	183,353	+6,740	14,3	0,70	0,20	190,093	0	190,093
4						3,53	1,00	190,100 ₁	+17,2	190,098 ₆
	3	5		+4,273	10,1	0,99	0,34			190,853 ₄
	4	3		+0,771	9,0	1,11	0,38	190,871 ₁	+13,4	190,869 ₅
	6	312	183,353	+7,506	12,1	0,83	0,28	190,859	0	190,859
5						2,93	1,00	190,865 ₉	+13,4	190,861 ₁
	2	300	192,178	-5,601	7,9	1,26	0,37	186,577	+1,1	186,577
	3	4		-4,273	10,1	0,99	0,28	186,592 ₉	+5,3	186,588 ₁
	5	312	183,353	+3,221	8,1	1,24	0,35	186,574	0	186,574
						3,49	1,00	186,580 ₄	+6,4	186,579 ₀

Контроль поправок

Реп. 3 $0,1 < 0,2$

Реп. 5 $0,1 < 0,2$

$$\mu_{10} = \sqrt{\frac{242,6}{4}} = 7,8 \text{ мм};$$

$$m_{\mu_{10}} = \frac{7,8}{\sqrt{8}} = 2,7 \text{ мм};$$

$$m_{KM} = \frac{7,8}{\sqrt{10}} = 2,5 \text{ мм};$$

$$M_{H_3} = \frac{7,8}{\sqrt{3,11}} = 4,4 \text{ мм}; \quad M_{H_4} = \frac{7,8}{\sqrt{2,30}} = 5,1 \text{ мм}; \quad M_{H_5} = \frac{7,8}{\sqrt{3,13}} = 4,4 \text{ мм}.$$

сложения высот узловых реперов нивелирной сети
тельных приближений)

Приближения							Поправка v_i , мм	$p_i v_i$	$p_i v_i^2$
III			IV		V				
$e_i p_i'$	$H, м$	$e_i p_i'$	$H, м$	$e_i p_i'$	$H, м$	$e_i p_i'$			
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
+4,9 +0,6 0	190,103 190,090 ₁ 190,093	+6,3 0 +0,6	190,103 190,089 ₁ 190,093	+6,8 0 +0,8	190,103 190,088 ₈ 190,093	+6,9 0 +0,8	-6,5 +7,7 +3,5	-11,2 +8,6 +2,5	72,9 66,0 8,7
+5,5 0 +6,1 +1,6	190,097 ₀ 190,852 ₀ 190,868 ₀ 190,859	+6,9 0 +6,1 +2,0	190,096 ₅ 190,851 ₈ 190,867 ₅ 190,859	+7,4 0 +6,0 +2,0	190,096 ₅	+7,7	+8,0 -7,7 +0,8	-0,1 +7,9 -8,6 +0,7	63,4 — 0,6
+7,7 +1,1 +3,9 0	190,860 ₁ 186,577 186,587 ₁ 186,574	+8,1 +1,1 +3,7 0	190,859 ₈ 186,577 186,586 ₈ 186,574	+8,0 +1,1 +3,6 0			+1,7 -8,1 +4,7	0 +2,1 -8,0 +5,8	3,6 — 27,4
+5,0	186,578 ₈	+4,8	186,578 ₇	+4,7				-0,1	242,6

Вычисление весов отметок узловых реперов

$$P_{H_3} = 3,53 - \frac{1,11^2}{2,93} = 3,11;$$

$$P_{H_4} = 2,93 - \frac{1,11^2}{3,53} - \frac{0,99^2}{3,49} = 2,30;$$

$$P_{H_5} = 3,49 - \frac{0,99^2}{2,93} = 3,13.$$

Вычисляла В. А. Белякова

пой точки, обращая особое внимание при этом на знаки выписываемого превышения.

В графе 7 по формуле (II.19) вычисляют веса измеренных превышений и подсчитывают сумму весов для каждой узловой точки. За единицу веса в задаче принят ход длиной в 10 км (см. указания к примеру 2).

Для сокращения вычислений в формуле (II.21) до проведения процесса приближений вычисляют по каждой узловой точке весовые

$$\frac{P_i}{[P]} = p'_i \quad (\text{II.36})$$

которые называют приведенными весами. Контролем вычислений служит равенство

$$[p'] = 1. \quad (\text{II.37})$$

С учетом формул (II.36) и (II.37) формула (II.31) примет вид

$$H = H_0 + [ep']. \quad (\text{II.38})$$

В графе 9 вычисляют первое приближение высот узловых реперов в той последовательности, в которой они записаны в графе 1 ведомости уравнивания. Эти высоты могут быть получены различными путями: или по одному из ходов, или как среднее весовое из отметок по нескольким ходам.

В последнем случае вычисления ведут или по формуле (II.21), если использованы не все ходы, примыкающие к узловой точке, или по формуле (II.38), если использованы все ходы, примыкающие к узловой точке. Значение высот записывают в графу 9 под чертой.

В примере высота реп. 3 в первом приближении получена по формуле (II.22) как среднее весовое из отметок, вычисленных по двум ходам 1 и 7.

Высоту реп. 4 вычисляют по формуле (II.21) как среднее весовое из отметок, полученных по ходам 4 и 6, при этом за исходную принимают высоту реп. 3, полученную в первом приближении и равную 190,100, м.

Высоту реп. 5 вычисляют по формуле (II.38) как среднее весовое из отметок, вычисленных по трем ходам 2, 3 и 5. Исходная высота реп. 4 по третьему ходу будет равна 190,865, м.

Заключив первое приближение, переходят ко второму, проводя вычисление отметок в той же последовательности: сначала реп. 3, затем реп. 4 и реп. 5. За исходные при каждом последующем вычислении принимают высоты точек, полученные в предыдущем приближении. Например, для вычисления высоты реп. 3 по ходу 4 за исходную принимают первое приближение высоты реп. 4, равное 190,865, а для вычисления высоты реп. 5 по ходу 3 — высоту реп. 4 (190,861, м), вычисленную во втором приближении.

Далее переходят к вычислению последующих приближений. Заканчивают вычисления тогда, когда значения двух последних приближений высот будут отличаться друг от друга в пределах точности вычислений (на 1—3 единицы последнего знака).

В нашем примере пятое приближение высоты реп. 3 и четвертое приближение реп. 4 и реп. 5 будут окончательными уравненными значениями отметок.

Вычитая из уравненной высоты ее значения, полученные по каждому ходу, вычисляют поправки v_i , которые записывают в графу 19. Вычисление поправок контролируют по формулам (II.23) и (II.24) или (II.25) (см. указания к примеру 2).

в) Оценка точности полевых измерений. Выполняется так же, как в примере 3.

г) Оценка точности уравненных значений. В этом методе оценка точности затруднена. Веса отметок реперов для формулы (II.30) можно найти или методом эквивалентной замены (для сети с небольшим числом узловых точек), или методом приближений, предложенным В. П. Козловым, по следующим формулам.

Из первого приближения

$$P'_{H_i} = [p]_i - \frac{p_{i,a}^2}{[p]_a} - \frac{p_{i,b}^2}{[p]_b} - \dots - \frac{p_{i,k}^2}{[p]_k}, \quad (\text{II.39})$$

где $[p]_i$ — сумма весов превышений ходов, сходящихся в узловой точке i ;

$p_{i,a}, p_{i,b}, \dots, p_{i,k}$ — веса измеренных превышений отдельных ходов, являющихся связующими между узловой точкой i и соседними узловыми точками $a, b, \dots, k$ (за исключением марок и реперов исходных пунктов);

$[p]_a, [p]_b, \dots, [p]_k$ — суммы весов измеренных превышений по ходам, сходящимся в узловых точках $a, b, \dots, k$, с которыми узловая точка i имеет связующие ходы.

Из второго приближения

$$P''_{H_i} = [p]_i - \frac{p_{i,a}^2}{P'_{H_a}} - \frac{p_{i,b}^2}{P'_{H_b}} - \dots - \frac{p_{i,k}^2}{P'_{H_k}}, \quad (\text{II.40})$$

где $P'_{H_a}, P'_{H_b}, \dots, P'_{H_k}$ — веса отметок узловых точек $a, b, \dots, k$, с которыми узловая точка i имеет связующие ходы, вычисленные в первом приближении по формуле (II.39).

Так для сети, изображенной на рис. 26, вес отметки реп. 4, вычисленный по формуле (II.39), будет равен

$$P'_{H_4} = [p_4] - \frac{p_{4,3}^2}{[p]_3} - \frac{p_{4,5}^2}{[p]_5} = 2,93 - \frac{1,11^2}{3,53} - \frac{0,99^2}{3,49} = 2,30.$$

Получили значение веса, равное тому, которое было пайдено для этой же точки строгим методом — методом эквивалентной замены (см. пример 3). Практически то же самое получилось и для веса отметок реп. 3 и реп. 5.

Для сетей со значительным числом узловых точек вычисления весов узловых отметок производят, делая два приближения по формулам (II.39) и (II.40). Веса отметок узловых реперов, вычисленные по этим формулам и по строгим формулам метода наименьших квадратов, могут расходиться в пределах 15—20%.

Средние квадратические погрешности высот узловых реперов вычисляют по формуле (II.30). Последние будут получены с погрешностью, в два раза меньшей, т. е. с 7,5—10%.

5. Уравнивание сети способом полигонов В. В. Попова непосредственно на чертеже сети. П р и м е р 5. Произвести уравнивание нивелирной сети, изображенной на рис. 26, способом полигонов В. В. Попова непосредственно на чертеже сети.

Способ полигонов, предложенный В. В. Поповым, сводится к последовательному распределению невязок в намеченных полигонах пропорционально обратным весам отдельных ходов, входящих в полигон. Это распределение производится способом последовательных приближений. Распределив невязку в одном из полигонов, переходят в соседние, невязки в которых исправляют на величину поправок, приходящихся на общие полигонам ходы. Выполнив вычисления во всех полигонах в первом приближении, переходят к следующим приближениям. Закачивают распределение невязок в полигонах тогда, когда они становятся равными нулю.

Применение способа В. В. Попова требует расположения вычислений по определенной схеме, предложенной самим автором.

Рассмотрим последовательность уравнивания этим способом.

а) О ц е н к а к а ч е с т в а н и в е л и р о в а н и я. Оценка производится сравнением вычисленных невязок в превышениях по полигонам с допустимыми значениями (см. пример 3).

Для уравнивания сети по способу В. В. Попова необходимо наметить независимые полигоны. Целесообразно и сравнение невязок произвести по этим полигонам.

Число независимых полигонов подсчитывают по формуле

$$r = n - k, \quad (\text{II.41})$$

где n — число всех измерений;

k — число необходимых измерений (число неизвестных);

$n - k$ — число избыточных измерений,

или по формуле

$$r = N + T - 1, \quad (\text{II.42})$$

где N — число сомкнутых полигонов;

T — число твердых марок.

Для сети на рис. 26

$$r = 7 - 3 = 4 \quad \text{или} \quad r = 3 + 2 - 1 = 4.$$

Далее намечают независимые полигоны и составляют схематический чертеж сети полигонов (рис. 28), на котором указывают номера полигонов, марок и узловых реперов, номера ходов, длины ходов (в км) или число станций и превышения. Вначале нумеруют сомкнутые, а затем разомкнутые полигоны; последнюю при этом как бы «до-страивают» до замкнутых полигонов. Разомкнутые полигоны выбирают так, чтобы каждый полигон по возможности содержал меньшее число ходов (для уменьшения в последующем вычислительной работы). Для сети, изображенной на рис. 28, полигон IV выбран от М 312 до М 300 с ходами 7 и 1.

По намеченным полигонам подсчитывают невязки в сумме превышений. Направление обхода полигона выбирают как по ходу часовой стрелки, так и против хода часовой стрелки,

по оно должно быть одинаковым для всех полигонов (это важно для дальнейших вычислений). Невязки, длины полигонов (в км) и предельные невязки выписывают на чертеже сети внутри каждого полигона. Убедившись, что невязки по всем полигонам допустимы, переходят к уравниванию превышений.

б) Уравнивание превышений и вычисление наиболее надежного значения высот узловых реперов. Для уравнивания превышений составляют схему уравнивания по способу В. В. Попова (рис. 29).

На этой схеме внутри каждого полигона под его номером вычерчивают табличку невязок, а с внешней стороны полигона около каждого звена (хода) — табличку поправок. Ходы, принадлежащие двум смежным полигонам, будут иметь две таблички поправок. В таблички невязок выписывают соответствующие значения невязок.

В каждом полигоне невязку распределяют прямо пропорционально длинам ходов (или обратным весам), применяя формулу

$$t_i = \frac{f_h}{[L]} L_i. \quad (\text{II.43})$$

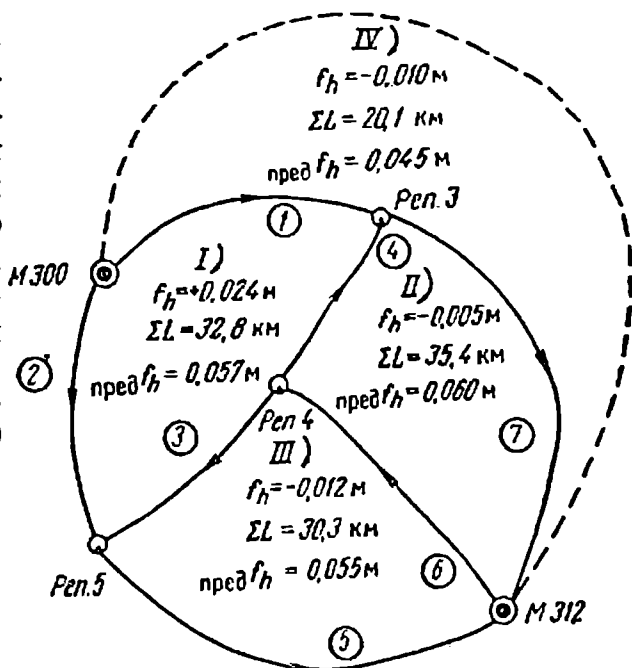


Рис. 28. Схематический чертеж полигонов

Для сокращения вычислений в формуле (II.43) величины $\frac{E_i}{[L]}$ получают для всех ходов и записывают красными чернилами над соответствующими табличками поправок (с внешней стороны полигона). Эти величины называют «красными числами», контролем вычисления которых является равенство их суммы единице по каждому полигону. Так, для полигона I, состоящего из

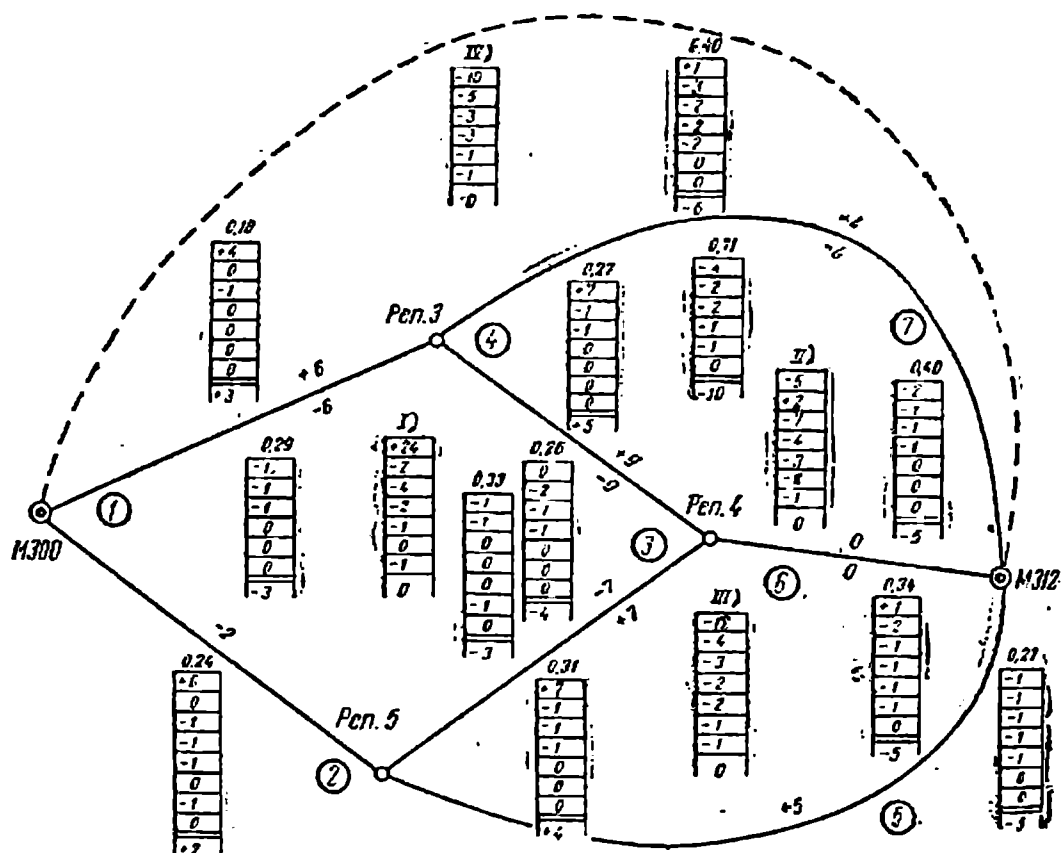


Рис. 29. Схема уравнивания превышений по способу В. В. Попова

ходов 1, 2, 3 и 4, красные числа соответственно будут 0,18, 0,24, 0,31, 0,27. Сумма их равна единице.

Начиная распределение невязок можно с любого полигона. Начнем с полигона I, имеющего наибольшую по абсолютной величине невязку и наибольшее число общих ходов с другими полигонами. Невязку этого полигона, равную +24, последовательно умножают на красное число его звеньев и полученные значения (округленные до целых миллиметров) записывают в таблички поправок под соответствующими красными числами; причем знаки у полученных значений будут одинаковы со знаками невязки. В результате получим

$$+24 \cdot 0,18 = +4; \quad +24 \cdot 0,24 = +6; \quad +24 \cdot 0,31 = +7;$$

$$+24 \cdot 0,27 = +7; \quad +4 + 6 + 7 + 7 = +24.$$

После этого переходят в следующий полигон, например полигон II. Невязка его стала равной алгебраической сумме первоначальной невязки -5 и поправки $+7$, полученной на ход 4 из распределения невязки в полигоне I, т. е. новая невязка оказалась равной $+2$. Распределяют эту невязку соответственно красным числам $0,26, 0,40, 0,34$ и получают значения $0, +1, +1$.

Далее подсчитывают новые невязки для полигонов III и IV, и распределяют их пропорционально красным числам.

Завершив «первый круг», переходят снова к начальному полигону. Теперь его невязка будет складываться из поправок, полученных по отдельным звеньям при распределении невязок в смежных полигонах. Для полигона I она равна сумме поправок -1 (из полигона IV на ход 1), 0 (из полигона II на ход 4) и -1 (из полигона III на ход 3), т. е. -2 . Ее распределяют по красным числам полигона и полученные поправки записывают в соответствующие таблички.

Далее переходят к следующим полигонам, производя аналогичные действия до тех пор, пока невязки всех полигонов будут равны нулю. Затем подсчитывают алгебраическую сумму поправок по каждой табличке и подписывают ее под двойной чертой.

Поправки в суммах превышений по каждому ходу вычисляют по следующему правилу: поправка в сумме превышений хода, принадлежащего двум смежным полигонам, получается как алгебраическая сумма чисел внутренней и внешней табличек, причем сумма поправок внешней таблички берется с обратным знаком. Поправка в суммы превышений хода, принадлежащего только одному полигону, равна сумме чисел внешней таблички с обратным знаком. Для превышения по ходу 1 поправка будет равна: по полигону I (для превышения $-2,075$) $-3 + (-3) = -6$; по полигону IV (для превышения $+2,075$) $+3 + (+3) = +6$. По ходу 2 поправка будет равна -2 мм для превышения $+5,601$ м.

Контролем правильности вычисления и записи поправок по каждому полигону служит равенство (II.25).

Далее по исправленным превышениям вычисляют высоты узловых реперов (см. табл. 8).

При этом поправки в превышения выписывают по правилу: если направление хода при вычислении высот совпадает с направлением полигона, в который входит ход, поправка выписывается с тем знаком, с которым получена из уравнивания, если направление хода при вычислении отметки не совпадает с направлением полигона, в который входит ход, поправка выписывается с обратным знаком.

Например, при вычислении отметки реп. 3 направление хода 1 берется от марки 300 к реп. 3, т. е. совпадает с направлением I полигона, в который входит этот ход, поэтому поправка выписывается со знаком минус (-6); направление хода 7 от марки 312 к реп. 3 совпадает с направлением IV полигона и поправка будет равна $+4$ и т. д.

Ведомость вычисления уравненных значений превышений и высот узловых реперов

№ репера	№ хода	№ исходных точек	Высоты исходных точек	Превышения h , м	Поправки v_i , мм	Исправленные превышения h , м	Высоты H_i , м	Длина ходов L_i , км	$\frac{10}{p_i} = \frac{10}{L_i}$	$p_i v_i^2$
3	1	300	192,178	-2,075	-6	-2,081	190,097	5,8	1,72	57,4
	7	312	183,353	+6,740	+4	+6,744	190,097	14,3	0,70	11,2
4	4	3	190,097	+0,771	+9	+0,780	190,857	9,0	1,11	90,0
	6	312	183,353	+7,506	0	+7,506	190,859	12,1	0,83	0
5	2	300	192,178	-5,601	+2	-5,599	186,579	7,9	1,26	5,0
	3	4	190,858	-4,273	-7	-4,280	186,578	10,1	0,99	48,0
	5	312	183,353	+3,221	+5	+3,226	186,579	8,1	1,24	31,0
										242,6

$$\mu_{10} = \sqrt{\frac{242,6}{4}} = 7,8 \text{ мм};$$

$$m_{\mu_{10}} = \frac{7,8}{\sqrt{8}} = 2,7 \text{ мм};$$

$$m_{\text{км}} = \frac{7,8}{\sqrt{10}} = 2,5 \text{ мм},$$

Вычисляла В. А. Белякова

в) Оценка точности полевых измерений. Выполняется так же, как в примере 3.

г) Оценка точности уравненных значений высот (в табл. 22 не приводится). Выполняется так же, как в примере 3.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Уравнивание нивелирного хода и сетей различными способами выполняет каждый студент.

Глава III

ПОЛИГОНОМЕТРИЯ

Полигонометрия представляет собой один из методов создания государственной геодезической сети СССР и геодезических сетей сгущения. Она предназначена для обеспечения плановой геодезической основой топографических съемок и для решения научных и инженерно-технических задач, необходимых для удовлетворения требований народного хозяйства и обороны страны.

Определение положения опорных геодезических пунктов путем полигонометрии сводится к прокладыванию на местности ходов, в которых производят измерение всех углов и всех длин линий. При обеспечении геодезическими пунктами значительных площадей прокладывают полигонометрические сети, состоящие из полигонометрических ходов и замкнутых полигонов.

Государственная геодезическая плановая сеть, создаваемая методом полигонометрии, подразделяется на четыре класса, различающихся между собой точностью измерения углов и расстояний, длиной линий и порядком последовательного развития.

Полигонометрия 1 класса прокладывается в виде полигонов, образуемых ходами, располагаемыми примерно по меридианам и параллелям. Полигонометрия 2 класса строится внутри полигонов триангуляции или полигонометрии 1 класса в виде системы пересекающихся ходов. При построении сетей 3 и 4 классов методом полигонометрии определение пунктов соответствующего класса производится проложением или систем или одиночных ходов, опирающихся на пункты высшего класса. Построение полигонометрии 1, 2, 3 и 4 классов производится в соответствии с требованиями, изложенными в инструкции [10].

В целях дальнейшего увеличения плотности плановой геодезической сети при топографических съемках крупных масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500, а также обеспечения плановым обоснованием различных инженерных сооружений прокладываются геодезические сети сгущения, к которым относится полигонометрия 1 и 2 разрядов.

В курсе геодезии изучается полигонометрия 4 класса и 1 и 2 разрядов, развиваемая на объектах крупномасштабных съемок по специальным требованиям, изложенным в инструкции [14].

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ В ПОЛИГОНОМЕТРИИ

I. Задача: ознакомиться с устройством приборов для измерения углов, произвести их исследования и проверки, измерить и вычислить углы.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. II, М., Геодезиздат, 1962, глава XI.

Захаров А. И. Новые теодолиты и оптические дальпомеры. М., «Недра», 1970, § 47—52.

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500, М., «Недра», 1973, с. 17—18.

III. Приборы и пособия: точный оптический теодолит со штативом, 2 визирные марки, 2 оптических центрира, 2 штатива с подставками, зонт топографический, журнал для записи исследований и проверок и измерения углов, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) ознакомление с устройством точных оптических теодолитов;
- 2) производство исследований и проверок точных теодолитов;
- 3) ознакомление с устройством визирной марки и оптического центрира;

- 4) производство проверок визирной марки и оптического центрира;

- 5) измерение углов;

- 6) измерение углов по трехштативной системе.

Согласно Инструкции [14], основными приборами, которыми измеряют углы при проложении полигонометрических ходов и сетей, являются точные оптические теодолиты, обозначаемые по ГОСТ 10529—70 Т2 и Т5. С 1976 г. проводится унификация теодолитов, согласно которой взамен теодолитов Т2 выпускаются — 2Т2 и взамен теодолитов Т5 — 2Т5 и 2Т5к. Теодолиты Т2, 2Т2 применяются в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов, теодолиты Т5, 2Т5 и 2Т5к — в полигонометрии 1 и 2 разрядов.

При отсутствии их могут быть использованы равноточные им приборы: в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов отечественные теодолиты прежних выпусков ТБ1, ОТС и зарубежные Theo-010 (ГДР, Народное предприятие «Карл Цейсс Йена»), TE-B1 (ВНР, завод MOM). В полигонометрии 4 класса разрешается также применять высокоточные оптические теодолиты OT-02 и T1.

Остановимся на изучении только теодолитов Т2 и 2Т2, так как теодолиты Т5 и 2Т5 изучаются студентами на первом курсе. С другими упомянутыми выше приборами студенты могут познакомиться в порядке работы по индивидуальному плану, при выполнении научно-исследовательской работы в кружке и на учебной практике.

1. Ознакомление с устройством теодолитов Т2 и 2Т2. Точные оптические теодолиты Т2 и 2Т2 имеют неповторительную систему

осей с поворотным горизонтальным лимбом, оптическим микрометром с подвижными клиньями, контактным уровнем при вертикальном круге и оптическим центриром, расположенным в алидадной части.

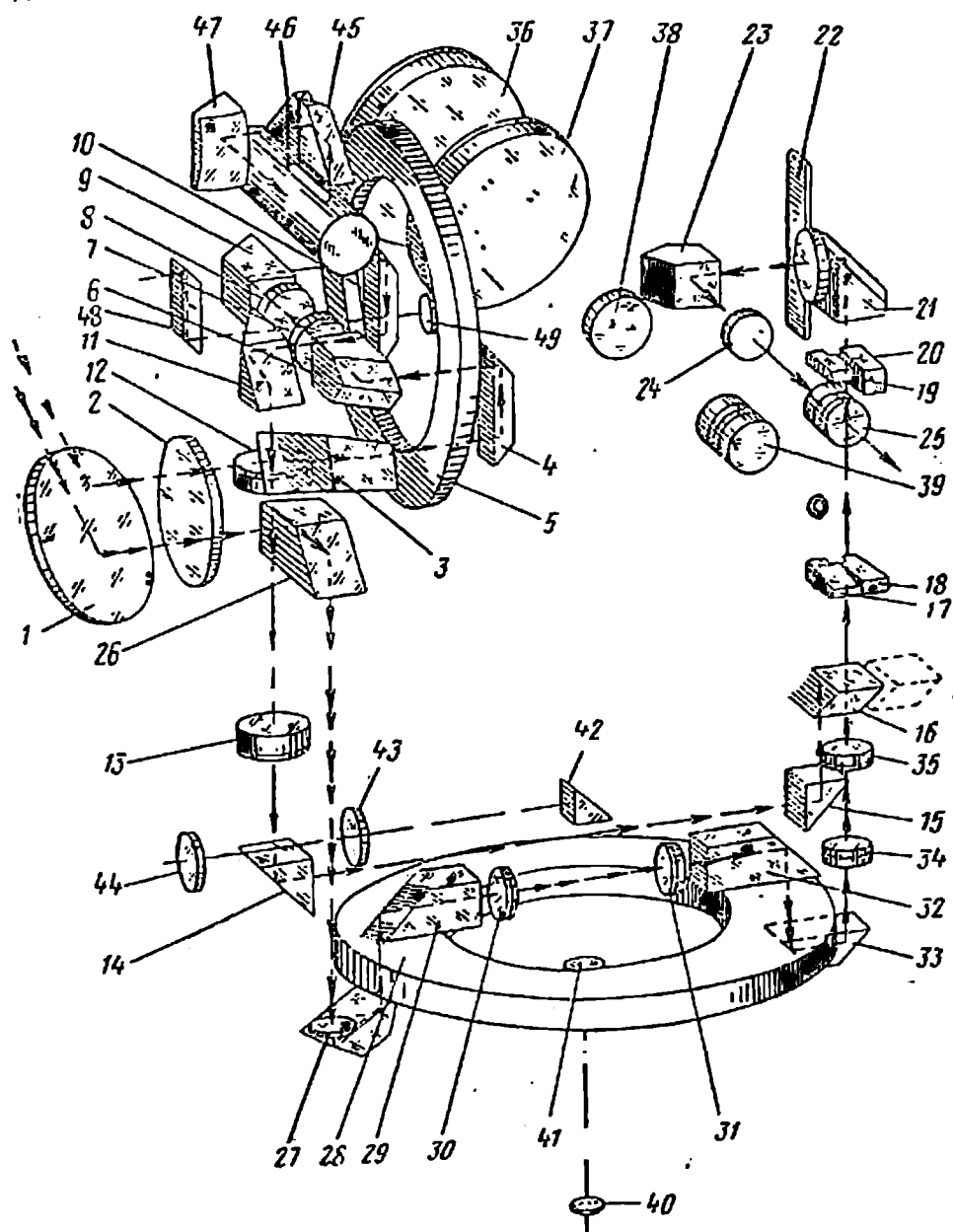


Рис. 30. Оптическая схема теодолита Т2

Оптическая схема теодолита Т2 представлена на рис. 30. Теодолит Т2 имеет двухканальную схему с двухсторонним снятием отсчетов: оптические каналы отсчетной системы вертикального и горизонтального кругов.

Оптический канал отсчетной системы вертикального круга имеет угломерный стеклянный круг, который освещается через

пллюминатор 2 с помощью поворотного зеркала 1. Световой пучок, проходящий через призмы 3 и 4, попадает на участок вертикального круга 5, по которому производится отсчет. Изображение штрихов вертикального круга с помощью оптического мостика, состоящего из призмы с крышей 6, линз 7, 8 и призмы 9, проецируется в плоскость штрихов второй стороны вертикального круга, после чего изображение штрихов обеих сторон круга с помощью призм 10 и 11 линз 12 и 13, призм 14, 15, 16 направляется в систему оптического микрометра (клинья 17, 18, 19 и 20) и проецируется на разделительную границу блока 21 призм. Перемещение передвигаемых оптических клиньев 19 и 20 оптического микрометра регистрируется его шкалой 22.

Изображение штрихов кругов и шкалы с помощью пентапризмы 23 и объектива 24 микроскопа передается в фокальную плоскость окуляра 25.

Оптический канал отсчетной системы горизонтального круга начинается с того, что световой пучок из пллюминатора 2 призмой 26 направляется вниз на призму 27 с коллективной линзой, которая освещает снизу штрихи горизонтального круга 28. Изображение этих штрихов с помощью призм 29, 32 и линз 30 и 31 передается на диаметрально противоположную сторону круга.

Изображение штрихов диаметрально противоположных сторон круга с помощью призмы 33 и линз 34 и 35 объектива проецируется через систему клиньев оптического микрометра в плоскость, проходящую через разделительную границу блока 21.

При снятии отсчетов по горизонтальному кругу призма 16 отводится в сторону (показано пунктиром), освобождая путь для лучей, идущих от горизонтального круга. В этом случае в поле зрения микроскопа будут видны штрихи горизонтального круга. Шкала 22 оптического микрометра освещается пучком лучей, идущих от вертикального или горизонтального круга, через прямоугольные вырезы в клиньях микрометра. Малая прямоугольная призма, приклеенная к боковой поверхности основной призмы блока 21, изменяет ход лучей, направляя их на участок шкалы 22.

Четырехлинзовый объектив, состоящий из двух склеенных пар линз 36 и 37, однопочная фокусирующая линза 38 и пятилинзовый окуляр 39 являются оптическими компонентами зрительной трубы. Призмы 48 и линза 49 направляют световые лучи от фонаря (во время почных работ) на сетку нитей зрительной трубы, когда она не видна.

Призма-лупа 47 и призмы 45 и 46 относятся к оптической системе контактного уровня при алидаде вертикального круга.

Оптическая схема оптического центрира состоит из защитного стекла 40, объектива 41, призмы 42, сетки нитей 43 и окуляра 44.

Внешний вид теодолита Т2 представлен на рис. 31. Теодолит установлен на подставке 2 (рис. 31, а), которая прикрепляется к штативу с помощью металлической пластины 1 и станого

винта. Теодолит входит во втулку подставки цапфой и закрепляется винтом 3. Ось алидады полая, в ней расположен объектив оптического центрира, окуляр 11 которого выведен на колонку. Окуляр устанавливается по глазу, до резкой видимости сетки нитей, вращением оправы. Сетка нитей представляет собой две концентрические окружности, в центр которых и вводится изображение точки, над которой центрируется теодолит. Фокусируется

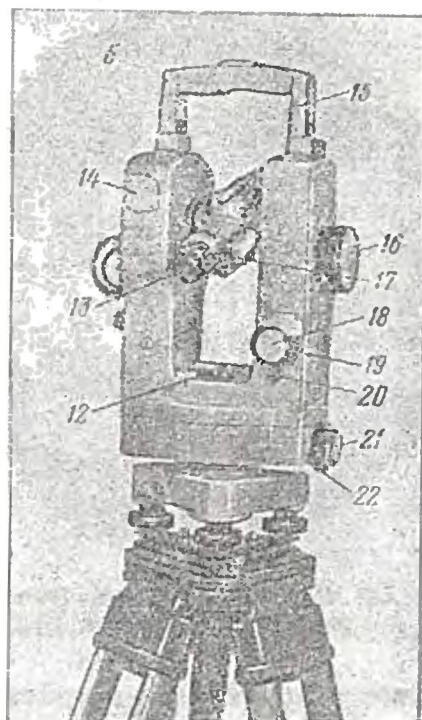
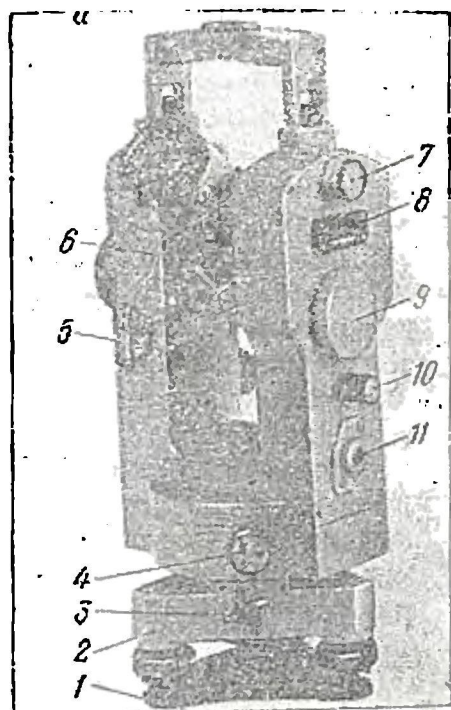


Рис. 31. Внешний вид теодолита Т2

оптический центрир перемещением всего окулярного колена вдоль оптической оси.

Система вертикальных осей теодолита цилиндрическая переставляемая с перестановкой лимба при помощи рукоятки 4. Для того чтобы повернуть горизонтальный круг на необходимый угол, сначала следует нажать на рукоятку вдоль оси, а затем вращать ее до появления нужного деления.

Закрепительные винты 22 алидады (рис. 31, б) и винты 19 зрительной трубы соосны с их наводящими винтами 21 и 18. На корпусе алидады горизонтального круга имеется цилиндрический уровень 12, юстировочный винт 20 которого выведен на колонку. К теодолиту Т2 прилагается накладной уровень, устанавливаемый на колонке.

Ручка 15 служит для установки на ней визирной рейки и закрепления ориентир-буссоли, а также переноски теодолита.

Зрительная труба снабжена двумя коллиматорными визирами 6 (рис. 31, а), с помощью которых производится грубое наведение трубы на предмет. В поле зрения коллиматорного визира видно светлое перекрестие нитей, которое и совмещается с наблюдаемым предметом.

Контактный уровень алидады вертикального круга 8 расположен в колонке и его пузырек рассматривают через призму 7. Пузырек этого уровня приводится на середину установочным

винтом уровня 10. Юстировочные винты уровня находятся в колонке за крышкой 14 (рис. 31, б).

Теодолит Т2 имеет горизонтальный и вертикальный стеклянные круги с размером диаметров соответственно 90 и 65 мм с делениями от 0 до 360° через 20'. Каждый градус подписан. Штрихи горизонтального круга — двойные (бифилярные), вертикального — одинарные.

Отсчитывание по кругам производится при помощи окуляра 17 отсчетного микроскопа, расположенного рядом с окуляром 13 зрительной трубы. Переключение

Рис. 32. Вид поля зрения отсчетного микроскопа теодолита Т2

кругов осуществляется рукояткой 5 (рис. 31, а). При наблюдении в поле зрения отсчетного микроскопа штрихов горизонтального круга фон поля зрения белый, вертикального круга фон поля зрения имеет желто-зеленый оттенок. Круги освещаются зеркалом 9.

Для повышения точности отсчитывания теодолит имеет оптический микрометр с рукояткой 16 (рис. 31, б). При вращении рукоятки пара оптических клиньев вместе со шкалой минут и секунд перемещается вдоль оптической оси, смещая оба изображения круга навстречу друг другу.

Поле зрения отсчетного микроскопа представлено на рис. 32. В поле зрения видны два окошка — большое и малое. Большое окошко разделено пополам горизонтальной линией. В верхней половине видно прямое изображение штрихов основной стороны круга, в нижней половине — перевернутое изображение противоположной стороны. В малом окошке виден горизонтальный штрих-индекс и изображение штрихов шкалы микрометра.

Величина смещения шкалы при вращении головки микрометра пропорциональна смещению изображений штрихов в правом окошке. Шкала микрометра имеет 600 делений, которые

проходят в малом окошке в то время, как в большом изображении штрихов смещаются на $1/2$ деления круга, т. е. на $10'$. Цена деления шкалы микрометра равна $\frac{10'}{600} = 1''$.

Штрихи шкалы имеют подписи: слева подписаны единицы минут, а справа десятки секунд.

Чтобы сделать отсчет по кругу, необходимо вращением рукоятки 16 (см. рис. 31, б) микрометра тщательно совместить изображения верхних и нижних штрихов в большом окошке. Отсчет числа градусов производят по верхнему изображению слева от середины или непосредственно в середине окна (на рис. 32 он равен 57°). Затем отсчитывается число десятков минут, равное числу интервалов, заключенных между отсчитанным верхним оцифрованным штрихом и нижним, отличающимся от верхнего на 180° , т. е. $50'$; при этом следует иметь в виду, что нижний оцифрованный штрих всегда будет расположен вправо от верхнего или, как частный случай, может быть совмещен с ним. Единицы минут отсчитывают в малом окошке выше неподвижного штриха по шкале, оцифрованной слева, т. е. $8'$. Десятки, единицы и доли секунд отсчитывают в малом окошке по неподвижному штриху по шкале, оцифрованной справа (см. рис. 32) $0,2, 4''$. Полный отсчет равен $57^\circ 58' 02,4''$.

Принцип отсчитывания по горизонтальному и вертикальному кругам один и тот же, но перед отсчетом по вертикальному кругу необходимо установочным винтом уровня 10 (см. рис. 31, а) совместить концы пузырька уровня на вертикальном круге.

При помощи вертикального круга определяется место зенита Mz и зенитное расстояние z соответственно по формулам

$$Mz = \frac{KЛ + КП + 360^\circ}{2};$$

$$z = Mz - КП = KЛ - Mz.$$

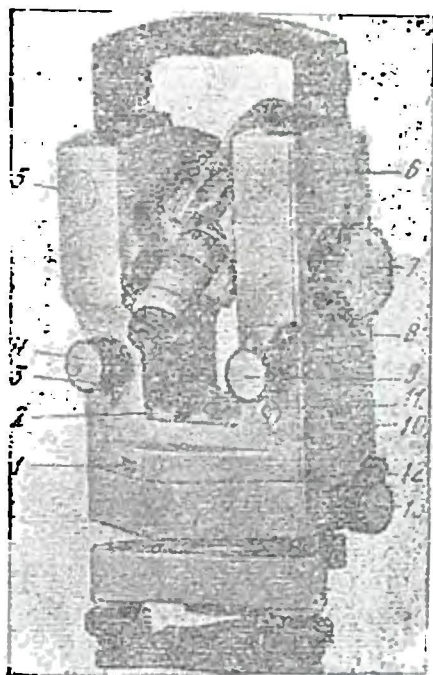
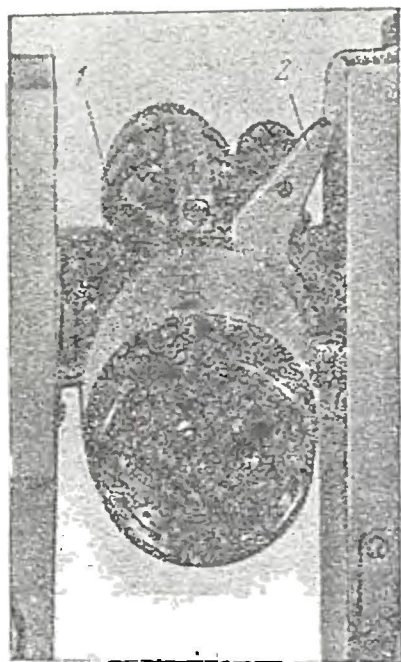


Рис. 33. Внешний вид теодолита 2Т2:

- 1 — иллюминатор круга искателя;
- 2 — цилиндрический уровень; 3 — штекерное гнездо; 4 — установочный винт уровня; 5 — пробка; 6 — боковая крышка; 7 — рукоятка микрометра; 8 — закрепительный винт трубы; 9 — плавящийся винт трубы; 10 — крышка; 11 — установочный винт уровня при алидаде горизонтального круга; 12 — закрепительный винт алидады горизонтального круга; 13 — плавящийся винт алидады горизонтального круга.

Принцип устройства оптического теодолита 2Т2 не отличается от теодолита Т2, но конструкция прибора несколько улучшена и унифицирована с конструкцией теодолита 2Т5к.

Внешний вид теодолита 2Т2 представлен на рис. 33. В теодолите закрепительный 12 и наводящий 13 винты (курки) алидады, закрепительные 8 и наводящие винты 9 трубы, установочный винт 4 уровня, рукоятка 7 оптического микрометра, а также



окуляры зрительной трубы и отсчетного микроскопа расположены так, что позволяют, не передвигаясь, выполнять измерения углов, что имеет важное значение при работе на неустойчивом грунте.

Для ускорения установки горизонтального круга на необходимое число градусов теодолит имеет круг-поскатель, отсчет по которому устанавливается по индексам, нанесенным на алидадаторе 1 (в теодолите алидадатора два, второй расположен на противоположной стороне).

Зрительная труба теодолита 2Т2 имеет между корпусом и осью вращения клиповое кольцо 1 (рис. 34), предназначенное для измерения направления визирной оси относительно ее оси вращения при устранении коллимационной ошибки.

Рис. 34. Ключ для устранения коллимационной ошибки в теодолите 2Т2

Для удобства визирования на цели, расположенные под углом более 45° к горизонту, к теодолиту прилагаются специальные насадки, которые надеваются на окуляры

зрительной трубы и отсчетного микроскопа. Окулярная насадка на зрительную трубу имеет темный светофильтр.

Поле зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т2 представлено на рис. 35. В поле зрения видны три окошка, два из которых имеют горизонтальное расположение, а третье вертикальное. В нижнем горизонтальном окошке видны изображения штрихов горизонтального или вертикального круга. В верхнем горизонтальном окошке видны подписи числа градусов (сверху) и подписи вспомогательной шкалы от 0 до 5 (внизу), соответствующие десяткам минут. В вертикальном окошке виден горизонтальный штрих-индекс и изображение штрихов шкалы микрометра.

Отсчет по кругу производят после тщательного совмещения рукояткой микрометра изображений верхнего и нижнего штрихов в нижнем окошке. В верхнем горизонтальном окошке отсчитывают: число градусов, равное подписанному вверху и располо-

женному только в пределах вспомогательной шкалы числу, на рпс. 35 это 17° ; количество десятков минут, равное цифре вспомогательной шкалы, расположенной под числом градусов, 2, т. е. $20'$. Единицы минут, десятки, единицы и десятые доли секунд отсчитывают в вертикальном окошке по неподвижному индексу так же, как и в теодолите Т2, на рпс. 35 отсчет равен $5^{\circ}27,0'$. Тогда полный отсчет составит $17^{\circ}25'27,0''$.

2. Производство исследований и поверок точных теодолитов. Рассмотрим теодолиты Т2 и 2Т2. Перед началом работ необходимо произвести внешний осмотр теодолита и выполнить испытания, исследования и поверки.

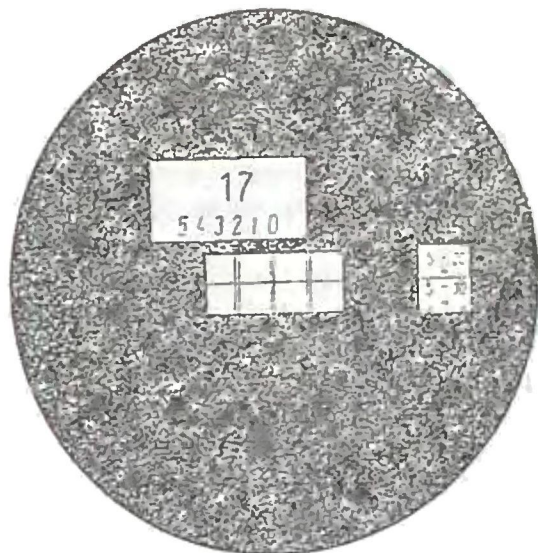
Внешний осмотр и испытания теодолита. При осмотре обращается внимание на состояние прибора, на плавность вращения подъемных и наводящих винтов, на плавность и легкость вращения прибора и зрительной трубы, на плавность перемещения фокусирующей линзы, чистоту оптики, четкость изображения нитей сетки и т. д.

Испытанию подлежат следующие механические условия.

1. *Ход подъемных и наводящих винтов должен быть плавным, равномерным, без заеданий и качки.* Для регулировки хода винта следует вращать регулировочную гайку с помощью шпильки в ту или другую сторону до тех пор, пока не будет достигнут равномерный ход.

2. *При вращении алидады горизонтального круга должна быть обеспечена азимутальная устойчивость штатива и подставки.* Для проверки устойчивости штатива необходимо, установив на нем в рабочем положении теодолит и наведя визирную ось трубы на удаленную точку, слегка нажимать на головку штатива, придавая ей вращательное движение и отклоняя тем самым визирную ось от первоначального положения. После прекращения нажатия визирная ось теодолита должна всегда возвращаться на прежнее место. В противном случае следует потуже затянуть винты ножек штатива.

Добившись устойчивости штатива, проверяют устойчивость подставки, для этого слегка ее поворачивают. В случае смещения точки с перекрестия нитей сетки, следует подтянуть гайки



Рпс. 35. Вид поля зрения отсчетного микроскопа теодолита 2Т2

регулировки хода подъемных винтов, но не применяя значительных усилий при их закреплении.

Исследования теодолита. Целью исследований является определение качеств и технических характеристик теодолита, на основании которых судят о пригодности теодолита для измерения углов с заданной точностью.

1. *Исследование оптических качеств трубы* выполняют теми же методами, которые изучены студентами на младшем курсе.

2. *Определение увеличения трубы Г* производят или с помощью рейки или с помощью луны с делениями.

3. *Определение угла поля зрения трубы 2ω* выполняют непосредственным измерением его с помощью горизонтального круга.

4. *Определение средней квадратической погрешности совмещения концов изображений штрихов горизонтального круга.*

Для проведения исследования при произвольной установке лимба (например через 15°) производят по два совмещения изображений штрихов и при каждом берут и записывают отсчеты по шкале микрометра в журнал (табл. 23, графы 1, 2 и 3). При этом рекомендуется соблюдать следующие условия: тщательно установить окуляр микроскопа по глазу наблюдателя; хорошо отрегулировать освещение; заканчивать совмещения концов штрихов верхнего и нижнего изображений вращением рукоятки микрометра только по ходу часовой стрелки (на в в и ч и в а н и е).

По полученным отсчетам при совмещениях находят разности $d = I - II$; по которым и производят вычисление средней квадратической погрешности одного совмещения концов изображений штрихов горизонтального круга

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}, \quad (\text{III.1})$$

где n — число установок.

У теодолитов Т2 и 2Т2 величина m для горизонтального круга не должна превышать $0,5''$.*

Пример на вычисление средней квадратической погрешности совмещения изображений штрихов горизонтального круга приведен в табл. 23.

Значения разностей d , полученных на различных установках лимба, не должны превышать величины $2m\sqrt{2}$, в противном случае наблюдения следует проверить.

При наличии в разностях d систематического влияния, вычисляют среднюю величину остаточной систематической погрешности $\delta_{\text{ср}} = [d]/n$, которую затем исключают из разностей d , вычисляя величины d' , $d' = d - \delta_{\text{ср}}$. Среднюю квадратическую погрешность одного совмещения изображений штрихов находят по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[d'^2]}{2(n-1)}}. \quad (\text{III.2})$$

* Для вертикального — $0,6''$.

Определение средней квадратической погрешности
совмещения концов штрихов горизонтального круга теодолита Т2 № 3115

Наблюдатель Н. П. Бокшинов
Вычислитель Г. П. Хохлов

15 мая 1976 г.

Установка лимба	Отсчеты по микрометру		$d = I - II$	d^2
	При первом совмещении I	При втором совмещении II		
1	2	3	4	5
0°	32,7"	31,8"	+0,9"	0,81"
15	43,2	43,4	-0,2	0,04
30	53,3	52,1	+1,2	1,44
45	32,5	33,0	-0,5	0,25
60	00,2	00,5	-0,3	0,09
75	02,8	03,4	-0,4	0,16
90	57,9	57,0	+0,9	0,81
105	28,5	28,0	+0,5	0,25
120	00,0	00,5	-0,5	0,25
135	16,1	16,0	+0,1	0,01
150	25,0	26,1	-1,1	1,21
165	48,0	48,0	0,0	0,00
180	51,2	52,3	-1,1	1,21
195	27,3	27,5	-0,2	0,04
210	27,0	26,8	+0,2	0,04
225	50,5	50,8	-0,3	0,09
240	59,1	58,2	+0,9	0,81
255	31,4	31,6	-0,2	0,04
270	40,0	39,1	+0,9	0,81
285	48,3	48,2	+0,1	0,01
300	51,2	52,0	-0,8	0,64
315	37,6	37,6	0,0	0,00
330	35,2	35,1	+0,1	0,01
345	14,7	14,7	0,0	0,00
		Σ	+0,2"	9,02"

$$m = \sqrt{\frac{9,02}{48}} = 0,43''$$

Величину m вычисляют по формуле (III.2) только в том случае, если не будет выполняться условие $|d| \leq 0,25$ [|d|].

5. *Определение реи оптического микрометра.* Разность между номинальной величиной деления круга и величиной, определенной при помощи микрометра, называется реи оптического микрометра. Различают реи для верхнего и нижнего изображений круга в поле зрения отчетного микрометра, так как пучки лучей от диаметрально противоположных сторон лимба достигают микрометра различными оптическими путями.

Резы верхнего и нижнего изображений, выраженные в секундах, вычисляют по формулам

$$r_v = (A_1 - A_2) \mu_n + \frac{\mu_n}{2}, \quad (\text{III.3})$$

$$r_n = (A_1 - A_3) \mu_n + \frac{\mu_n}{2}, \quad (\text{III.4})$$

где A_1, A_2, A_3 — отсчеты по шкале микрометра при измерении верхнего и нижнего полуделений лимба;

μ_n — цена деления шкалы оптического микрометра;

μ_n — цена деления лимба, равная $20''$.

Для определения реза выполняют измерения полуделений лимба верхнего и нижнего изображений на различных частях круга, переставляя его, например через 45° и $20''$.

Работу выполняют дважды в прямом и обратном ходах.

Порядок действий на каждой установке следующий.

В теодолите Т2:

а) вращением рукоятки микрометра устанавливают отсчет на шкале последнего, близкий к нулю;

б) вращением рукоятки перестановки лимба совмещают диаметрально противоположные штрихи φ и $(\varphi + 180^\circ)$ верхнего и нижнего изображения круга, где φ — установка лимба, равная последовательно $0^\circ 00'$, $45^\circ 20'$, $90^\circ 40'$, $135^\circ 00'$ и т. д.;

в) вращением наводящего винта алидады точно совмещают штрихи круга (отсчет по шкале микрометра при этом не изменяется);

г) производят отсчеты по шкале микрометра при трех точных совмещениях штрихов:

A_1 — при совмещении штрихов φ и $(\varphi + 180^\circ)$

A_2 — при совмещении штрихов $(\varphi - \mu_n)$ и $(\varphi + 180^\circ)$

A_3 — при совмещении штрихов φ и $(\varphi + 180^\circ - \mu_n)$.

Например, при первой установке лимба отсчеты берут (рис. 36):

A_1 — при совмещении штрихов $0^\circ 00'$ и $180^\circ 00'$ (рис. 36, а);

A_2 — при совмещении штрихов $359^\circ 40'$ и $180^\circ 00'$ (рис. 36, б);

A_3 — при совмещении штрихов $0^\circ 00'$ и $179^\circ 40'$ (рис. 36, в).

В теодолите 2Т2:

а) вращением рукоятки микрометра устанавливают отсчет на его шкале $0' 00''$;

б) вращением наводящего винта алидады горизонтального круга совмещают изображение штрихов, расположенных в центре нижнего окошка напротив цифры 0 вспомогательной шкалы, и берут отсчет A_1 по шкале микрометра;

в) вращением рукоятки микрометра перемещают ранее совмещенный штрих нижнего изображения к цифре 1 вспомогательной шкалы и точно совмещают его с ближайшим штрихом верхнего изображения, берут отсчет A_2 ;

г) вращением рукоятки микрометра совмещают пару штрихов, расположенных вправо от 0 вспомогательной шкалы и берут

отсчет A_3 . Отсчеты A_1 , A_2 , A_3 записывают в журнал (табл. 24) в графы 2—4.

Отсчеты по шкале микрометра удобнее брать и записывать в делениях шкалы. Для этого нужно придавать отсчетам, расположенным вверх от начального нулевого и конечного делений шкалы, знак минус, а отсчетам, расположенным вниз от начального и конечного, знак плюс.

Для контроля совмещение каждого штриха выполняют дважды.

На этом заканчивают наблюдения в прямом ходе. Наблюдения в обратном ходе производят в том же порядке, но при установках

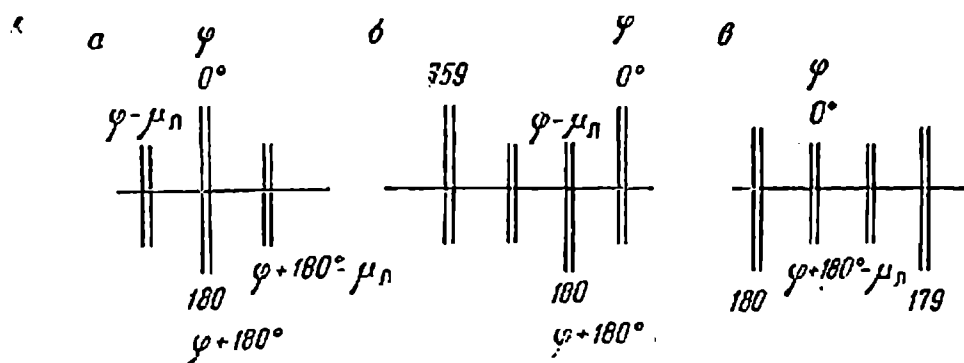


Рис. 36. Схема отсчетов при определении репа на первой установке лимба в теодолите Т2

лимба последовательно равных $337^{\circ}40'$, $292^{\circ}20'$, $247^{\circ}00'$ и т. д. Отсчеты A_1 , A_2 , A_3 записывают в графы 8—10 табл. 24.

В графах 5, 6 и 11, 12 вычисляют репы верхнего и нижнего изображений по формулам (III.3)—(III.4) для первого и второго совмещений каждой установки лимба, из которых затем выводят средние значения и записывают под чертой. Далее находят как среднее арифметическое из полученных значений r_v и r_n по каждому ходу отдельно.

Окончательные значения r_v и r_n из прямого и обратного ходов определяют как средние

$$\left. \begin{aligned} r_v &= \frac{r_{vnp} + r_{vоб}}{2}; \\ r_n &= \frac{r_{nnp} + r_{nоб}}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (III.5)$$

Для полной характеристики теодолита вычисляют среднее значение репа r и разность репов Δr

$$r = \frac{r_v + r_n}{2} \quad (III.6)$$

$$\Delta r = r_v - r_n \quad (III.7)$$

Величины r и Δr горизонтального круга не должны превышать $1,0''$ (вертикального — $2,0''$).

Определение репа оптического микрометра для горизонтального круга теодолита Т2 № 103115
Наблюдатель Б. И. Бекманов
Вычислитель А. К. Борисов

Установка лимба ф		Прямой ход						Обратный ход					
		A_1 0°+	A_2 10°+	A_3 10°+	$A_1 - A_2 +$ $+10' =$ $r_{\text{пр}}$	$A_1 - A_3 +$ $+10' =$ $r_{\text{пр}}$	Установка лимба ф	A_1 0°+	A_2 10°+	A_3 10°+	$A_1 - A_2 +$ $+10' =$ $r_{\text{об}}$	$A_1 - A_3 +$ $+10' =$ $r_{\text{об}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0° 00'	-1,2 -1,0	-1,9 -1,8	-2,1 -2,0	+0,7 +0,8	+0,9 +1,0	+0,9 +1,0	22° 20'	-1,0 -0,6	-1,3 -0,8	-0,1 0,0	+0,3 +0,2	-0,9 -0,6	
45 20	0,0 0,0	-0,5 -0,5	-0,8 -0,9	+0,8 +0,5	+0,8 +0,9	+0,8 +0,9	67 40	-1,3 -1,1	-0,8 -0,6	-1,0 -1,0	-0,4 -0,5	-0,8 -0,1	
90 40	-0,8 -0,6	-0,2 -0,1	0,0 -0,3	+0,5 -0,5	+0,8 -0,9	+0,8 -0,9	112 00	-1,0 -1,1	-1,0 -0,9	-2,8 -2,4	-0,4 -0,2	-0,2 +1,3	
135 00	-0,4 -0,6	-1,1 -1,0	-1,4 -1,3	+0,7 +0,4	+1,0 +0,7	+1,0 +0,7	157 20	+0,7 +0,8	+0,2 +0,1	0,0 +0,2	-0,1 +0,5	+1,4 +0,7	
180 00	+1,1 +1,2	+0,6 +0,4	+1,2 +1,4	+0,6 +0,8	+0,8 -0,2	+0,8 -0,2	202 40	+0,5 +0,8	0,0 +0,2	+0,8 +0,9	+0,6 +0,5	+0,6 -0,1	
225 00	-1,5 -1,3	-2,1 -2,0	-2,2 -2,0	+0,6 +0,7	+0,7 +0,7	+0,7 +0,7	247 00	+1,1 +0,8	+0,9 +0,6	+1,0 +0,4	+0,3 +0,2	+0,1 +0,4	
270 00	-0,2 -0,1	-0,8 -0,7	-1,3 -1,1	+0,6 +0,8	+0,7 +1,0	+0,7 +1,0	292 20	+0,9 +0,6	+1,1 +0,7	+1,3 +0,6	+0,2 -0,1	+0,2 -0,3	
315 20	-0,3 -0,6	0,0 +0,2	0,0 +0,1	+0,6 -0,8	+1,0 -0,7	+1,0 -0,7	337 40	0,0 +0,2	+0,4 +0,6	+0,8 +1,0	-0,2 -0,4	-0,4 -0,8	
Среднее		$r_{\text{пр}} = \frac{-1,3 + 0,1}{2} = +0,20;$	$r_{\text{об}} = \frac{-0,20 + 0,15}{2} = +0,18;$	$r_{\text{пр}} = \frac{+0,3 + 0,15}{2} = +0,23;$	$r_{\text{об}} = \frac{+0,3 + 0,15}{2} = +0,23;$	$r_{\text{пр}} = \frac{+0,3 + 0,15}{2} = +0,23;$	$\Delta r = +0,20 - 0,15 = +0,05.$						

Если r превышает указанные допуски, то в отсчеты по шкале микрометра вводятся поправки

$$\nu_r = \frac{r}{10} C_1 \quad (\text{III.8})$$

где C — отсчет минут на шкале оптического микрометра теодолита.

При величинах r и Δr больше $5''$ должна быть отъюстирована оптическая отсчетная система; юстировку лучше выполнить в мастерской.

6. *Определение эксцентриситета алидады горизонтального круга.*

Эксцентриситетом алидады горизонтального круга называется несовпадение точки C' пересечения оси вращения алидады с плоскостью лимба и центра C кольца делений лимба (рис. 37).

Несовпадение центра делений круга с геометрической осью вращения алидады приводит к смещению нуль-пунктов приборов для отсчитывания и к изменению их цены деления. Обе эти ошибки изменяют величину отсчетов по кругу.

При исследовании эксцентриситета алидады определяют следующие величины, характеризующие эксцентриситет (см. рис. 37):

ν_0 — постоянный угол, определяющий положение индекса;

φ_{3a} — отсчет по лимбу, при котором влияние эксцентриситета алидады равно нулю (направление линейного элемента эксцентриситета);

e_a — наибольшее влияние эксцентриситета алидады на односторонний отсчет по лимбу (угловой элемент эксцентриситета);

e_a — расстояние между центром делений лимба и осью вращения алидады (линейный элемент эксцентриситета).

Для определения элементов эксцентриситета при совмещении изображений штрихов получают разности отсчетов

$$2\nu_i = A'_i - A_i \quad (\text{III.9})$$

по всему кругу, равномерно переставляя алидаду в прямом и обратном направлениях через 30° от 0 до 330° (по 12 установок в каждом ходе).

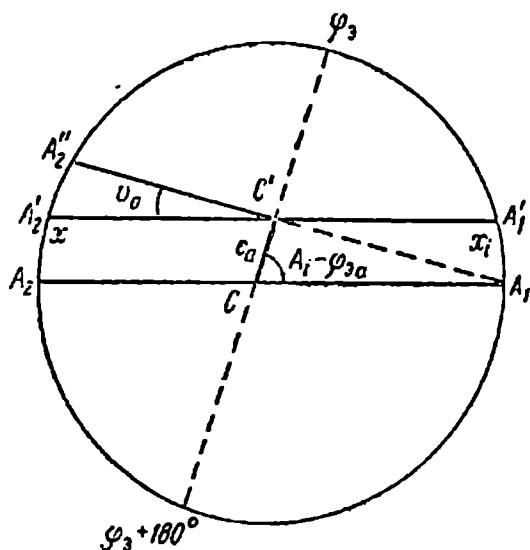


Рис. 37. Определение эксцентриситета алидады горизонтального круга

После каждой установки алидады вращением рукоятки микрометра совмещают изображения диаметрально противоположных штрихов круга и производят отсчет A_i — отсчет, свободный от влияния эксцентриситета. Для контроля совмещение штрихов повторяют. Для этого рукояткой микрометра сначала разводят совмещенные штрихи, а затем снова совмещают. Затем дважды совмещают крайний нижний штрих лимба или с одним из штрихов вертикального круга, или с границей поля зрения микроскопа (взамен отсутствующего у теодолитов Т2 и 2Т2 неподвижного индекса) и производят отсчет A'_i .

При совмещении со штрихом вертикального круга поворачивают рукоятку переключателя отсчетной системы по ходу часовой стрелки на 45° . Тогда в поле зрения микроскопа одновременно будут хорошо видны в верхней половине штрихи вертикального круга, а в нижней штрихи горизонтального круга. В этом случае во время исследования трубу и наводящий винт трубы переводить нельзя.

Начальный отсчет на каждой установке по шкале оптического микрометра рекомендуется устанавливать, равным примерно середине шкалы $5'$.

Пример записи при исследовании эксцентриситета алидады приведен в табл. 25. Отсчеты записывают в графы 1—3, 5, 6. В графах 4 и 7 вычисляют средние из двух совмещений. Разности $2v_i$ получают в графе 8. Колебание величины $2v_i$ не должно превышать $40''$.

По разностям $2v_i$ определяют характеризующие эксцентриситет алидады величины e_a , φ_{za} , e_a и v_0 , суть которых сводится к следующему.

Как следует из рис. 37, влияние эксцентриситета алидады x_i на отсчет по лимбу A_i может быть найдено из соотношения

$$x_i = \frac{e_a}{r} \rho \sin(A_i - \varphi_{za}), \quad (\text{III.10})$$

где r — радиус круга.

Если $A_i - \varphi_{za} = 90^\circ$, то x_i в (III.10) примет максимальное значение и будет определяться как

$$x_{\max} = e_a = \frac{e_a}{r} \rho, \quad (\text{III.11})$$

откуда

$$e_a = \frac{e_a r}{\rho}. \quad (\text{III.12})$$

При наличии эксцентриситета величины v_i в общем случае вычисляются по формуле

$$v_i = 2x_i + v_0, \quad (\text{III.13})$$

тогда $2x_i = v_i - v_0$, а следовательно,

$$2x_{\max} = 2e_a = v_{\max} - v_0. \quad (\text{III.14})$$

Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита Т2 № 3115

Наблюдатель И. Н. Бекханов
Вычислитель Г. П. Хохлов

20 мая 1976 г.

Установка алидады	Отсчет А при совмещении штрихов лимба			Отсчет А' при совмещении верхнего штриха лимба со штрихом вертикального круга			$\varepsilon = A' - A$
	I	II	Среднее	I	II	Среднее	
1	2	3	4	5	6	7	8

Прямой ход

0°	4' 05,4"	05,8"	4' 05,6"	4' 56,8"	56,6"	4' 56,7"	-11,2
30	4 35,0	34,4	4 34,7	4 26,9	26,6	4 26,8	-15,8
60	4 44,1	44,7	4 44,4	4 31,8	31,7	4 31,8	-25,2
90	3 32,0	33,4	3 32,7	3 18,1	18,3	3 18,2	-29,0
120	4 14,3	14,0	4 14,2	4 02,2	02,2	4 02,2	-24,0
150	3 50,9	50,9	3 50,9	3 41,7	41,8	3 41,8	-18,2
180	2 39,3	39,1	2 39,2	2 33,9	33,6	2 33,8	-10,8
210	4 09,3	08,8	4 09,1	4 06,2	06,5	4 06,4	-05,4
240	3 34,0	33,6	3 33,8	3 33,1	33,0	3 33,0	-01,6
270	2 23,7	23,5	2 23,6	2 24,8	24,8	2 24,8	+02,4
300	3 47,0	47,8	3 47,4	3 43,6	43,9	3 43,8	-07,2
330	3 15,6	16,4	3 16,0	3 11,5	11,4	3 11,4	-09,2

Обратный ход

330	4' 19,2"	19,5"	4' 19,4"	4 16,3	17,1	4 16,7	-05,4
300	4 31,0	30,0	4 30,5	4 29,0	28,8	4 28,9	-03,2
270	5 16,9	16,7	5 16,8	5 17,3	17,5	5 17,4	+01,2
240	3 37,0	37,8	3 37,4	3 33,6	33,9	3 33,8	-07,2
210	5 13,2	13,8	5 13,5	5 10,3	10,6	5 10,4	-06,4
180	3 50,0	50,2	3 50,1	3 43,2	43,3	3 43,2	-13,8
150	4 39,1	39,7	4 39,4	4 31,8	31,7	4 31,8	-15,2
120	5 33,8	33,7	5 33,8	5 20,0	20,1	5 20,0	-27,6
90	3 36,2	35,4	3 35,8	3 20,6	20,4	3 20,5	-30,6
60	4 58,2	58,1	4 58,2	4 45,4	45,5	4 45,4	-25,6
30	4 23,8	24,6	4 24,2	4 13,9	13,6	4 13,8	-20,8
0	4 33,0	33,4	4 33,2	4 26,2	26,1	4 26,2	-14,0

Величина v_0 равна среднему арифметическому из разностей $2v_i$, $v_0 = \sum 2v_i / n$, где n — число разностей.

Элементы эксцентриситета алидады $2\varepsilon_z$, φ_z и v_0 обычно определяются графическим путем. Для этого по величинам $2v_i$ строят график, показывающий изменение эксцентриситета в прямом и обратном ходе (рис. 38), откладывая по оси y установки алидады на лимбе, а по оси x соответствующие им значения $2v$. Соединяя полученные точки, проводят две ломаные линии величины $2v$ в прямом и обратном ходах.

Сообразуясь с этими линиями прочерчивают плавную кривую, близкую к синусоиде, как среднюю между двумя ломаными линиями по ось симметрии плавной кривой.

На графике определяют величины:

$2\epsilon_a$ — амплитуду синусоиды; $2\epsilon_a$ не должна превышать $20''$;

v_0 — отрезок по оси x от 0 до оси симметрии;

φ_{3a} — точку на оси y , соответствующую проекции точки пересечения восходящей ветви синусоиды с осью симметрии,

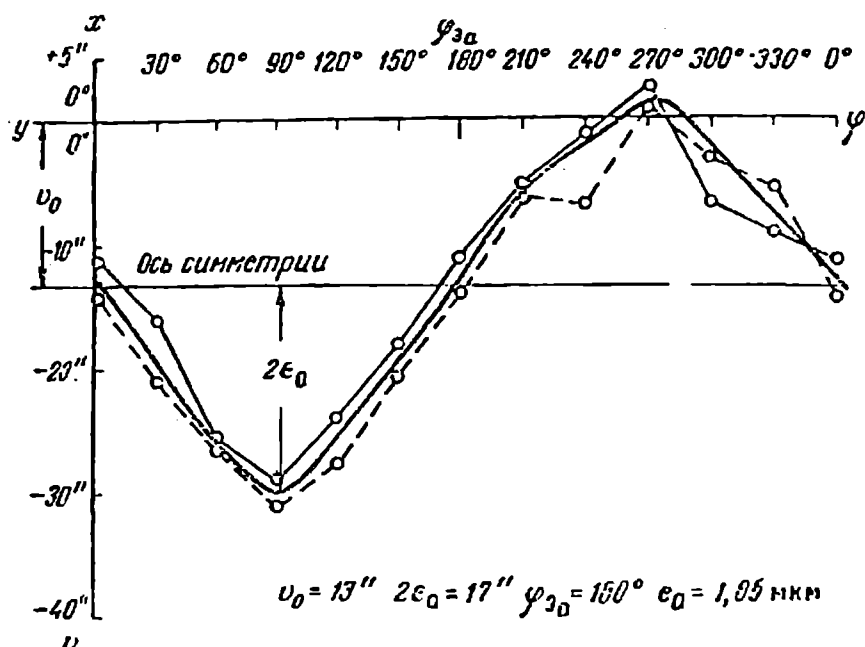


Рис. 38. График эксцентриситета алидады горизонтального круга

Величину линейного эксцентриситета вычисляют по формуле (III.12).

Отклонение точек ломаных линий от синусоиды не должно превышать $15''$.

7. *Определение эксцентриситета горизонтального круга.* Эксцентриситет горизонтального круга является результатом несовпадения оси вращения лимба теодолта с осью вращения лимба при разделении его на делительной машине.

Эксцентриситет круга исследуют по той же программе, что и эксцентриситет алидады. Особенность состоит лишь в том, что переставляют лимб, а алидаду оставляют неподвижной.

По аналогично построенному графику определяют величины $2\epsilon_k$, φ_{3k} , а затем по формуле (III.12) — ϵ_k , заменив в ней ϵ_a на ϵ_k .

8. *Определение максимального значения углового эксцентриситета $\epsilon_{\max}$.* Максимальная величина углового эксцентриситета складывается из углового эксцентриситета круга и углового эксцентриситета осевой системы — несовпадения осей алидады и

круга. Величину ε_0 вычисляют по полученным значениям ε_a , ε_k , φ_{a_0} и φ_{k_0} по формуле

$$\varepsilon_{осел} = \sqrt{\varepsilon_a^2 + 2\varepsilon_a\varepsilon_k \cos(\varphi_{a_0} - \varphi_{k_0}) + \varepsilon_k^2}. \quad (\text{III.15})$$

Максимальный угловой эксцентриситет определяют как $\varepsilon_{\max} = 2\varepsilon_{\text{круга}} + 2\varepsilon_{\text{осел}}$. Его величина должна быть не более $40''$.

Максимальный угловой эксцентриситет можно также определить графически из построения треугольника эксцентриситетов. Для этого строят угол $\varphi_{a_0} - \varphi_{k_0}$ (или $\varphi_{k_0} - \varphi_{a_0}$) (рис. 39); по сторонам этого угла в определенном масштабе откладывают величины $2\varepsilon_a$ и $2\varepsilon_k$. Третья сторона треугольника AK будет величина $2\varepsilon_0$; отрезок CA' , как следует из построения, будет равен $\varepsilon_{\max}$.

Проверку теодолитов Т2 и 2Т2. Проверке подлежат следующие геометрические условия, которым должно удовлетворять взаимное расположение частей теодолита.

1. *Ось цилиндрического уровня при алидаде горизонтального круга должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита.* Проверку производят обычным способом, поворотом алидады на 180° . Юстировку выполняют юстировочным винтом цилиндрического уровня.

2. *Ось круглого уровня (в теодолите ТБ-1) должна быть параллельна оси вращения теодолита.* Юстировку круглого уровня производят его юстировочными винтами после точной установки оси вращения теодолита в отвесное положение по выверенному цилиндрическому уровню.

3. *Визирная ось зрительной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.* Проверку выполняют обычным способом. Несоблюдение условия вызывает коллимационную ошибку C . Величина коллимационной ошибки не должна превышать $40''$.

Устранение коллимационной ошибки в теодолите Т2 производят юстировочными винтами сетки нитей обычным способом, в теодолите 2Т2 с помощью специального клинового кольца. Действия при этом выполняют в следующем порядке:

- вращением рукоятки микрометра устанавливают отсчет минут и секунд, равный $KП + C$;
- вращением наводящего винта алидады горизонтального круга совмещают изображения штрихов;
- вращением клинового кольца ключом 2 (см. рис. 34) вводят изображение точки в центр биссектора сетки нитей.

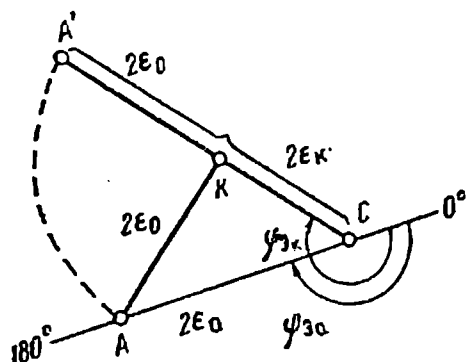


Рис. 39. Треугольник эксцентриситетов

После юстирования поверку повторяют. Поверку выполнения этого условия производят многократно при визировании на различные удаленные от теодолита цели, с тем чтобы выявить не только величину коллимационной ошибки, но и колебания в ее значении, возможные главным образом вследствие недостатков движения фокусирующей линзы. Наблюдения при этом ведут на цели, расположенные от теодолита на расстояниях порядка 20, 50, 200, 500, 1000 м и более. Из каждого наблюдения вычисляют двойную коллимационную ошибку $2C$. Колебание величины $2C$ не должно превышать $12''$.

4. Ось вращения визирной трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения теодолита. Поверка проводится так же, как и в технических теодолитах. Величину угла i , на который отклоняется ось вращения трубы от положения, перпендикулярного к оси вращения прибора, определяют по формуле

$$i = \frac{b \cdot \rho \operatorname{ctg} v}{2s}, \quad (\text{III.16})$$

где $b/2$ — линейная ошибка вследствие наклона оси вращения трубы, равная половине расстояния между проекциями точек;

v — угол наклона визирной оси при наведении на точку;

s — расстояние от горизонтальной проекции точки до теодолита.

Пример определения угла i по формуле (III.16) приведен в табл. 26.

Таблица 26

Определение угла i для теодолита Т2 № 103115

Наблюдала Т. А. Иванова
Записывала Т. В. Антипова

18 июня 1975 г.

Расстояние между проекциями точек, м	Угол наклона визирной оси	Расстояние от горизонтальной проекции точки до теодолита, м	i
1.8	$16^{\circ} 30'$	21,53	$3,2''$

Значение угла i не должно превышать $10''$. Соблюдение условия гарантируется заводом.

5. Вертикальная нить сетки должна лежать в коллимационной плоскости трубы. Поверка производится так же, как в технических теодолитах. Если будет замечено смещение изображения точки с вертикальной нити более чем на три толщины штриха, то сетку необходимо повернуть.

Для этого в теодолите Т2 снимают колпачок, закрывающий юстировочные винты сетки, слегка отпускают винты, скрепляющие окуляр с корпусом трубы, и поворачивают окуляр вместе с сеткой. После чего поверку повторяют.

В теодолите 2Т2, ваявшись за колпачок, поворачивают окуляр. После чего поверку повторяют. Если такой способ не устранил несоблюдения условия, необходимо произвести частичную разборку окуляра в условиях мастерской и исправить наклон сетки.

6. *Визирная ось оптического центрира должна совпадать с осью вращения теодолита.* Прибор устанавливают на штативе и приводят ось вращения теодолита в отвесное положение. Отмечают на листе бумаги, подложенном под штатив, проекцию середины кружка оптического центрира. Затем, медленно вращая алидаду вокруг вертикальной оси, наблюдают за изображением точки. Если в процессе вращения изображение точки остается на месте, условие выполнено; в противном случае в теодолите Т2 отвинчивают два винта и отсоединяют крышку оптического центрира от боковой крышки теодолита. При этом открываются головки винтов, скрепляющих окулярное колесо оптического центрира с боковой крышкой. Слегка освободив эти винты, перемещением окулярного колена в плоскости боковой крышки добиваются совмещения визирной оси оптического центрира с осью вращения теодолита. В теодолите 2Т2 юстировку выполняют в условиях мастерской.

3. *Ознакомление с устройством визирной марки и оптического центрира. В и з и р н а я м а р к а.* В полигонометрии для получения большей точности измерения угла применяют визирные приспособления — визирные марки.

Марка (рис. 40) состоит из подставки 1, одинаковой по конструкции с подставкой теодолита, и металлического щитка 3, укрепленного на втулке 2. Обе стороны щитка окрашены. Цвет фона и рисунок окраски у различных конструкций марок различный. Визирная цель 4 чаще всего представляет собой вертикальный штрих, нанесенный посередине щитка по всей его длине.

К теодолиту Т2 по специальному заказу изготавливается комплект визирных целей (КВЦ). Марка, входящая в комплект, окрашена специальной флуоресцентной эмалью, повышающей яркость фона по сравнению с обычной краской в несколько раз, что даст возможность производить измерение углов при сторонах до 5 км. В нижней части марки имеется отверстие, освещаемое лампочкой подсветки, для визирования в ночных условиях. Марка имеет круглый уровень.

О п т и ч е с к и й ц е н т р и р. Он применяется для центрирования визирных марок над центром заложения знаков.

Оптические центриры бывают двух видов: с прямой зрительной трубой (рис. 41) и ломаной. Ломаная труба применяется в оптических центрирах, которыми снабжены теодолиты и подставки некоторых типов визирных марок, выпускавшихся ранее.

Оптический центрир представляет собой короткофокусную трубу, вращающуюся в подставке, конструкция которой одинакова с подставкой оптического теодолита. Окулярный конец имеет крышку с полусферической поверхностью, на которой

нанесена крестообразная нарезка. Дугоа оптического центрира имеет увеличение в пределах 2,5—4×. Прибор снабжен цилиндрическим уровнем.

К теодолиту Т2 по специальному заказу изготавливаются двухсторонние оптические центриры ОДО, предназначенные для центрирования подставки над и под точкой местности. Направлением

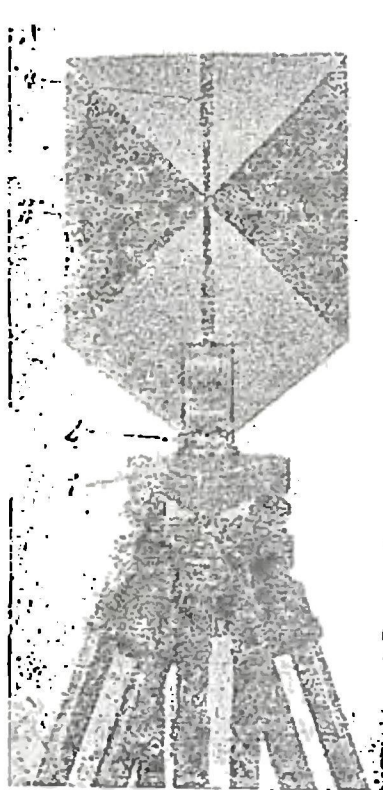


Рис. 40. Общий вид визирной марки

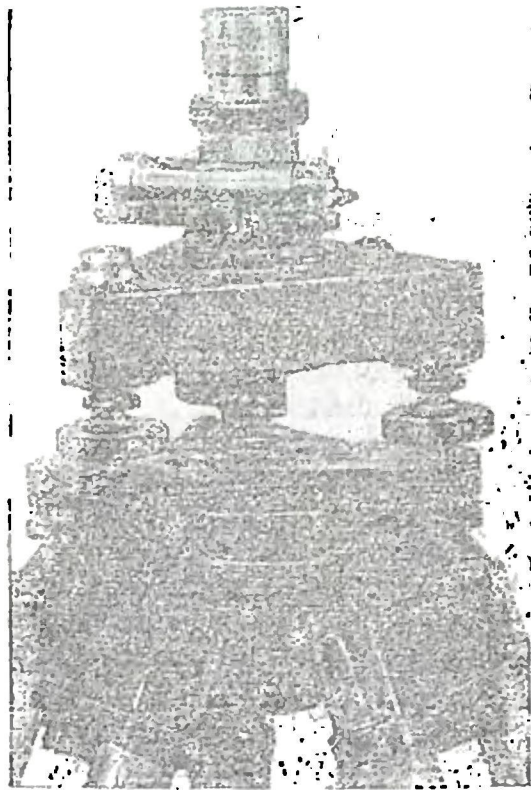


Рис. 41. Оптический центрир

визирования вверх и вниз в этих центрирах изменяется переводом специальной рукоятки.

4. Производство проверок визирной марки и оптического центрира.

Проверка визирной марки. 1. Ось круглого уровня, укрепленного на марке, должна быть параллельна оси вращения марки. Это условие имеет место в марках, снабженных круглым уровнем. Проверка выполняется, как обычно.

2. Ось симметрии визирной цели марки должна совпадать с осью вращения марки. Проверку производят путем измерения теодолитом трех направлений, два из которых n_1 и n_3 (рис. 42) пройдут по краям визирной цели, а третье n_2 пересечет ось вращения марки, предварительно фиксированную, например иглой, укрепленной на верхней части марки. Теодолит устанавливают

от марки в 3—5 м, приводят ось вращения в отвесное положение и поочередно на левый край марки, на иглу и на правый край марки, производя отсчеты n_1 , n_2 и n_3 . По полученным отсчетам вычисляют разности $n_2 - n_1 = \beta_1$ и $n_3 - n_2 = \beta_2$.

Асимметрия визирной цели a относительно оси вращения марки, выраженная в линейной мере, определяется по формуле

$$a = \frac{\delta\beta \cdot s}{\rho}, \quad (III.17)$$

где $\delta\beta = \beta_2 - \beta_1$ — разность значений углов, составленных из крайних направлений со средним;

s — расстояние от теодолита до марки.

Величина асимметрии не должна превышать 1 мм. При большем ее значении марка должна быть забракована.

Пример определения величины асимметрии визирной цели марки приведен в табл. 27.

Проверки оптического центрира. 1. Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к оси вращения оптического центрира. Устанавливают цилиндрический уровень по направлению двух подъемных винтов и приводят пузырек уровня на середину; поворачивают оптический центрир вокруг вертикальной оси на 180° . Если пузырек уровня отклонится от середины, условие не выполнено. Юстировку производят исправительными винтами уровня.

2. Визирная ось зрительной трубы оптического центрира должна совпадать с осью его вращения. Проверку выполняют тем же способом, что и у оптического центрира теодолита Т2. Юстировку производят исправительными винтами сетки нитей, перемещая диафрагму с сеткой нитей на половину замеченного смещения.

3. Пересечение штрихов на целике оптического центрира должно совпадать с осью его вращения. Для проверки условия в 3—5 м от оптического центрира устанавливают теодолит и приводят вертикальную нить сетки трубы теодолита на иглу, укрепленную, например пластилином, на целике оптического центрира, в точке пересечения штрихов. Вращая оптический центрир вокруг его оси, наблюдают в теодолит за положением иглы, если изображение иглы остается все время на вертикальной нити трубы теодолита, условие выполнено. В противном случае оптический центрир надо направить в мастерскую для нарезки на целике новых штрихов.

5. Измерения углов. На пунктах полигонометрии измерение углов производят способом приемов (способом измерения отдельного

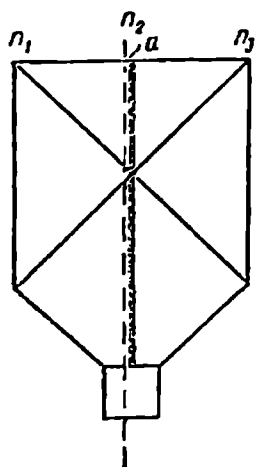


Рис. 42. Асимметрия визирной марки

Определение асимметрии визирной цели марки

18 июня 1975 г.

Наблюдала Т. А. Яванова

Записывала Т. Б. Ашупилова

№ п/п	Расстояние от теодолита до вышки, м	Отсчеты направлений			β_1	β_2	$\delta\beta$	α
		n_1	n_2	n_3				
1	5.35	91° 08' 08,2"	90° 00' 00,0"	88° 52' 00,0"	1° 08' 08,2"	1° 08' 00,0"	8,2"	0,2 мм

угла) или способом круговых приемов. Способ круговых приемов применяют, когда число наблюдаемых направлений на пункте более двух.

Для теодолитов Т2 и 2Т2 точность измерения угла и число приемов в зависимости от класса и разряда полигонометрии указаны в табл. 28.

Таблица 28

Теодолиты Т2, 2Т2 и им равноточные	Полигонометрия		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
Средняя квадратическая погрешность измерения угла	2"	5"	10
Число приемов	6	2	2

Перед измерением углов устанавливают теодолит на штативе над вершиной угла, центрируют с помощью оптического центрира и приводят ось вращения прибора в отвесное положение по уровню на алидаде горизонтального круга (нивелируют инструмент). Центрирование теодолита производят вместе с нивелированием. Рекомендуется эти операции выполнять в такой последовательности:

1) установить трегер с подставкой теодолита в середине головки штатива и подъемные винты подставки относительно головки штатива на одинаковую высоту;

2) наблюдая в окуляр оптического центрира, установить штатив с теодолитом над точкой, добиваясь возможно точного центрирования теодолита над ней;

3) привести ось вращения теодолита в отвесное положение (также возможно точнее) с помощью раздвижных ножек штатива (опуская или поднимая их);

4) подправить (если есть необходимость) горизонтирование с помощью подъемных винтов подставки;

5) подправить центрирование теодолита перемещением подставки на головке штатива (предварительно открепив становой винт); при этом необходимо следить, чтобы подставка не сместилась с головки штатива (в противном случае необходимо все действия начать сначала).

Над другими точками устанавливают визирные марки, подставки которых центрируют с помощью оптических центриров. Теодолит и визирные цели должны устанавливаться над центрами знаков с точностью 1 мм. Визирные марки при палочном круглом уровне привелируют с помощью последнего.

Для предотвращения возможной деформации штатива и теодолита от непосредственного нагревания их солнечными лучами применяют зонт, который раскрывают над прибором не менее чем за 10 мин до начала наблюдений.

С п о с о б к р у г о в ы х п р и е м о в.
Рассмотрим этот способ на примере измерения трех направлений (рис. 43). Теодолит установлен на пункте 9. Требуется измерить левые по ходу углы между направлениями на пункты 8, В, 10.

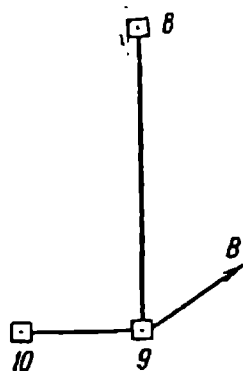


Рис. 43

Первый прием измерения:

а) наводят визирную ось зрительной трубы при КЛ на заднюю по ходу визирную марку, которую при измерении прижимают за начальное направление;

б) устанавливают лимб и оптический микрометр на отсчет, близкий к нулю (лучше несколько больше нуля); для этого сначала вращением рукоятки микрометра устанавливают отсчет по шкале последнего, близкий к нулю, затем вращением рукоятки перестановки лимба тщательно совмещают изображение штрихов противоположных краев лимба 0 и 180°, после чего производят отсчет и записывают в журнал (табл. 29);

в) разводят рукояткой микрометра изображение совмещенных штрихов и снова их соединяют (второе совмещение), производят отсчет и записывают в журнал; разность двух отсчетов не должна превышать 3"; рекомендуется окончательное совмещение штрихов выполнять вращением рукоятки микрометра по ходу часовой стрелки (на ввинчивание);

г) открепляют алидаду и поворачивают ее несколько раз по ходу часовой стрелки, после чего наводят визирную ось трубы (вращая алидаду также по ходу часовой стрелки) на вторую, а затем третью марки; при двух совмещениях производят отсчеты, которые записывают в журнал;

д) наводят визирную ось трубы снова на заднюю по ходу марку, при двух совмещениях производят отсчеты и записывают

Журнал измерения углов способом круговых приемов

Пункт 9

Прием I

Теодолит Т2 № 103115

Погода: ясно, слабый ветер

Дата 20 июля 1976 г.

Видимость: хорошая

Наблюдатель П. В. Шубин

Изображения: спокойные

Вычислитель С. К. Носиков

Направление направление	Круг	Отсчеты по штрихам лимба	Отсчеты по микрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	$2C = KЛ - КП$	$\frac{КЛ + КП}{2}$	Значение направления
			a_1	a_2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	КЛ КП	0° 01' 180 01	08,3° 26,0	09,2° 28,3	08,8° 27,2	-18,4°	18,0° -0,0	0° 00' 00,0°
B	КЛ КП	76 09 256 09	29,8 48,1	31,0 49,0	30,4 48,6	-18,2	39,5 -0,4	76 08 21,1
40	КЛ КП	270 08 90 08	39,6 54,0	40,9 55,0	40,2 54,5	-14,3	47,3 -0,8	270 07 28,5
8	КЛ КП	0 01 180 01	10,5 27,0	10,0 29,1	10,2 28,1	-17,9	19,2 -1,2	

Незамыкающие

$$\Delta_{КЛ} = +1,6''; \Delta_{КП} = +0,7''; \Delta_{ср} = +1,2''$$

в журнал. На этом заканчивают измерения в первом полуприеме.

Повторное наведение на первую марку называется замыканием горизонта. Это действие производится для того, чтобы установить, сохранил ли лимб в процессе работы неподвижное положение. Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема не должно превышать 8".

После перевода зрительной трубы через зенит при КП производят измерения второго полуприема;

е) вращая алидаду по ходу часовой стрелки, наводят ось зрительной трубы на начальное направление и при двух совмещениях производят отсчеты, которые записывают в журнал в строку, соответствующую второму наведению на это направление в предыдущем полуприеме;

ж) открепляют алидаду и поворачивают ее несколько раз против хода часовой стрелки, после чего наводят визирную ось трубы (вращая алидаду также против хода часовой стрелки) на третью, вторую и снова на первую марки. Производят отсчеты при двух совмещениях и записывают в журнал.

Второй и последующие приемы измерения направлений производят в такой же последовательности, как и первый, но для ослабления влияния систематических погрешностей делений лимба, лимб поворачивают на угол $\sigma = \frac{180^\circ}{m}$, где m — число приемов плюс 5 или 10'. При измерении углов в полигометрии 4 класса теодолитами Т2 или 2Т2 шестью приемами, во втором приеме устанавливают отсчет при наведении на начальную марку близким к $30^\circ 05'$, в третьем — к $60^\circ 10'$ и т. д.

Пример записи и вычислений в журнале при измерении углов способом круговых приемов (первый прием) приведен в табл. 29. В каждом приеме выполняют следующие вычисления. В графе 6 вычисляют средние значения из первого и второго совмещений по каждому направлению. В графе 7 находят величину двойной коллимационной ошибки $2C$. Постоянство величины $2C$ (колебания ее допускаются в пределах $\pm 12''$) служит показателем хорошего качества измерений. В графе 8 получают средние значения из величин, вычисленных в графе 6. В графе 9 вычисляют приведенные к общему нулю направления. Для этого сначала получают величины незамыкания начальных направлений в приеме при КЛ — $\Delta_{кл}$, при КП — $\Delta_{кп}$ и средние $\Delta_{ср}$, как разность между повторным измерением и первым. Эти величины записывают в журнал в конце наблюдений приема.

Если величина $\Delta_{ср}$ получится более $0,1''$, то ее следует распределить с обратным знаком на все направления пропорционально их номерам. Поправки в средние направления за незамыкание σ_i вычисляют по формулу

$$\sigma_i = \frac{-\Delta_{ср}}{n'} (i - 1),$$

где n' — число направлений,

i — порядковый номер.

В примере (см. табл. 29)

$$\Delta_{ср} = 0^\circ 01' 19,2'' - 0^\circ 01' 18,0'' = +1,2'';$$

$$\sigma_2 = \frac{-1,2''}{3} (2 - 1) = -0,4'';$$

$$\sigma_3 = \frac{-1,2''}{3} (3 - 1) = -0,8''.$$

Значения приведенных к общему нулю направлений получают, вычитая отсчет на первое направление из каждого последующего, исправленного за поправку σ_i .

Колебание направлений в отдельных приемах не должно превышать 8".

При соблюдении допусков, указанных в табл. 31, соответствующие приемы или все приемы переделывают. Повторные измерения выполняют после окончания наблюдений основной программы. Если направления, полученные из разных приемов, расходятся более допусков, то пере наблюдают направления как с максимальным, так и с минимальным значением. Приемы переделывают на тех же установках лимба. Вся программа измерения углов на пункте повторяется заново, когда количество приемов, подлежащих переделке, будет более 30%.

Окончательные значения направлений получают как среднее арифметическое из направлений, измеренных в отдельных приемах.

С о с о б и р и е м о в (способ измерения отдельного угла). Порядок наблюдений при измерении одного угла между двумя направлениями остается таким же, как и в способе приемов. Отличие состоит лишь в том, что не производят повторного наведения на начальную точку и вращают алидаду и в первом и во втором полуприемах или только по ходу или только против хода часовой стрелки.

Пример записи и вычислений в журнале при измерении отдельного угла в первом приеме приведен в табл. 30. Значения углов в полуприемах, а также и в отдельных приемах не должны различаться более чем на $\pm 8''$.

Окончательное значение угла вычисляют как среднее арифметическое из углов, измеренных в отдельных приемах.

При измерении отдельных углов или направлений теодолитами, предусмотренными Инструкцией [14], результаты измерений должны находиться в пределах допусков, указанных в табл. 31.

В полигонометрии 4 класса для теодолитов ОТ-02 и Т1 число приемов установлено 4.

6. Измерение углов по трехштативной системе. Измерение углов в полигонометрическом ходе выполняют с применением трехштативной (или многостативной) системы, которая позволяет, с одной стороны, ослабить влияние погрешностей центрирования и редукции на передачу дирекционных углов в ход и, с другой стороны, значительно повысить продвиг работ.

Комплект приборов, применяемых при измерении углов по трехштативной системе, должен удовлетворять следующему условию: при замене теодолита визирной маркой или оптическим центриром оси последних должны занимать в пространстве то же самое положение, которое занимала ось вращения теодолита. К теодолиту Т2 по особому заказу изготавливается комплект приборов КВЦ для измерения углов по трехштативной системе, включающий: 4 визирные марки, 3 подставки, 3 штатива с отвесом, 1 оптический двухсторонний отвес ОДО, 1 вешку на теодолит и другое оборудование.

Журнал измерения углов способом приземов

Пункт 5

Погода: облачно, ветер умеренный

Теодолит Т2 № 103145

Видимость: удовлетворительная

Дата 21 июля 1976 г.

Изображения: спокойные

Наблюдатель Л. В. Шубин

Вычислитель С. К. Носиков

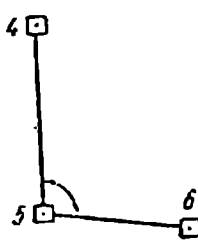
№ призма	Название направления	Круг	Отсчеты по штрихам нитки	Отсчеты по микрометру		$\frac{a_1 + a_2}{2}$	2C = КЛ - КП	$\frac{КЛ + КП}{2}$	Значение углов
				a ₁	a ₂				
I	4	КЛ	0° 00"	46,2"	47,2"	46,7"	-11,2"	52,3"	113° 52' 41,0"
		КП	180 00	57,4	58,4	57,9			
 Рис. 44.	6	КЛ	113 53	27,1	26,5	26,8	-13,3	33,3	
		КП	293 53	39,6	40,0	39,8			

Таблица 31

Элементы измерений, к которым относятся допуски	Типы инструментов		
	ОТ-02, Т1	Т2, ТБ1, ОТС, Тисо-010 и их равноточные	Т5 и ему равноточные
Расхождение между значениями одного и того же угла, полученного из двух полуприемов	6"	8"	0,2'
Колебание значений угла, полученных из разных приземов	5	8	0,2
Расхождение между результатами наблюдений на начальное направление в начале и конце полуприема	6	8	0,2
Колебания значений 2C в призмах	6	12	0,2
Колебания направлений в отдельных призмах, приведенных к общему нулю	5	8	0,2

Для измерения углов в полигонометрическом ходе по трехштативной системе устанавливают в трех соседних вершинах A, B, C хода (рис. 45) три штатива с закрепленными на них подставками. На заднем и переднем штативах A и C устанавливают визирные марки, на среднем B — теодолит. Марки и теодолит центрируют и приводят в рабочее положение. После измерения угла штатив с подставкой из A переносят в D , а два других штатива остаются на месте. Марку, стоящую в точке A , переставляют в подставку, установленную в точке B . Теодолит ставят в подставку точки C , а переднюю марку из точки C переносят и ставят

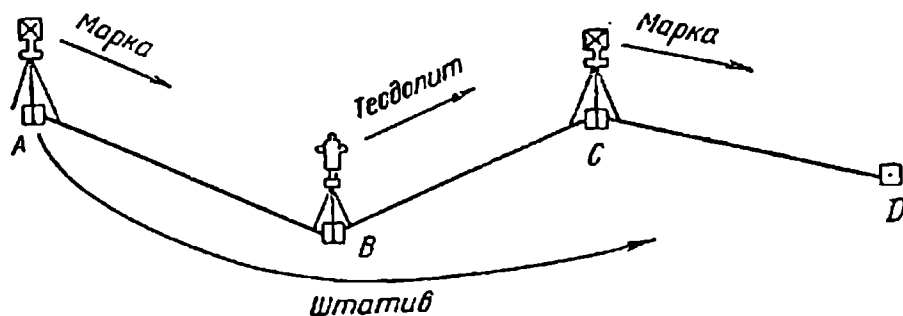


Рис. 45. Трехштативная система

в подставку на штативе, установленном уже в точке D . После этого измеряют угол BCD . Таким же порядком измеряют и все другие углы в ходе.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. В период теоретического обучения задание по изучению приборов для угловых измерений, их исследований и проверок, а также измерение углов выполняет каждый студент. В период учебной практики измерение углов при проложении полигонометрических ходов выполняет бригада из пяти студентов с таким распределением обязанностей:

- 1) исследования и проверки приборов выполняет каждый студент;
- 2) измерение углов: наблюдатель, помощник наблюдателя, вычислитель и двое рабочих. Эти обязанности выполняются последовательно каждым членом бригады по плану чередования, составленному руководителем.

По окончании работ подлежат сдаче оформленные, вычисленные и проверенные полевые журналы:

- 1) исследований и проверок приборов;
- 2) измерения углов.

ЗАДАНИЕ III.2

ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ В ПОЛИГОНОМЕТРИИ СВЕТОДАЛЬНОМЕРАМИ

1. Задача: ознакомиться с устройством светодальномеров СТ-62М (СТ-65) и КДГ-3 (СМ-3), изучить правила работы с ними и методику измерения линий, измерить длины линий и обработать полученные результаты.

II. Литература: *Светодальномер* топографический СТ-62М (краткая инструкция по работе с СТ-62М). М., МИИГАиК, 1968.
Кондрашнов А. В. Электрооптические и радиогеодезические измерения. М., «Недра», 1972.

III. Приборы, принадлежности и пособия: светодальномерный комплект (приемопередатчик, два отражателя, аккумулятор, три штатива, три зонта, термометр, барометр), журнал, ручка, арифмометр, теодолит, рулетка тесьмаяная.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) ознакомление со светодальномерным комплектом;
- 2) изучение правил обращения со светодальномерным комплектом и его поверки;
- 3) установка комплекта для работы;
- 4) освоение методики наблюдения и измерения расстояний;
- 5) вычисление измеренных расстояний;
- 6) определение постоянной поправки светодальномера.

В настоящее время при измерении линий в полигонометрии 4 класса 1 и 2 разряда применяются визуальные светодальномеры с плавным изменением частоты СТ-62М (СТ-65), ТД-2, светодальномеры с фиксированными частотами КДГ-3 (СМ-3), МСД-1М, БОК-2000, геодиниметры различных моделей и некоторые другие.

В этой главе рассматриваются два типа светодальномеров СТ-62М и КДГ-3.

С в е т о д а л ь н о м е р СТ-62М (СТ-65)

1. Ознакомление со светодальномерным комплектом. Светодальномер фазовый с плавным изменением частоты модуляции света.

Краткая техническая характеристика

Потребляемая мощность	30 Вт
Источник излучения	лампа накаливания
Источник питания	аккумулятор
Дальность действия:	
днем	от 150 до 2000 м
ночью	до 5000 м
Масса комплекта	70 кг
Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния	по формуле (III.18)

$$m = (15 + 3 \cdot 10^{-6} D) \text{ мм.} \quad (\text{III.18})$$

Общий вид светодальномера СТ-62М представлен на рис. 46.

О т р а ж а т е л и, входящие в комплект светодальномера СТ-62М (СТ-65). В комплект светодальномера входят два зеркально-линзовых отражателя (рис. 47). Зеркально-линзовая система отражателей состоит из 18 зеркал и 18 объективов. В отражателе имеется вызирное устройство, предназначенное для наведения его на объектив светодальномера.

2. Правила обращения со светодальномерным комплектом СТ-62М (СТ-65) и его поверки. Светодальномер СТ-62М является

точным электронно-оптическим прибором и требует аккуратного и бережного обращения с ним. Для того чтобы прибор надежно и долго служил, необходимо:

- а) прежде чем вынуть прибор из ящика, надо внимательно рассмотреть и запомнить порядок укладки прибора;
- б) не переворачивать прибор, оберегать его от ударов;
- в) закрывать от солнца и дождя зонтом;
- г) не нарушать порядок включения тумблеров:

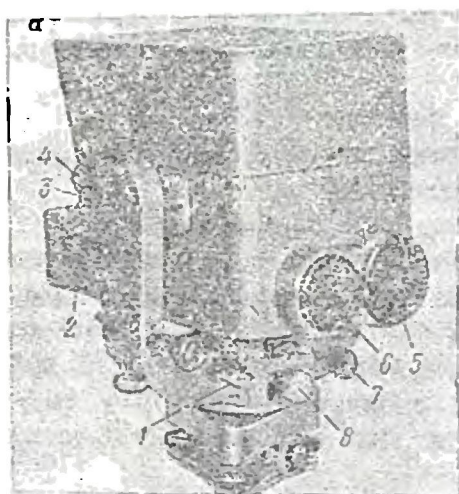


Рис. 46. Общий вид светодальмера СТ-62М:

1 — разъем кабеля; 2 — ручка изменения частоты; 3 — патрон лампочки подсветки шкалы; 4 — ручка регулировки яркости; 5 — приемная труба (объектив); 6 — передающая труба (объектив); 7 — наводный винт; 8 — закрепительный винт; 9 — кнопка включения подсветки шкалы; 10 — тумблер включения накала лампы; 11 — тумблер включения источника света; 12 — предохранитель; 13 — тумблер включения калибровочных точек «100 кГц»; 14 — тумблер включения калибровочных точек «100 кГц» и «110 кГц»; 15 — контрольный прибор; 16 — тумблер включения анодного напряжения; 17 — ручка регулировки поляризующего напряжения; 18 — тумблер переключения рода работ контрольного прибора; 19 — ручка подстройки выходного контура в резонанс; 20 — гнездо включения телефона; 21 — крышка источника света; 22 — окуляр; 23 — кольцо полиронда

д) правильно подключать питание (плюс к плюсу и минус к минусу), следить за тем, чтобы ключ вставки вошел в гнездо штеккера;

е) не применять нестандартных предохранителей;

ж) следить за тем, чтобы не были замкнуты банки аккумулятора;

з) едкое кали и едкий натр являются сильнодействующей щелочью, поэтому обращаться с ними надо осторожно;

и) не держать в одном помещении щелочные и кислотные аккумуляторы;

к) во время зарядки аккумуляторов не подносить к ним зажженную спичку или сигарету;

л) через каждые 6 месяцев менять электролит.

Проверки светодальномерного комплекта. Проверка, настройка и юстировка электроники и оптики свето-

дальпомеров и отражателей выполняются в условиях мастерской.

Проверки оптических центриров и уровней, входящих в комплект, производятся по обычной методике (см. Проверки теодолитов).

Проверка и установка визирных устройств отражателей производится по максимальной интенсивности отраженного света, которой добиваются вращением отражателя вокруг горизонтальной и вертикальной осей. Максимальная интенсивность света оценивается наблюдателем, находящимся у светодальномера; по его сигналу положение отражателя фиксируется и пересечение нитей сетки визира устанавливается исправительным винтом на центр объектива передающей трубы светодальномера.

3. Установка комплекта для работы. Приемопередатчик и отражатель устанавливаются над точками по оптическому центриру и уровню. Затем при помощи кабеля приемопередатчик подключается к аккумулятору. Тумблеры «накал», «свет» и «аподное напряжение» должны находиться в положении «выключено».

После подключения аккумулятора вольтметр должен показывать напряжение питания 12,6 В (тумблер 18 находится в положении «напряжение питания» — см. рис. 46).

Если вольтметр будет показывать 6 В, то: 1) надо проверить и сменить предохранитель, 2) или проверить контакты в аккумуляторной батарее.

Если вольтметр будет показывать 0 В, то: 1) надо проверить правильность подключения кабеля, 2) или очистить штекерный разъем от окиса, 3) или проверить исправность проводки в кабеля.

Дальнейшее включение производится следующим образом.

1. Включается накал лампы источника света тумблером 11.

2. Включается накал лампы генератора высокой частоты тумблером 10.

3. После 3 мин прогрева лампы можно включать аподное напряжение тумблером 16.

4. Тумблер 18 переключается в положение «индикатор резонанса».

5. Подстраивается выходной контур генератора высокой частоты в резонанс с задающим каскадом вращением ручки

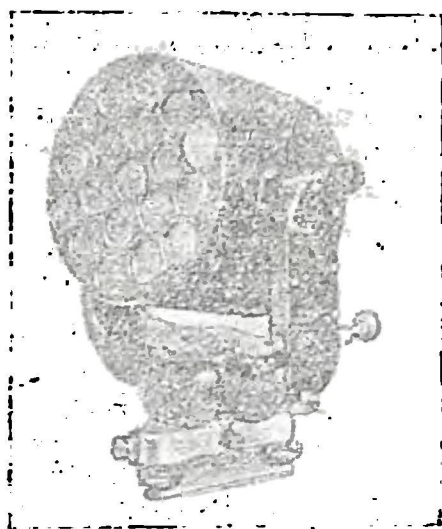


Рис. 47. Зеркально-линзовый отражатель для светодальномера СТ-62М

«подстройка» 19 до отклонения стрелки прибора в крайнее правое положение.

Затем производится юстировка остроты минимума (улучшение глубины модуляции) в следующем порядке:

1. При открытом поляроиде и выключенном анодном напряжении при помощи наводящих впитов производится точная установка изображения отражателя (по отраженному свету) в зазоре конденсатора Керра.

2. Поляроид закрывается (поворотом кольца поляроида против часовой стрелки до минимального свечения отражателя).

3. Включается анодное напряжение и грубо находится минимум по отраженному световому потоку при вращении ручки «частота».

4. Устанавливается поляризующее напряжение ручкой «поляризующее напряжение», таким образом, чтобы остаточный свет от отражателя в минимуме был наименьшим.

5. Проверяется юстировка остроты минимума путем изменения частоты генератора и поляризующего напряжения.

Изменением поляризующего напряжения не всегда удается полностью устранить остаточный свет. В этом случае следует воспользоваться диафрагмами из комплекта прибора. Подбором диафрагм можно уменьшить остаточный свет и тем самым увеличить остроту минимума. После этого проверяется правильность работы калибратора прослушиванием калибровочных точек при различных положениях тумблеров 13 и 14 и составляется рабочая таблица калибровочных точек.

1. При положении тумблера 13 «0» и тумблера 14 «100 кГц» при вращении ручки «частота» должны быть слышны калибровочные точки через каждые 100 кГц (30—35 делений).

2. При положении тумблера 13 «0» и тумблера 14 «110 кГц» должны быть слышны калибровочные точки через 110 кГц (34—39 делений).

3. При положении тумблера 13 «10 кГц» (положение тумблера 14 не учитывается) должны быть слышны калибровочные точки через 10 кГц (3,0—3,5 делений).

4. Для составления таблицы калибровочных точек прослушиваются по головным телефонам и записываются точки нулевых бепеий через 100 и 110 кГц (табл. 32). Для опознавания точек по номиналам частоты вначале следует пойти три точки совпадения калибровочных точек в диапазоне частот, следующих через 100 и 110 кГц. В точках совпадения имеем соответственно частоты 24 200, 25 300 и 26 400 кГц. Опознавание калибровочных точек, кратных частоте 10 кГц, производится непосредственно в период измерений при калибровке шкалы путем счета их от известных калибровочных точек 100 или 110 кГц.

4. Методика наблюдения и измерение расстояний. Программа измерения длины должна состоять из 20 приемов наблюдения минимумов. На линиях длиной до 200 м наблюдаются два минимума,

Таблица калибровочных точек «100 кГц» и «110 кГц»

№ п/п	Отсчет	Частота, кГц	№ п/п	Отсчет	Частота, кГц
1	121	24 000	1	112	23 980
2	156	24 100	2	151	24 090
3	191	24 200	3	191	24 200
4	225	24 300	4	227	24 310
5	262	24 400	5	265	24 420
6	297	24 500	6	302	24 530
7	330	24 600	7	339	24 640
8	361	24 700	8	373	24 750
9	391	24 800	9	400	24 860
10	421	24 900	10	438	24 970
11	451	25 000	11	473	25 080
12	484	25 100	12	510	25 190
13	517	25 200			
14	547	25 300	13	547	25 300
15	581	25 400	14	584	25 410
16	613	25 500	15	617	25 520
17	643	25 600	16	651	25 630
18	672	25 700	17	684	25 740
19	703	25 800	18	716	25 850
20	733	25 900	19	748	25 960
21	760	26 000	20	779	26 070
22	789	26 100	21	809	26 180
23	816	26 200	22	839	26 190
24	843	26 300			
25	870	26 400	23	870	26 400
26	896	26 500	24	898	26 510
27	923	26 600	25	928	26 620
28	949	26 700	26	957	26 730
29	976	26 800	27	988	26 840

длиной от 200 до 1000 м — четыре минимума, на линиях, длиннее 1000 м, — 6—10 минимумов.

Один прием состоит из четырех индикаций минимума, имеющих попарно противоположное изменение частоты модуляции света, с последующим отсчетом по шкале генератора. Для получения надежного значения числа N одну половину наблюдаемых минимумов выбирают в начале, а другую в конце используемого диапазона шкалы генератора.

Измерение линии начинается с подсчета числа минимумов, укладывающихся в диапазоне от 0 до 1000 на шкале генератора. Для этого наблюдатель, плавно изменяя частоту модуляции в сторону увеличения отсчета, добивается минимального свечения отражателя, затем производит в журнале запись отсчета по шкале напротив порядкового номера соответствующего минимума в столбце «Счет минимумов по шкале».

Затем осуществляется наблюдение каждого выбранного минимума (1, 2, 7, 8) в следующем порядке.

1. Производится опознание калибровочной точки, кратной 100 кГц, ближайшей к выбранному для наблюдения минимуму. Для этого тумблер 14 устанавливается в положение «100 кГц». Вращением ручки «частота» по нулевым делениям, прослушиваемым с помощью головных телефонов, устанавливаются и берутся отсчеты на младшую или старшую ближайшую к минимуму калибровочные точки, кратные 100 кГц. Отсчеты записываются в строку «Кварц 100 кГц».

2. Производится калибровка шкалы через 10 кГц от выбранной калибровочной точки, кратной 100 кГц, до точки, отсчет на которую превышает значение минимума, записанного в журнале (168). В нашем примере для первого минимума отсчеты 160,4; 164,4; 168,4; 172,4 в строке «Кварц 10 кГц». Точки прослушиваются при включении тумблера 13 на 10 кГц (положение тумблера 14 не учитывается) с помощью головных телефонов.

3. Производится наблюдение минимума необходимым числом приемов. В каждом приеме первый отсчет берется при подходе к минимуму со стороны младших отсчетов шкалы, второй со стороны старших отсчетов, третий со стороны младших и четвертый со стороны старших и т. д. Отсчеты записываются в журнале, причем на линиях до 1,5 км отсчеты берутся до целых делений, а на линиях, превышающих 1,5 км, — до десятых долей деления.

4. Производится повторная калибровка шкалы через 10 кГц в обратном порядке.

Если отсчеты калибровочных точек при повторной калибровке отличаются больше чем на одно деление по отношению к первоначальным, то наблюдения минимума повторяют.

5. Вычисление измеренных расстояний. Обработка журнала измерения линий (табл. 33).

1. Вычисляется среднее значение со стороны как младших, так и старших отсчетов. Для первого минимума они равны 161,8; 161,4 и 170,6; 171,2. Среднее значение минимума в делениях шкалы будет 166,2.

2. Вычисляются средние значения калибровочных точек через 10 кГц (164,6; 168,6; 172,6).

3. В строке «Частота» выписываются значения частот соответствующих кварцевых точек, кратных 10 кГц от опорной точки, кратной 100 кГц, значение частоты которой взято из таблицы калибровочных точек (24 100).

4. Частота, соответствующая данному минимуму, определяется линейной интерполяцией. Частота вычисляется до 0,1 кГц ($f_1 = 24 114,0$).

Вычисление частот, соответствующих остальным минимумам, осуществляется аналогично.

5. Максимальные расхождения между средними значениями минимума в парах отсчетов не должны превышать для

D	Δ	200 м	18 делений	шкалы
D	Δ	400 »	9 »	»
D	Δ	600 »	6 »	»
D	Δ	800 »	5 »	»
D	Δ	1000 »	4 »	»
D	Δ	1500 »	3 »	»
D	Δ	2000 »	1 »	»

В ы ч и с л е н и е д л и н ы л и н и и. 1. Вычисление измеренного расстояния производится по формуле

$$D = \frac{c}{2} \cdot \frac{N}{f} + K, \quad (\text{II.19})$$

где c — скорость света в атмосфере при $t = 12^\circ$ и $P = 740$ мм рт. ст.;

f — частота модулированного колебания;

N — число целых волн плюс 0,5 волны, уложившихся в двойном измеренном расстоянии;

K — постоянная поправка прибора.

2. Число N вычисляется по формуле

$$N_i = \frac{f_i}{\Delta f_{i-k}} \cdot n_i \quad (\text{III.20})$$

где $n = i - k$ — разности порядковых номеров минимумов, соответствующие частоты которых взяты для вычисления N .

П р и м е р 1. В результате обработки журнала имеется четыре частоты

$$f_1 = 24\,114,0,$$

$$f_2 = 24\,380,3,$$

$$f_3 = 25\,716,0,$$

$$f_8 = 25\,979,7,$$

находим N_1, N_2, N_7 и N_8 по формуле (III.20)

$$N_1 = \frac{f_1}{f_7 - f_1} \cdot n \quad (n = 7 - 1 = 6), \quad N_1 = \frac{24\,114,0}{1608,0} \cdot 6 = 90,25;$$

$$N_2 = \frac{f_2}{f_8 - f_2} \cdot n \quad (n = 8 - 2 = 6), \quad N_2 = \frac{24\,380,3}{1599,4} \cdot 6 = 91,48;$$

$$N_7 = \frac{f_7}{f_7 - f_1} \cdot n \quad (n = 6), \quad N_7 = \frac{25\,717,0}{1608,0} \cdot 6 = 96,25;$$

$$N_8 = \frac{f_8}{f_8 - f_2} \cdot n \quad (n = 6), \quad N_8 = \frac{25\,979,7}{1599,4} \cdot 6 = 97,48.$$

Возможны и другие комбинации частот. Полученные значения округляются до их теоретического значения, равного $N_1 = 90,5$, $N_2 = 91,5$, $N_7 = 96,5$, $N_8 = 97,5$. Разности величин N равны разностям порядковых номеров минимумов, например $N_7 - N_1 = 7 - 1 = 6$.

Журнал измерений длины систоального периода

СТ-62М Измеряемая длина 2870—19

СТ-65 Точка стояния 2870. Условия видности солнца

Дата 29 октября 1973 г. Время 12 ч. Температура +10°

Давление 756 мм рт. ст. Высота прибора 1.80 м. Высота отражателя 1.81 м

Наблюдатель А. А. Степанов
Вычислитель И. С. Иванов

Порядок наблюдений и вычислений	Отсчеты по шкале генератора				Среднее	Счет минимально по шкале
	I	II	III	IV		
Минимум 1	160	167	160	169		1
	162	172	162	172		2
	163	172	161	172		3
	160	171	162	173		4
	164	171	162	170		5
Среднее	161.8	170.6	161.4	171.2	166.3	6
Кварц	160.4	Кварц	160.4	168.4	172.4	7
100 кгц		10 кгц	164.7	168.8	172.8	8
Среднее		Среднее	164.6	168.6	172.6	9
Частота f	24 100		24 100	24 120	24 130	10
					$f_1 =$	24 114.0
Минимум 2	264	271	262	272		11
	262	272	263	273		12
	262	272	262	274		13
	262	272	263	274		14
	263	271	264	272		15

Среднее	262.6	271.6	267.1		262.8	273.0	267.9	267.5	16
Кварц	274.5		Кварц	263.5	267.3	270.9	274.4		17
100 кГц			10 кГц	263.5	267.5	271.0			18
Среднее			Среднее	263.5	267.4	271.0			19
Частота f	24 400			24 370	24 380	24 390	24 400	$f_2 = 24\,380.3$	20
Минимум 7	682	673			681	672			21
	683	672			681	671			22
	684	671			683	670			23
	682	672			684	672			24
	683	674			681	670			25
Среднее	682.8	672.4	677.6		682.0	671.0	676.5	677.0	26
Кварц	672.1		Кварц	672.1	675.1	678.1	681.1		27
100 кГц			10 кГц		675.4	678.4	681.4		28
Среднее			Среднее		675.2	678.2	681.2		29
Частота f	25 700			25 700	25 710	25 720	25 730	$f_7 = 25\,716.0$	30
Минимум 8	758	749			760	749			31
	762	749			758	749			32
	758	746			762	749			33
	758	748			761	751			34
	761	751			762	750			35
Среднее	759.4	748.6	754.0		760.4	749.6	755.0	754.5	36
Кварц	760.5		Кварц	760.5	757.5	754.4	751.3		37
100 кГц			10 кГц		757.8	754.7	751.6		38
Среднее			Среднее		757.6	754.6	751.4		39
Частота f	26 000			26 000	25 990	25 980	25 970	$f_8 = 25\,979.7$	40

Значения длин линий вычисляются при $c = 299\,708,6$ км/с или $\frac{c}{2} = 149\,854,3$ км/с при $t = +12^\circ$ и $P = 984$ мм рт. ст.

$$D_1 = 149\,854,3 \cdot \frac{90,5}{24\,414,0} = 562,404 \text{ м;}$$

$$D_2 = 149\,854,3 \cdot \frac{91,5}{24\,380,3} = 562,407 \text{ м;}$$

$$D_7 = 149\,854,3 \cdot \frac{96,5}{25\,716,0} = 562,332 \text{ м;}$$

$$D_8 = 149\,854,3 \cdot \frac{97,5}{25\,979,7} = 562,392 \text{ м.}$$

Вычисляется $D_{\text{ср}} = 562,384$ м.

Все вычисления можно свести в табл. 34.

Т а б л и ц а 34

Вычисление расстояний по измерениям, выполненным
состоятельным номером СТ-62М

№ линии- мула	l	Δl	n	N	D	r , мм
1	24 414,0	1602,0	6	90,5	562,404	20
2	24 380,3	1599,4	6	91,5	562,407	23
7	25 716,0	1602,0	6	96,5	562,332	52
8	25 979,7	1599,4	6	97,5	562,392	08

$$D_{\text{ср}} = 562,384; \Sigma u^2 = 3697.$$

Вычислял П. З. Иванов

Расстояние s вычисляется по формуле

$$s = D_{\text{ср}} + K + \delta_n + \delta_H + \delta_L, \quad (\text{III.21})$$

где K — суммарная постоянная поправка приемопередатчика и отражателя;

$\delta_n, \delta_H, \delta_L$ — соответственно поправки за приведение линий к горизонту, к уровню моря и за переход на плоскость в проекции Гаусса.

Поправки за температуру и давление можно не вводить ввиду их малости для линий до 1 км.

Оценка точности производится по внутренней сходимости по формулам

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}} = \sqrt{\frac{[3697]}{3}} = 35 \text{ мм,} \quad (\text{III.22})$$

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \frac{35}{4} = 8,8 \text{ мм,} \quad (\text{III.23})$$

* Измеряются углы наклона линий или используются отметки конечных точек измеряемой линии.

где m , M — соответственно средняя квадратическая погрешность одного минимума и результатов измерений.

Предельные расхождения между расстояниями, полученными для четырех минимумов, должны быть при

$$0,2 < s < 0,5 \text{ км} \leq 7 \text{ см};$$

$$0,5 < s < 1,0 \text{ км} \leq 8 \text{ см};$$

$$1,0 < s < 1,5 \text{ км} \leq 9 \text{ см};$$

$$1,5 < s < 2,0 \text{ км} \leq 10 \text{ см};$$

$$2,0 < s < 3,0 \text{ км} \leq 12 \text{ см}.$$

Ошибка определения N не должна превышать 0,3 единицы.

6. Определение постоянной поправки светодальномера. Для определения постоянной поправки прибора выбирается линия, примерно равная средней длине линии в полигонометрическом ходе (ее длина должна быть кратной целому числу уложенных сварной проволоки). Концы линии закрепляются бетонными знаками.

Эта линия измеряется двумя сварными проволоками или одной — прямо и обратно. В результате измерения длина базисной линии должна быть получена с относительной погрешностью не более 1 : 50 000. (Расчет необходимых допусков для основных источников погрешностей при измерении линии сварной проволокой — см. задаче III.7; метод измерения линий проволокой — см. задаче III.3).

При вычислении длины базиса поправки за приведение к уровню моря и за переход на плоскость в проекции Гаусса не вводятся.

Постоянная поправка светодальномера K определяется как разность между значениями линии, определенными проволоками и светодальномером, т. е.

$$K = s_{\text{пр}} - s_{\text{св}}, \quad (\text{III.24})$$

где

$$s_{\text{св}} = D_{\text{ср}} + \delta_h. \quad (\text{III.25})$$

Определение постоянной поправки K на базисной линии производится не менее двух раз при различных температурах окружающего воздуха, в обработку вводится среднее значение $K_{\text{ср}}$.

С в е т о д а л ь н о м е р КДГ-3 *

При изучении светодальномера КДГ-3 сохранены последовательность, принятую для светодальномера СТ-62М.

* Светодальномер СМ-3 (новый ГОСТ) отличается от КДГ-3 некоторыми улучшенными характеристиками и оформлением шкалы контрольного прибора.

д. Ознакомление со светодальномерным комплектом. КДГ-3 фазовый светодальномер, работающий на трех фиксированных частотах, его общий вид представлен на рис. 48.

Краткая техническая характеристика

Потребляемая мощность	5 В
Источник излучения	светодиод (кристалл арсенида галлия)
Источник питания	аккумуляторная батарея
Дальность действия	от 2 до 1600 м
Масса комплекта	48 кг
Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния	по формуле (III.26)

$$m = (15 + 2 \cdot 10^{-6} D), \text{ мм.} \quad (\text{III.26})$$

О т р а ж а т е л и, входящие в комплект КДГ-3. Применяемые отражатели могут быть трипельпризменными или зеркально-лин-

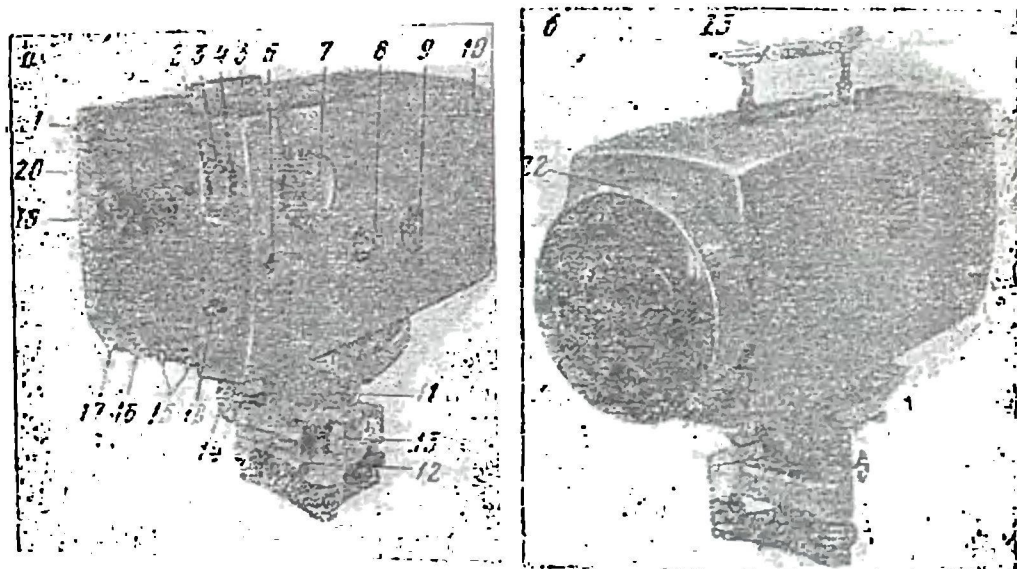


Рис. 48. Общий вид светодальномера КДГ-3:

1 — рабочая панель; 2 — шкала контрольного прибора; 3 — шкала пульс-индикатора; 4 — шкала измерения разности фаз; 5 — грубый визир; 6 — переключатель «грубо-точно»; 7 — ручка фазовращателя; 8 — ручка «визир — измерение»; 9 — ручка «нуль-визир — дистанция»; 10 — крышка кожуха; 11 — поворотное устройство; 12 — закрепительный винт; 13 — микрометрический винт; 14 — переключатель «контроль»; 15 — переключатель подсветки шкал; 16 — переключатель фазы 0—90; 17 — выключатель питания; 18 — ручка оптимизации сигнала; 19 — окуляр; 20 — дверца; 21 — переключатель частот; 22 — оправа объектива; 23 — выдвижная ручка

зовым. Трипельпризменные отражатели состоят из трех сменных блоков: основного, верхнего и нижнего. Каждый блок включает двадцать восемь трипельпризм, пакованных с внутренней стороны стеклянной пластины.

Зеркально-линзовый отражатель состоит из системы 39 зеркал и линз, заключенных в общий кожух. Сороковая ячейка занята визирным устройством (рис. 49).

2. Правила обращения и поверки светодалекомерного комплекта КДГ-3 идентичны светодалекомеру СТ-62М, п. 2 (стр. 117).

П р и м е ч а н и е. Поскольку излучение КДГ-3 лежит в невидимой инфракрасной зоне поверку и установку визирного устройства зеркально-линзового отражателя надо производить по стрелочному прибору светодалекомера или использовать дополнительный источник видимого света.

3. Установка и включение приемопередатчика КДГ-3. Приемопередатчик устанавливается над точкой по оптическому центру и уровню, при помощи кабеля подключается к аккумулятору и тумблер 17 (см. рис. 48) устанавливается в положение «выкл.». Тумблер 6 устанавливается в положение «грубо». Переключатель 14 устанавливается в положение «12В». Переключатель частот 21 устанавливается в положение I (первая частота). Тумблер 15 устанавливается в положение «выкл.».

Переключатель «термостат» на блоке питания при температурах выше 0° устанавливается в положение «нормальный прогрев» (НП), а при температурах ниже 0° — в положение «ускоренный прогрев» (УП).

Переключатель рода работ «рабочий режим — заряд» на блоке питания ставится в положение «рабочий режим». Затем открывается дверца 20 на передней панели прибора.

Поворачивается ручка «ток ФЭУ» до упора. Устанавливается ручка «ток ИЗЛ» в среднее положение. Переключатель 9 устанавливается в положение «нуль», переключатель 8 в положение «измерение». Выводится полностью диафрагма (вращением ручки оптимизации сигнала по часовой стрелке) и включается тумблер 17. Показание индикатора должно быть в пределах цветной метки.

Переключатель 14 устанавливается в положение «ток излучателя» (ИЗ), стрелка индикатора ручкой «ток. изл.» устанавливается точно по цветному штриху.

Переключатель 14 устанавливается в положение «ток ФЭУ» (ТФ). Вращением ручки «ток ФЭУ» на передней панели стрелка индикатора устанавливается точно по цветному штриху.

Переключатель 14 устанавливается в положение «ток общий» (ТО). Показание индикатора должно быть в пределах цветной метки.

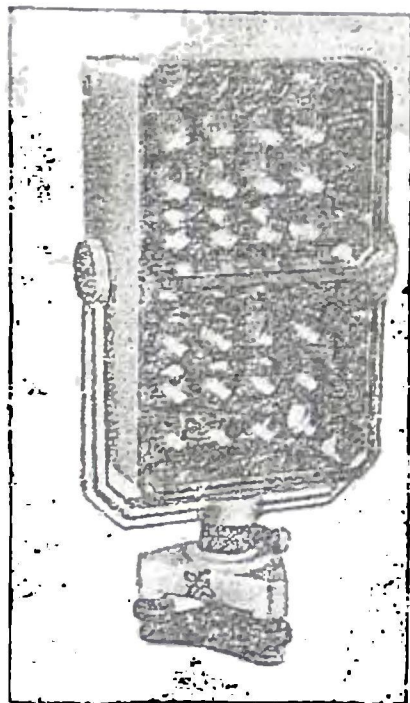


Рис. 49. Зеркально-линзовый отражатель для светодалекомера КДГ-3

Переключатель 14 устанавливается в положение «ток термостата» (ТТ). Показание индикатора должно быть не меньше 50% шкалы. Готовность термостата определяется с момента периодического возврата стрелки индикатора на нуль, что указывает на нормальное функционирование термостата.

Переключатель 14 устанавливается в положение «модуляция» (МО). Переключатель частоты 21 устанавливается поочередно в положение I, II, III, для проверки уровня модуляции. Показание индикатора должно быть не ниже цветной метки.

Переключатель 14 устанавливается в положение «промежуточная частота» (ПЧ). Переключатель 21 устанавливается в положение I. Показание индикатора должно быть не ниже цветной метки. Тумблер 16 переключается в положение 90°, и измеряется уровень напряжения.

Показание индикатора не должно отличаться более чем на 0,5 деления шкалы. То же самое повторяется на частотах II и III. Ручка 8 устанавливается в положение «измерение», а ручка 9 в положение «нуль».

Переключатель 14 устанавливается в положение «ИН». Поворотом ручки фазовращателя добиваются максимального отклонения стрелки индикатора (стрелка должна отклоняться не менее чем на 70%). Тумблер 6 устанавливается в положение «точно». Переключатель частот в положение I. Ручкой потенциометра «баланс» на панели прибора при одновременном вращении ручки фазовращателя добиваются, чтобы разность между нулевыми отсчетами ($\varphi_1 \pm 180^\circ$) — отличалась от 180° не более чем на 2° .

После этого электрическая часть прибора к работе готова.

П р и м е ч а н и е. При температуре воздуха -20° переключатель «термостат» на блоке питания ставится в положение «форсированный прогрев» (ФП). При готовности термостата переключатель ставится в положение «ускоренный прогрев» (УП).

После этого ручка 9 ставится в положение «визир — дистанция», ручка 8 — в положение «визир». Перекрестие нитей сетки визира совмещается с геометрическим центром отражателя. Затем производится корректировка наведения светодальномера на отражатель. Для этого ручка 8 ставится в положение «измерение», ручка 9 остается в положении «визир — дистанция». Вращением ручки фазовращателя и поворотом прибора в горизонтальной плоскости производится наведение светодальномера на отражатель по максимальному отклонению стрелки «нуль-индикатора».

Ручкой диафрагмы устанавливается величина, равная (по не превышающая) величине сигнала с нулевого отсчета.

Если при измерении расстояние свыше 1,5 км величина сигнала с дистанции меньше $\frac{1}{3}$ величины сигнала с нулевого отсчета, разрешается увеличить ток ФЭУ на 0,5 деления выше метки и про- «баланс». Точность измерения гарантируется заводом при величине

сигнала (при установке тумблера «грубо — точно» в положение «грубо») не менее 1,5 делений по шкале «нуль-индикатора».

4. Методика измерения линий (табл. 35). Измерение расстояния производится на трех частотах

$$f_1 = 30,0 \text{ МГц};$$

$$f_2 = 27,0 \text{ »};$$

$$f_3 = 29,9 \text{ »}.$$

Переключатель 21 устанавливается в положение «1», что соответствует частоте $f_1 = 30 \text{ МГц}$. Переключатель 9 устанавливается в положение «нуль», а переключатель 8 — в положение «измерение». Тумблер 16 устанавливается в положение «0», переключатель 6 в положение «точно». Вращением рукоятки фазовращателя добиваются, чтобы стрелка нуль-индикатора установилась на 0 (допускаются симметричные колебания стрелки относительно нуля в пределах 2—3 делений шкалы). Для правильного снятия по шкале фазовращателя начального нулевого отсчета необходимо следить, чтобы движение стрелки нуль-индикатора к нулю совпадало с направлением вращения ручки фазовращателя (отсчет A_0^n в нашем примере 160). Верхний индекс «n» или «д» у буквы А обозначает или нулевой отсчет, или отсчет с дистанции, нижний — положение переключателя «фаза» 0 или 90° .

Ручка фазовращателя поворачивается на 180° и снимаются отсчеты по шкале фазовращателя, когда стрелка нуль-индикатора подходит к 0 со стороны, противоположной направлению вращения ручки (отсчет B_0^n в нашем примере 338). Отсчеты A_0^n и B_0^n снимаются дважды (161 и 339). Ручка 9 переводится в положение «визир — дистанция». Снимаются отсчеты A_0^d и B_0^d на дистанцию аналогично снятию нулевых отсчетов (186 и 8; 185 и 8). Производится контроль: $(186 - (180 + 8))$; $185 - (180 + 8)$; $(160 + 180) - 338$; $(161 + 180) - 339$ не должны превышать 3 единиц. Затем переключатель «фаза» устанавливается в положение 90° и производятся измерения, подобные проведенным, т. е. снимаются отсчеты A_{90}^n , B_{90}^n , A_{90}^d , B_{90}^d (для нашего примера 272 и 90 и 272 и 90; 296 и 117; 298 и 120). Контролируются разности. Аналогичные измерения производятся на II и III частотах. Для получения правильных отсчетов необходимо:

- а) вращать ручку фазовращателя всегда в одном направлении;
- б) следить, чтобы стрелка индикатора подходила к 0 шкалы при измерениях с дистанции с той же стороны, что и при снятии аналогичного нулевого отсчета.

5. Вычислительная обработка измерений (табл. 35, 36). Сначала производится вычисление средних значений отсчетов «дистанция» и «нуль» для каждой частоты. Затем вычисляются фазовые углы как разности между средними значениями отсчетов с дистанции и нулевых. В нашем примере для частоты f_1 при

Журнал измерения лпшй светодальпомером КДГ-3

Дата:

Лпшй

Точка стояния

Флаж	№ приема	Дистанция			Пуль			Среднее АД-АП БД-БП
		3	4	Δ	1	2	Δ	
Частота 1								
0	1	186	8	-2	160	338	+2	
	2	185	8	-3	161	339	+2	
	3							
	Среднее	185,5 186,8	8,0		160,5 159,5	338,5		
90	1	296	117	-1	272	90	+2	27,3
	2	298	120	-2	272	90	+2	27,0
	3							
	Среднее	297,0 297,8	118,5		272,0 271,0	90,0		26,8
Частота 2								
0	1	313	134	-1	252	70	+2	
	2	312	132	0	252	71	+1	
	3							
	Среднее	312,5 312,8	133,0		252,0 251,2	70,5		
90	1	204	25	-1	140	320	0	61,6
	2	200	22	-2	141	319	+2	62,2
	3							
	Среднее	202,5 202,8	23,5		140,5 140,0	319,5		62,8
Частота 3								
0	1	190	12	-2	150	329	+1	
	2	188	10	-2	150	328	+2	
	3							
	Среднее	189,0 190,0	11,0		150,0 149,2	328,8		
90	1	301	122	-1	261	80	+1	40,8
	2	304	126	-2	261,0	80,0	+1	41,8
	3							
	Среднее	302,5 303,2	124,0		261,0 260,5	80,0		42,8

Разность	Табличное	Практическое	Δ
$\varphi_1 - \varphi_2$	326,7	324,8	+1,9
$\varphi_1 - \varphi_3$	346,8	345,2	+1,6
			+3,5

$$D_1 = 0.013876 \cdot \varphi_1 + 4.995175 \cdot N_1.$$

фазе «0» имеем $27,3^\circ$, при фазе «90» — $26,8^\circ$, $\varphi_{1\text{ср}} = 27,0^\circ$; для f_2 при фазе «0» — $61,6^\circ$, при фазе «90» — $62,8^\circ$, $\varphi_{2\text{ср}} = 62,2^\circ$; для f_3 при фазе «0» — $40,8^\circ$, при фазе «90» — $42,8^\circ$, $\varphi_{3\text{ср}} = 41,8^\circ$. Вычисляются разности фазовых углов $\varphi_{1\text{ср}} - \varphi_{2\text{ср}}$ и $\varphi_{1\text{ср}} - \varphi_{3\text{ср}}$. $\varphi_{1\text{ср}} - \varphi_{2\text{ср}} = 324,8$, $\varphi_{1\text{ср}} - \varphi_{3\text{ср}} = 345,2^\circ$, которые записываются в табл. 35. По $\varphi_{1\text{ср}}$ (табл. 36) интерполированием находится $(\varphi_1 - \varphi_2)_{\text{табл}}$. При этом используется колонка φ_1 и ближайшее по значению к $\varphi_{1\text{ср}} - \varphi_{2\text{ср}}$ число; для нашего примера $(\varphi_1 - \varphi_2)_{\text{табл}} = 326,7$.

По $(\varphi_1 - \varphi_2)_{\text{табл}}$ (табл. 36) находится интерполированием $(\varphi_1 - \varphi_3)_{\text{табл}}$ как ближайшее к $(\varphi_1 - \varphi_3)_{\text{практик}}$. В примере оно равно $346,8$. Значения $(\varphi_1 - \varphi_2)_{\text{табл}}$ и $(\varphi_1 - \varphi_3)_{\text{табл}}$ записываются в табл. 35. Затем вычисляются

$$\Delta_1 = (\varphi_1 - \varphi_2)_{\text{табл}} - (\varphi_1 - \varphi_2)_{\text{практик}}$$

$$\Delta_2 = (\varphi_1 - \varphi_3)_{\text{табл}} - (\varphi_1 - \varphi_3)_{\text{практик}}$$

величины которых записываются в табл. 35.

Допуск на $|\Delta| \leq 3^\circ$ проверяется в поле и затем находится $\Sigma\Delta = +3,5^\circ$. Вычисляется расстояние для f_1 по формуле $D_1 = 0,013876 \cdot \varphi_1 + 4,995173 \cdot N_1$, где N_1 — число циклов. Число циклов N_1 находится по табл. 36. По значению $(\varphi_1 - \varphi_2)_{\text{табл}} = 326,7^\circ$ находятся единицы циклов, величина которых равна номеру колонки. В нашем примере это 9-я колонка, т. е. число циклов — 9. При помощи $(\varphi_1 - \varphi_3)_{\text{табл}} = 346,8$ находятся десятки циклов с использованием номера части таблицы I, II, III, в одной из которых располагается $(\varphi_1 - \varphi_3)_{\text{табл}}$ и номера колонки. В нашем примере это часть II и колонка 9. В верхней части таблицы на пересечении горизонтального ряда 2, который соответствует части II, с колонкой 9 находим число десятков циклов — 280.

Полное число циклов равно 289. Значение расстояния, вычисленное по первой частоте, равно $D_1 = 0,013876 \cdot 27,0 + 4,995173 \cdot 289 = 1443,981$ м. Среднее значение расстояния, вычисленное по трем частотам, находят по формуле

$$D_{\text{ср}} = D_1 + 5 \text{ мм} \cdot \Sigma\Delta, \quad (\text{III.27})$$

т. е. $D_{\text{ср}} = 1443,981 + 0,018 = 1443,999$ м.

Поправки в измеренное расстояние вводятся такие же, как и в расстояние, измеренное светодальномером СТ-62М (СТ-65).

6. Определение постоянной поправки КДГ-3 (см. п. 6 «Определение постоянной поправки СТ-62М (СТ-65).

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Бригада состоит из 5 человек: наблюдателя, вычислителя и 3 помощников. Два студента из числа помощников находятся у отражателей и в солнечную погоду, чтобы не допустить засветки объективов светодальномера и отражателей

Таблица определения N_1

1 2 3	а) б) в)	0 10 20	30 40 50	60 70 80	90 100 110	120 130 140	150 160 170	180 190 200	210 220 230	240 250 260	270 280 290	
	$\Phi_1 - \Phi_2$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Φ_1
I	30	1	37	73	109	145	181	217	253	289	325	10
	60	2	38	74	110	146	182	218	254	290	326	20
	90	3	39	75	111	147	183	219	255	291	327	30
	120	4	40	76	112	148	184	220	256	292	328	40
	150	5	41	77	113	149	185	221	257	293	329	50
	180	6	42	78	114	150	186	222	258	294	330	60
	210	7	43	79	115	151	187	223	259	295	331	70
	240	8	44	80	116	152	188	224	260	296	332	80
	270	9	45	81	117	153	189	225	261	297	333	90
	300	10	46	82	118	154	190	226	262	298	334	100
	330	11	47	83	119	155	191	227	263	299	335	110
	360	12	48	84	120	156	192	228	264	300	336	120
II	30	13	49	85	121	157	193	229	265	301	337	130
	60	14	50	86	122	158	194	230	266	302	338	140 3 0,1
	90	15	51	87	123	159	195	231	267	303	339	150 6 0,2
	120	16	52	88	124	160	196	232	268	304	340	160 9 0,3
	150	17	53	89	125	161	197	233	269	305	341	170 12 0,4
	180	18	54	90	126	162	198	234	270	306	342	180 15 0,5
	210	19	55	91	127	163	199	235	271	307	343	190 18 0,6
	240	20	56	92	128	164	200	236	272	308	344	200 21 0,7
	270	21	57	93	129	165	201	237	273	309	345	210 24 0,8
	300	22	58	94	130	166	202	238	274	310	346	220 27 0,9
	330	23	59	95	131	167	203	239	275	311	347	230 30 1,0
	360	24	60	96	132	168	204	240	276	312	348	240
III	30	25	61	97	133	169	205	241	277	313	349	250
	60	26	62	98	134	170	206	242	278	314	350	260
	90	27	63	99	135	171	207	243	279	315	351	270
	120	28	64	100	136	172	208	244	280	316	352	280
	150	29	65	101	137	173	209	245	281	317	353	290
	180	30	66	102	138	174	210	246	282	318	354	300
	210	31	67	103	139	175	211	247	283	319	355	310
	240	32	68	104	140	176	212	248	284	320	356	320
	270	33	69	105	141	177	213	249	285	321	357	330
	300	34	70	106	142	178	214	250	286	322	358	340
	330	35	71	107	143	179	215	251	287	323	359	350
	360	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360	360

и уменьшить перегрев светодающего элемента, закрывают их золотом. Рекомендуемое время наблюдения — утренние и вечерние часы.

Каждый студент измеряет одну линию. В процессе работы студенты меняются обязанностями по графику руководителя. При зачете предъявляются: журнал измерений и материалы исследований.

ЗАДАНИЕ III.3

ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ В ПОЛИГОНОМЕТРИИ ПРОВОЛОКАМИ

I. Задача: ознакомиться с устройством инструментов для измерения линий проволоками, произвести их исследования и поверки, измерить длины линий и обработать полученные результаты.

II. Литература. Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. II, М., Геодезиздат, 1962, глава X.

III. Приборы и пособия: базисный прибор БП-3, нивелир НЗ или НС4 со штативом, теодолит (для вешения), термометр-пращ, трос или бечева длиной 24 м, зонт топографический, таблицы для вычисления поправок за приведения к горизонту 24- и 48-метровых пролетов, таблицы коэффициентов K для вычисления поправок за приведение длин линий на плоскость и к уровню моря, журнал измерения длин линий, журнал нивелирования штативов с целниками, ручки.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) ознакомление с устройством базисного прибора БП-3;
2) производство исследования и поверок базисного прибора БП-3;

3) измерение линии с помощью базисного прибора БП-3;

4) обработка полевых журналов и вычисление длины линии.

Для измерения линий в полигонометрии проволоками необходимо иметь базисный прибор БП-3 (или БП-2), нивелир НС4 или НЗ со штативом, теодолит для вешения (любого типа), термометр-пращ.

1. Ознакомление с устройством базисного прибора БП-3. В комплект базисного прибора (рис. 50) входят: 3 инварных проволоки, инварная лента (на рис. не показана), 10 штативов с целниками, 2 блочных станка с гирями по 10 кг, 2 оптических центрира, рейка для нивелирования целников. Базисный прибор БП-2 в отличие от БП-3 имеет 4 проволоки, 20 штативов с целниками и еще дополнительно 20 целников для колец.

М е р н а я п р о в о л о к а. Служит для измерения расстояний. Мерная проволока изготавливается из инвара — сплава, состоящего примерно из 36% никеля, 64% стали и 0,5% различных примесей (углерода, кремния, марганца и др.), добавленных для придания инвару тягучести, ковкости, твердости и т. д. Инвар обладает малым температурным коэффициентом линейного расширения, около $0,5 \cdot 10^{-6}$, и изменением длины не более 2 мм на 1 м в год. Проволока имеет длину 24 м и диаметр поперечного сечения

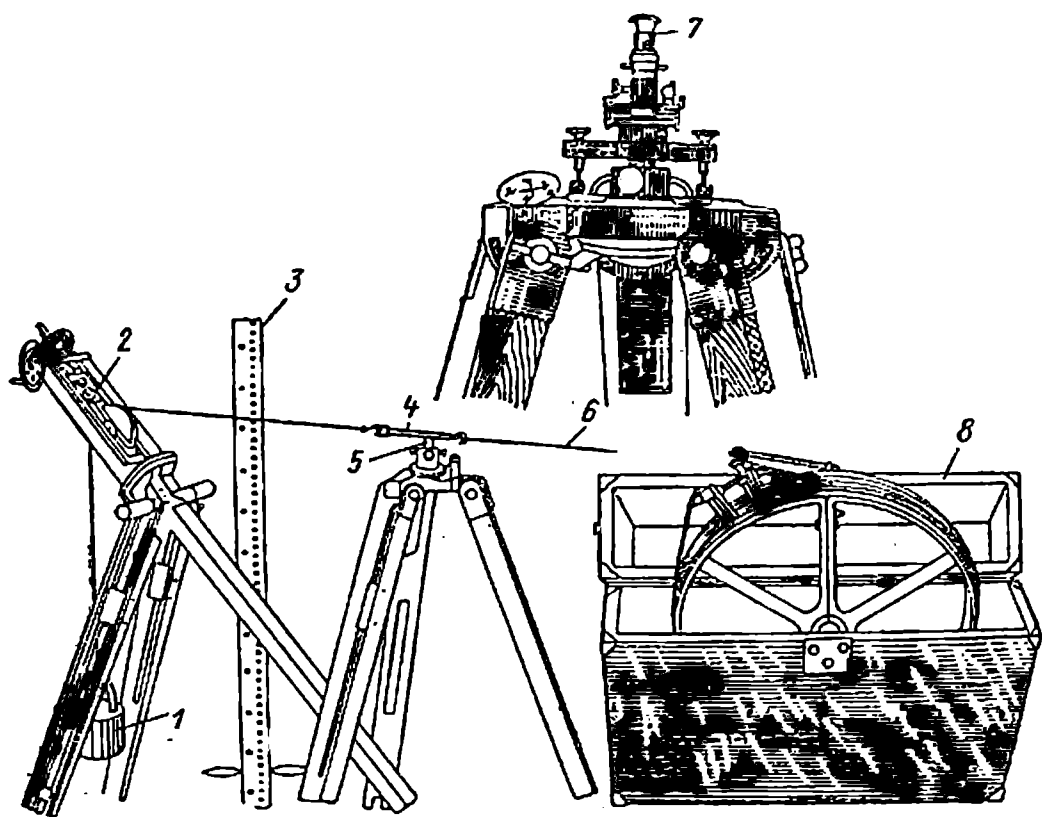


Рис. 50. Базисный прибор БП-3:

1 — гиря; 2 — блочный станок; 3 — рейка для нивелирования штативов с целиками;
4 — шкала; 5 — целик на штативе; 6 — инварная проволока; 7 — оптический центрир;
8 — ящик с барабаном для наматывания проволоки

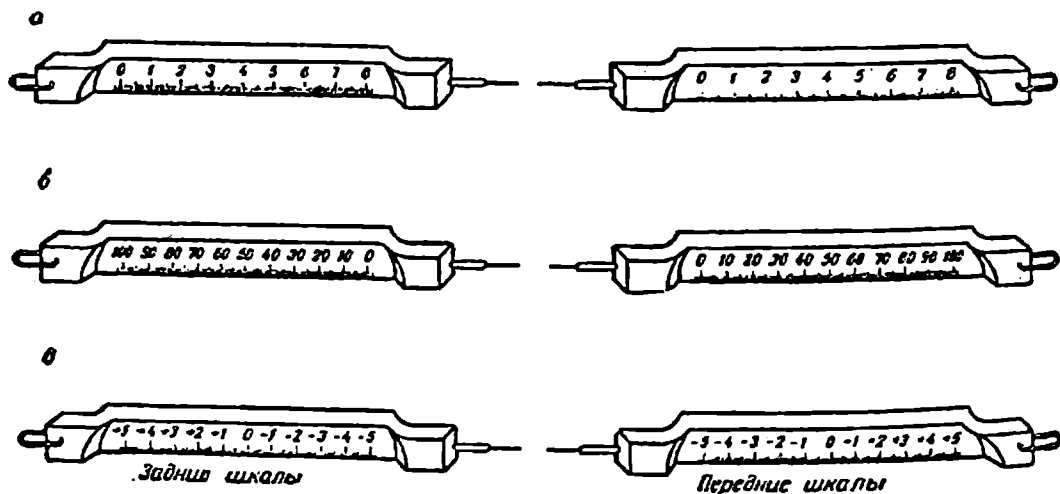


Рис. 51. Распись шкал мерных проволок

1,65 мм. На обоих концах проволоки (см. рис. 50) расположены шкалы с миллиметровыми делениями, нанесенными на жестких пластинках, имеющих треугольное сечение. При измерении расстояний по шкалам производят отсчеты. Подписи штрихов на обеих шкалах идут от 0 до 8 см в одном направлении (рис. 51, а). Расстояние между нулями шкал должно быть 24 м.

При измерении сторон в полигонометрии используют и мерные проволоки изготовления прежних лет, сделанные или из инвара или из стали и имеющие длину 24 или 48 м. Шкалы этих проволок имеют роспись делений, представленную на рис. 51, б и в.

Шкалы, изображенные на рис. 51, а, называют шкалой 1-го типа; шкалы на рис. 51, б и в — соответственно 2-го и 3-го типа.

Если обозначить отсчет по передней шкале буквой П, а по задней буквой З, то длину интервала, измеренного проволокой со шкалой 1-го типа, можно подсчитать по формуле

$$l = 24 \text{ м} + (\text{П} - \text{З}), \quad (\text{III.28})$$

со шкалой 2-го типа — по формуле

$$l = 24 \text{ м} + (\text{П} + \text{З}), \quad (\text{III.29})$$

со шкалой 3-го типа — по формуле

$$l = 24 \text{ м} + (\text{П} + \text{З}). \quad (\text{III.30})$$

Для хранения и транспортировки проволока наматывается на барабан из легкого сплава диаметром 0,5 м, установленный в деревянный ящик 8 (см. рис. 50). На барабане имеется для каждой проволоки по два крючка; один из них твердый, другой с пружиной. При наматывании проволоки ее ушко надевается на твердый крючок, затем барабан вращается рукой. При этом проволока направляется так, чтобы все ее витки плотно прилегли друг к другу. Второй конец проволоки надевается на крючок с пружиной. При разматывании проволоки с барабана не допускается выпускать конец проволоки из рук и укладывать проволоку на землю. До начала измерений ее удерживают в положении на весу.

И н в а р н а я л е н т а. Служит для измерения расстояний, меньших 24 м. Стороны полигонометрического хода в общем случае не имеют длины, кратной 24 м, оставшийся отрезок носит название остатка. Для измерения его и употребляется инварная лента шириной 6 мм, толщиной 0,4 мм и длиной 6,1 м. На ленте нанесены штрихи через каждый дециметр и по одному дополнительному штриху вправо и влево от них на расстоянии 1 мм. Первый и последний дециметры ленты разделены на миллиметровые деления.

Для измерения остатка применяются также стальные рулетки 5 и 10 м длины, имеющие на концах миллиметровые деления.

Ш т а т и в с ц е л и к о м (рис. 52). Целик состоит из металлического цилиндра 3, входящего в подставку 4. Подставка

закапчивается круглым диском 5, который плотно прилегает к верхней плоскости головки штатива. На полусферической головке металлического цилиндра нарезаны пересекающиеся под прямым углом штрихи. При измерении линии один штрих устанавливается вдоль шкалы проволоки, а другой перпендикулярно к ней и служит указателем для отсчитывания по шкале проволоки.

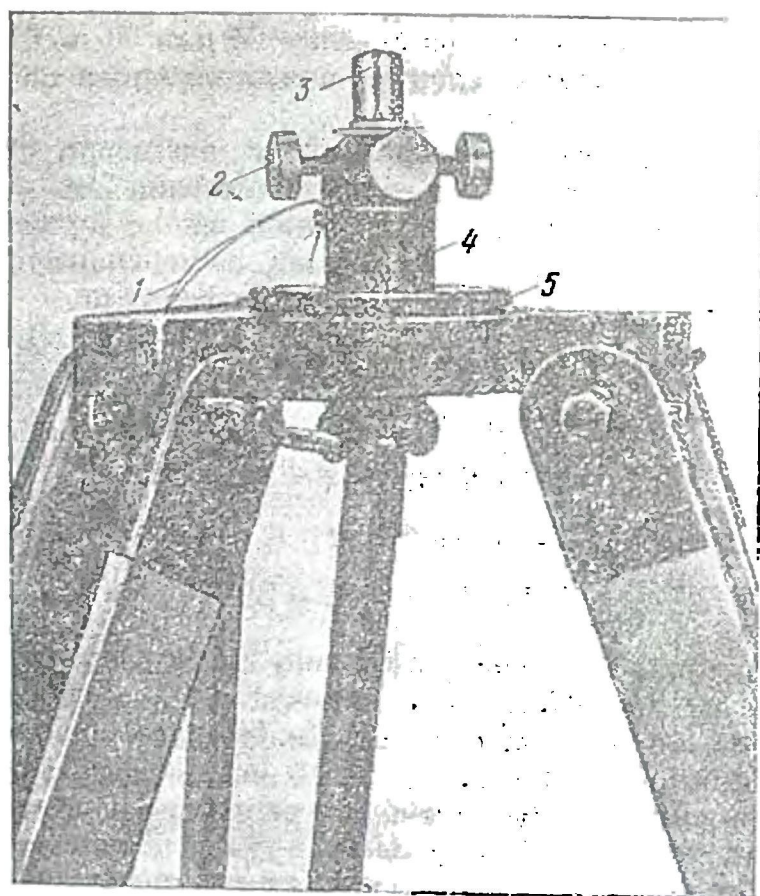


Рис. 52. Штатив с целиком

На подставке целика имеются наводящие винты 2, позволяющие устанавливать целик точно в отвесное положение. Металлический цилиндр имеет предохранительный колпачок (на рис. 52 не показан), прикрепленный к подставке винтами 1.

Блочный станок с гири. Станок служит для натяжения проволоки во время измерения расстояния. Блочный станок 2 (см. рис. 50) представляет собой штатив с несколько удлиненной передней ножкой, на верхней части которого крепится рама для блока. Через желоб блока протянута тонкая стальная струна с прикрепленными к ее концам крючкам. К одному крючку прикрепляется гиря в 10 кг, а к другому через специальное приспособление, называемое карабином, сварная проволока. Перемещение блока по высоте и азимуту осуществляется вращением

маховичков. С помощью их производится точная установка блока на требуемой высоте и в створе измеряемой линии.

Для натяжения проволок в полигонометрии 4 класса можно использовать блочные станки старых конструкций: блочный штатив Карпантье, послуживший основой для создания более совершенного блочного станка, описанного выше, и блочный станок Витрама (рис. 53). В полигонометрии 1 и 2 разрядов могут применяться для натяжения пружинные динамометры в сочетании с шестами (рис. 54).

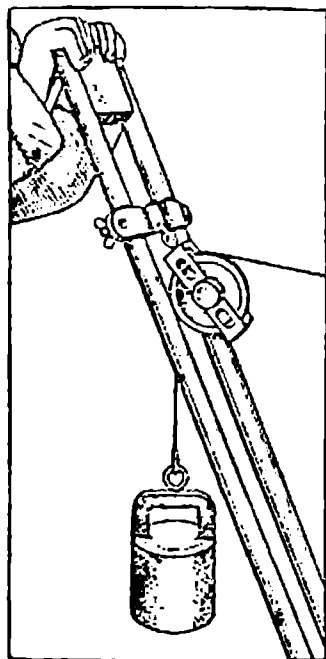
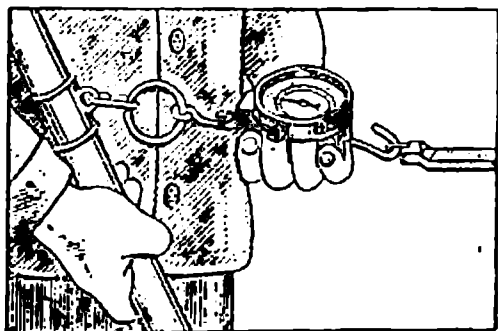


Рис. 53. Блочный станок Витрама

Рис. 54. Пружинный динамометр



Уклонения от установленного натяжения в 10 кг допускаются в полигонометрии 4 класса не более 0,1 кг, в полигонометрии 1 разряда — 0,2 кг, 2 разряда — 0,4 кг.

О п т и ч е с к и й ц е н т р и р. Его устройство описано в задании III.1.

Р е й к а 3 (см. рис. 50) для нивелирования целлюлозных. Полутораметровая двухсторонняя рейка с сантиметровыми делениями на черной стороне и 11-миллиметровыми делениями на красной, употребляется при нивелировании штативов с целниками. Рейки базисных приборов старых конструкций имеют длину 2 м и одинаковые сантиметровые деления на обеих сторонах.

2. Производство исследований и проверок базисного прибора. Перед началом полевых работ производят общий осмотр и испытание всех приборов, входящих в комплект БП-3. При осмотре и испытании обращается внимание на внешнее состояние, на устойчивость ножек штативов, на плавность вращения выштов у целников и оптических центриров, на состояние оптики оптических центриров. Внимательно осматриваются проволоки, которые не должны иметь погнутый.

Расстояние между пулями шкал мерной проволоки должно быть известно с большой точностью, для этого перед началом полевых работ и после их окончания проволока компарируется. В процессе компарирования длину проволоки определяют путем сравнения ее с длиной эталона, называемого нормальной мерой.

Компарирование проволок производится в специальных метрологических лабораториях-компараторах. Наиболее совершенным из них является компаратор МИИГАиК. Измерение длины проволоки в нем производится трехметровым жезлом № 541, который ежегодно сравнивается с платино-иридиевым метром — эталоном № 28, хранящимся во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева.

Средняя квадратическая погрешность эталонирования проволок на компараторе МИИГАиК составляет 0,010—0,015 мм, что соответствует относительной погрешности порядка 1 : 2 000 000. При компарировании на каждую проволоку выдается свидетельство, в котором выписывается уравнение проволоки при температуре t_0

$$l = l_0 + \Delta l + \alpha l_0 (t - t_0) + \beta l_0 (t^2 - t_0^2), \quad (\text{III.31})$$

где l — длина проволок при температуре t и натяжении, равном 10 кг;

$l_0 = 24$ м — номинальная длина проволоки;

Δl — поправка за компарирование при температуре t_0 ;

α и β — термические коэффициенты расширения проволок, причем коэффициент β учитывают лишь при высокоточных измерениях.

В процессе работы проволока не реже одного раза в месяц проверяется на полевом компараторе, который создается в районе работ. Компаратор разбивают на ровном и удобном для измерения месте. Он должен иметь длину в 120 или 240 м, что соответствует пяти или десяти уложениям проволоки; его концы закрепляются постоянными грунтовыми знаками. Длина компаратора должна быть определена путем шестикратного измерения ее двумя мерными проволоками, три измерения «прямо» и три «обратно».

Эталонирование рабочих проволок производится путем четырехкратного измерения ими компаратора. Изменение в длине рабочей проволоки между смежными компарированиями не должно превышать 0,3 мм для 24-метровых проволок и 0,6 мм для 48-метровых.

Инварная лента (или рулетка) должна также быть прокомпарирована и иметь свидетельство.

Производят проверки оптического центрира. Перечень проверок и методы их выполнения указаны в задании III.1.

3. Измерение линии с помощью базисного прибора БП-3. В полигонометрии 4 класса измерения производят методом отсчетов с относительной погрешностью порядка 1 : 25 000. Всю работу можно разделить на следующие отдельные операции:

а) вешение линии и расстановка штативов;

б) измерение линии;

в) нивелирование штативов с целиками.

а) Вешение линии и расстановка штативов. Над начальной и конечной точками линии устанавливают на штативах оптические центриры, которые центрируют над точками.

Штативы, входящие в комплект базисного прибора, не имеют раздвижных ножек, поэтому для экономии времени центрирование оптических центриров выполняют предварительно с помощью нитяного отвеса. Затем, установив пузырьки уровней в нуль-пункты, передвигают оптический центрир по головке штатива до момента, когда пересечение нитей сетки в поле зрения трубки совпадает с точкой, являющейся началом или концом измеряемой линии. Передвижение оптического центрира по плоскости головки штатива производят лишь по направлениям, совпадающим с направлениями осей уровней.

Расстановка штативов производится от начальной точки линии по направлению к конечной. Штативы с целиками устанавливаются вдоль измеряемой линии с помощью 24-метрового троса или бечевы на расстоянии, равном одному уложению проволоки или одному пролету.

На конечной точке линии в подставку, на которой был центрированный оптический центрир, устанавливают теодолит (любой точности Т30, Т15 и т. п.), и наводят визирную ось трубы на целик оптического центрира, установленного на начальной точке, и производят вешение всех штативов с целиками методом «на себя».

Окончательно установленные в створе линии штативы с целиками должны иметь уклоны от 24 м не более 4 см.

После измерения первой части линии штативы переносятся и расставляются во второй части, затем в третьей и так до конца линии.

Обычно длина измеряемой линии не бывает кратной 24 м, поэтому после расстановки штативов на целых пролетах в конце линии остается неполный пролет — остаток. Если неполный пролет длиной до 12 м располагается до конечной точки (рис. 55, а), его называют «положительным остатком». При длине неполного пролета более 12 м измеряют его дополнение до 24 м (рис. 55, б) и число целых пролетов делают на один больше, устанавливая последний штатив за конечной точкой. В этом случае дополнение до 24 м называют «отрицательным остатком».

Остаток разбивают на 6-метровые интервалы (по длине инварной ленты). Чтобы не вносить дополнительных погрешностей в измеренную линию, вешение и установку штативов остатка в створе линии выполняют особенно тщательно. Целики штативов устанавливают на одной высоте.

б) Измерение линии. Примерно за 0,5 ч до начала измерений проволоки (или проволока) разматываются с барабана и развешиваются на прочно установленных в землю шестах. Это

делается для того, чтобы температура проволок при измерении была возможно ближе к температуре воздуха.

Из подставки установленного над начальной точкой линии штатива вынимают теодолит и снова заменяют его оптическим

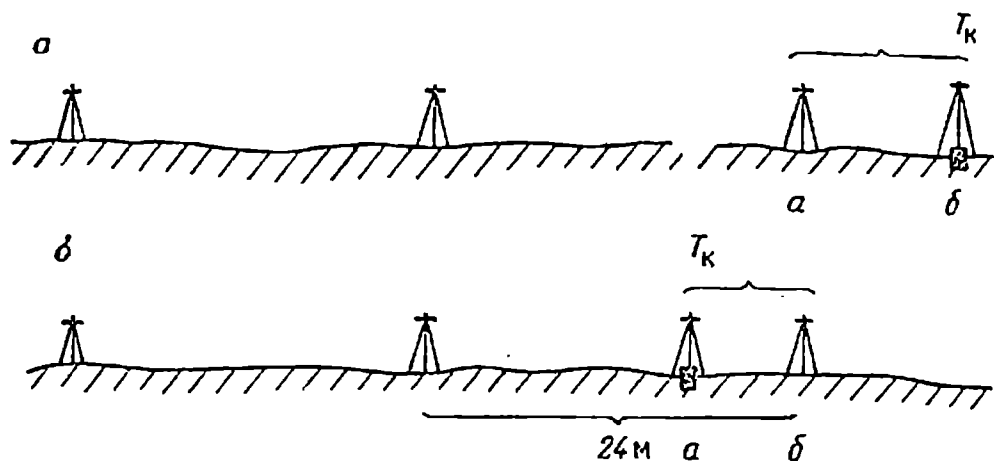


Рис. 55. Остатки:

a — положительный; *b* — отрицательный

центриром, на окуляр которого надевают колпачок с пересекающимися штрихами. Если такой колпачок отсутствует, под штатив с оптическим центриром подставляют штатив с целиком, который

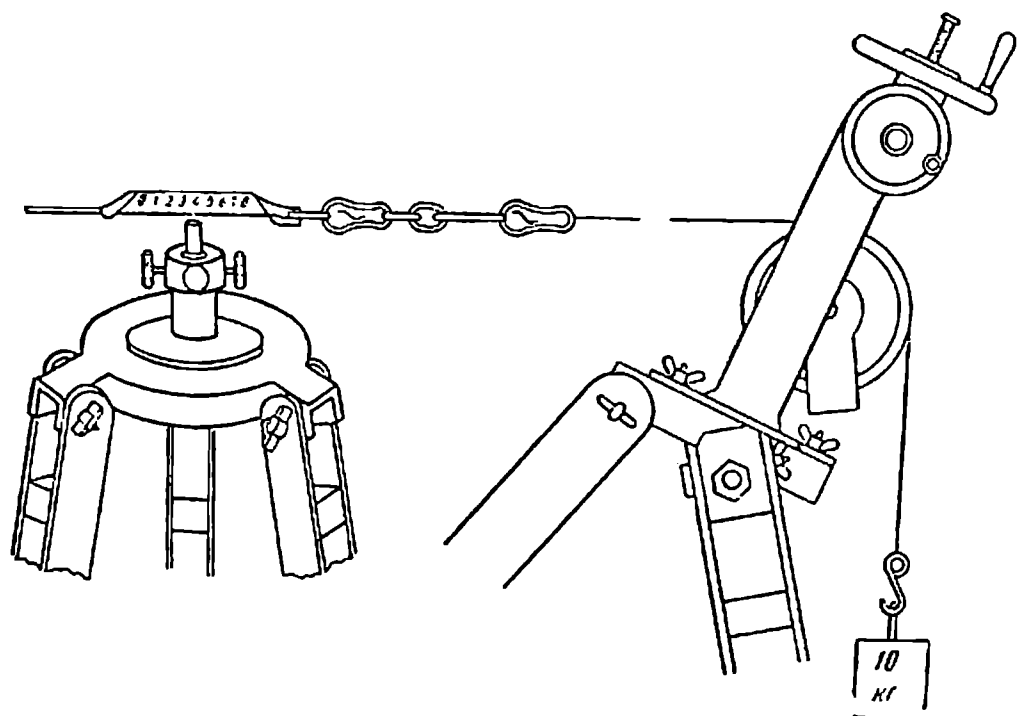


Рис. 56. Установка шкалы проволоки

устанавливают так, чтобы пересечение штрихов целика совпало с перекрестием сетки штей оптического центрира. После этого штатив с оптическим центриром убирают.

В створе линии по обеим сторонам первого пролета устанавливают блочные стапки и с помощью гири натягивают проволоку, при этом следят, чтобы счет делений каждой шкалы шел в направлении движения проволоки, т. е. от заднего конца проволоки к переднему. Обе шкалы проволоки должны находиться над целиками штативов в положении, удобном для производства отсчетов по шкалам (рис. 56).

Начальник партии дает команды «приготовиться» и «отсчет». При команде «отсчет» наблюдатели производят по шкалам проволоки с округлением до 0,1 мм отсчеты относительно точки пересечения штрихов целика, которые затем громко произносят: сначала передний, затем задний. Отсчеты по шкалам записывают в журнал измерения линии (табл. 37, графы 3 и 4).

После первичных отсчетов, по команде начальника партии, проволоку перемещают по створу линии на несколько миллиметров и производят вторую пару отсчетов; затем передвигают еще раз и производят третью пару отсчетов. Отсчеты записывают в журнал; в графе 5 журнала (табл. 37) вычисляют разности $P - 3$ или суммы $P + 3$ (в зависимости от росписи шкал); колебания в значениях разностей не должны превышать 1 мм. Таким путем измеряют все пролеты.

При измерении пролетов термометром-пращом производят определение температуры воздуха, которую также записывают в журнал. Температуру воздуха определяют через каждые пять пролетов при измерении инварной проволокой и на каждом пролете при измерении стальной проволокой.

Измерение остатка производят инварной лентой (или рулеткой). Натяжение ленты осуществляют вручную (натяжение рулетки при измерении остатков длиной более 6 м осуществляют динамометром или гирей). Порядок измерения остатка следующий. С передним концом остатка совмещают один из штрихов ленты, а с задним концом — ту часть ленты, на которой нанесена миллиметровая шкала, и производят отсчеты. Затем передвигают ленту вперед или назад в пределах запасных штрихов, имеющих у каждого дециметрового деления, и снова производят отсчеты. Отсчеты записывают в журнал (табл. 37). Колебания в трех значениях полученных разностей не должны превышать 1 мм.

В целях контроля измерения линии и остатка в журнале измерений в конце каждой линии делают схематический чертёж линии (см. рис. 57).

в) Нивелирование штативов с целиками. Нивелирование производится с целью приведения длины каждого пролета и остатков к горизонту. Выполняется оно вслед за произведенными измерениями длины пролетов.

Нивелир устанавливается вблизи створа линии так, чтобы было возможно взять отсчеты по рейке одновременно на нескольких штативах (не более шести), при этом расстояния от нивелира

**Журнал измерений длины полигонометрического хода
линии ПЗ 14—ПЗ 15**

Сведения о приборах

1. Прибор для измерения целых пролетов — инварная проволока № 395. Шкала проволоки I типа, $\alpha = 4 \cdot 10^{-7}$. Длина проволоки на весу при натяжении 10 кг и температуре $+18,6^\circ$, $l = 24$ м — 1,79 мм; дата компарирования 10.6.1975 г.

2. Прибор для измерения остатка — стальная рулетка № 18, $\alpha = 125 \times 10^{-7}$. Длина рулетки на весу при натяжении 10 кг и температуре $+20,0^\circ$, $l = 10$ м — 2,4 мм; дата компарирования 12.5.1975 г.

3. Прибор для натяжения — грузы 10 кг и блочные стакки.

4. Прибор для измерения температуры — термометр-пращ.

Дата 29.6.1975 г.

Наблюдатели П — А. П. Исаев

Погода: облачно, слабый ветер

З — Н. К. Антипов

Вычислитель В. П. Демьяненко

Наименование пролетов	Температура	Отсчеты по шкалам		П—З	Контроль
		передний П	задний З		
1	2	3	4	5	6
ПЗ 14—1	$+29,3^\circ$	48,6 60,9 70,6	44,8 57,0 66,7	$+3,8$ $+3,9$ $+3,9$	
	Среднее	60,03	56,17	$+3,87$	$+3,86$
1—2		21,7 28,3 35,5	43,9 50,4 57,9	$-22,2$ $-22,1$ $-22,4$	
	Среднее	28,50	50,73	$-22,23$	$-22,23$
2—3		39,6 46,4 46,0	66,0 72,5 72,3	$-26,4$ $-26,1$ $-26,3$	
	Среднее	44,0	70,23	$-26,23$	$-26,23$
3—4		14,1 20,4 26,1	49,2 55,7 61,6	$-35,1$ $-35,3$ $-35,5$	
	Среднее	20,20	55,50	$-35,30$	$-35,30$

Наименование пролетов	Температура	Отсчеты по шкалам		П—З	Контроль
		передний П	задний З		
1	2	3	4	5	6
4—5	+30,5°	29,0	26,1	+2,9	
		45,3	42,5	+2,8	
		39,8	37,1	+2,7	
	Среднее	38,03	35,23	+2,80	+2,80
5—6		16,0	55,5	—39,5	
		15,3	54,6	—39,3	
		25,0	64,4	—39,4	
	Среднее	18,77	58,17	—39,40	—39,40
6—7		37,1	25,4	+11,7	
		43,5	31,7	+11,8	
		48,2	36,2	+12,0	
	Среднее	42,93	31,10	+11,83	+11,83
7—8	+31,5°	41,0	76,5	—35,5	
		32,3	68,0	—35,7	
		27,2	62,9	—35,7	
	Среднее	33,50	69,13	—35,63	—35,63
		285,96	426,26	—140,29	—140,30

Измерено остатка (положительного)

8—ПЗ 15	+32,0°	0,0	3022,6	3022,6	
		10,0	3032,7	3022,7	
		50,0	3072,4	3022,4	
	Среднее	20,00	3042,57	3022,57	

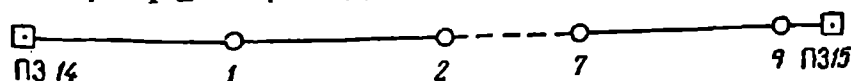


Рис. 57. Схема линии измерения

Число полных пролетов $n=8$.Средняя температура $t_{cp} = +30,4^\circ$.

до заднего и переднего штативов на станции должны быть примерно одинаковыми и не превышать 100 м.

Установив нивелир и приведя его в рабочее положение, производят отсчеты по средней нити по черной и красной сторонам рейки, устанавливаемой последовательно на головки целиков штативов, начиная от первого и кончая последним штативом, нивелируемым с данной станции. Отсчеты записывают в журнал (табл. 38, графы 2 и 4). Превышения вычисляются по формуле

$$h = 3 - \Pi \quad (\text{III.32})$$

и записывают в графах 3 и 5.

Полученные превышения по черной и красной сторонам рейки должны отличаться не более 3 мм при величине превышения до 1 м, и не более 2 мм при величине превышения от 1 до 3 м.

Заключив нивелирование на первой станции, переходят на вторую. При этом начинают наблюдения на этой станции со штатива, являющегося последним на первой станции (рис. 59).

В местах со значительными уклонами с одной станции нивелирования производят или только двух соседних штативов с целями, или применяют при нивелировании промежуточные точки.

В журнале нивелирования штативов с целями в конце линии также делают схематический чертеж линии (см. рис. 58).

Каждая линия в полигонометрии 4 класса измеряется или двумя проволоками в одном направлении или одной проволокой в прямом и обратном направлениях. При измерении линии в обратном направлении все действия, начиная с вешения и расстановки штативов, выполняют заново, т. е. проделывают второе измерение стороны независимо от первого.

В полигонометрии 1 разряда линии измеряются с относительной погрешностью не хуже 1 : 10 000, одной проволокой в одном направлении методом отсчетов; в полигонометрии 2 разряда — с относительной погрешностью 1 : 5000, одной проволокой в одном направлении методом фиксации.

При способе фиксации концов проволоки на специальных штативах с деревянными подушками на каждом пролете производится фиксирование лишь переднего конца проволоки в тот момент, когда задний конец ее будет совмещен или с точкой, являющейся началом линии или фиксированной ранее на заднем штативе.

При применении метода фиксации вешение и установку каждого последующего штатива производят только после окончания фиксации концов мерной проволоки на предыдущем пролете.

Фиксация концов проволоки осуществляется с помощью иглы, втыкаемой в деревянную подушку головки штатива, которой для исключения влияния параллакса на точность фиксации придают такое положение, при котором фиксирование происходит в точке касания шкалы проволоки с поверхностью подушки.

Журнал нивелирования штативов с целками

Сведения о приборах

Нивелир НЗ № 1128. Увеличение 30^x. Цена деления уровня 25^z

Рейка двухметровая, двухсторонняя с сантиметровыми делениями

Дата 29 июня 1975 г.

Наблюдатель А. К. Петрова

Погода: облачно, слабый ветер

Вычислитель В. М. Бударина

Линия ПЗ 14 — ПЗ 15

№ точки	Отсчеты по черной стороне рейки	Превышение $h_{\text{чер}}$	Отсчеты по красной стороне рейки	Превышение $h_{\text{кр}}$	Среднее превышение $h_{\text{ср}}$	Поправка за преломление луча света в горизонту, мм	$h^2_{\text{ср}}$ см
1	2	3	4	5	6	7	8
ПЗ 14	0178		2180				
		—487		—484	—485,5	—4,91	2 357,1
1	0665	—167	2664	—168	—167,5	—0,58	280,6
2	0832	—375	2832	—377	—376,0	—2,94	1 413,8
3	1207	—293	3209	—292	—292,5	—1,78	855,6
4	1500		3501				
4	0282	—866	2282	—868	—867,0	—15,68	7 516,9
5	1148	—282	3150	—282	—282,0	—1,66	795,2
6	1430		3432				
6	0124	—529	2124	—528	—528,5	—5,82	2 793,1
7	0653	—148	2652	—148	—148,0	—0,46	219,0
8	0801	—54	2800	—57	—55,5	—	—
ПЗ 15	0855		2857				
						—33,83	16 231,3

$$\frac{\Sigma h^2_{\text{ср}}}{2l} = 33,81 \text{ мм}^2/\text{м}.$$

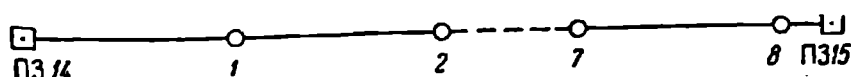


Рис. 58. Схема нивелирования штативов с целками

Контроль правильности фиксации производится путем одновременного отсчитывания по обеим шкалам мерной проволоки, принимая иголки, воткнутые в деревянные подушки, за индексы. Разность отсчетов при этом не должна превышать одного миллиметра.

Точности отдельных работ при измерении линий в полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов базисными приборами указаны в табл. 39.

Т а б л и ц а 39

Наименование работ	Предельные допуски		
	4 класс	1 разряд	2 разряд
Натяжение проволоки	0,1 кг	0,2 кг	0,4 кг
Вешение линий	4 см	5 см	5 см
Определение превышений концов пролетов длиной 24 м при превышении:			
до 1 м	3 мм	4 мм	5 мм
от 1 до 3 м	2 мм	3 мм	4 мм

4. Обработка полевых журналов и вычисление длины линии. Перед вычислением производят проверку журналов измерений линий и нивелирования штативов с целиками; по каждой линии сравнивают число пролетов, а также знаки остатков по записям

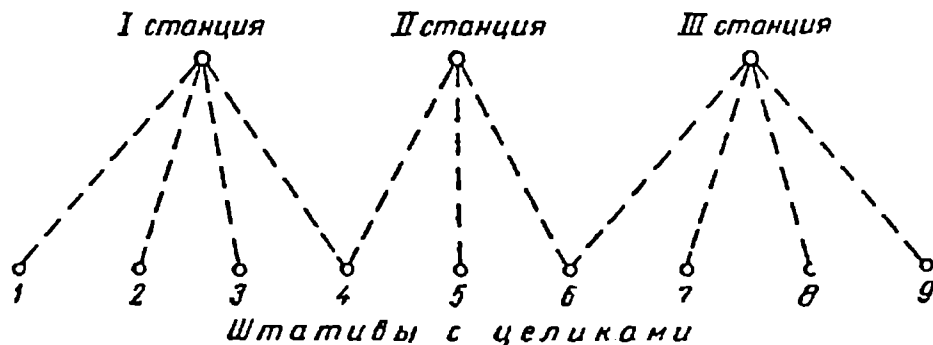


Рис. 59

схематическим чертежам в этих журналах. После чего приступают к вычислениям.

В журнале измерения линии (табл. 37) из трех отсчетов графы 5 для каждого пролета получают среднюю величину $(\Pi - 3)_{\text{ср}}$, контролем вычисления которой служит равенство

$$\frac{\sum \Pi}{3} - \frac{\sum 3}{3} = \frac{\sum (\Pi - 3)}{3}$$

для каждого пролета. Таким же способом вычисляют и контрольную величину $(\Pi - 3)_{\text{ср}}$ остатка.

В графе 5 после последнего пролета вычисляют $\sum (П - З)_{ср}$ и контролируют ее по формуле

$$\sum П_{ср} - \sum З_{ср} = \sum (П - З)_{ср}.$$

Здесь же записывают число пролетов n и вычисленную величину средней температуры $t_{ср}$.

В журнале нивелирования штативов (табл. 38) в графе 6 вычисляют среднее из двух превышений с округлением до 0,1 мм. По средним превышениям вычисляют поправки Δl_h за приведение пролета к горизонту или по формуле

$$\Delta l_{h_i} = - \frac{h_{ср_i}^2}{2l} \frac{h_{ср_i}^4}{8l^3}, \quad (III.33)$$

где $h_{ср_i}$ — среднее превышение концов мерного прибора пролета с номером i ; или выбирают из таблиц (прил. 4) по абсолютной величине превышений $h_{ср_i}$. Пояснения к пользованию этими таблицами даны в прил. 4. Для превышения — 55,5 поправку Δl_h не вычисляют, так как оно относится к остатку, а не к целому пролету.

Суммирование величин графы 7 дает поправку за приведение длины линии к горизонту Δs_h (исключая остаток). Эту величину, полученную по таблицам, контролируют вторичным вычислением по формуле

$$\frac{\sum h_{ср}^2}{2l} = \sum \Delta l_h = \Delta s_h. \quad (III.34)$$

$h_{ср}^2$ для этой формулы вычисляют в графе 8 с точностью до 0,1 см². Расхождение в величине, полученное по основной и контрольной формулам, должно быть в пределах точности вычислений (2—3 единицы последнего знака). Далее переходят к вычислению длины остатка, которую получают по формуле

$$r = r' + \Delta r_k + \Delta r_t + \Delta r_h, \quad (III.35)$$

где r' — измеренное значение остатка,

Δr_k — поправка за компарирование мерного прибора;

Δr_t — поправка в остаток за температуру;

Δr_h — поправка за приведение измеренной длины остатка к горизонту.

В первую строчку табл. 40 переписывают из журнала измерения длины стороны величину остатка $(П - З)_{ср}$, т. е. 3022,57 мм.

Таблица 40

Вычисление длины остатка	
Обозначения	Вычисленные величины, мм
r'	3022,57
Δr_k	— 0,73
Δr_t	+ 0,45
Δr_h	— 0,51
r	3021,78

Поправку за компарирование Δr вычисляют по формуле

$$\Delta r_k = \frac{\Delta l}{l} r'. \quad (\text{III.36})$$

Здесь l — номинальная длина мерного прибора, которым измерялся остаток;

Δl — поправка за компарирование на всю длину мерного прибора;

$$\Delta r_k = \frac{-2,4 \cdot 3022}{10\,000} = -0,73 \text{ мм.}$$

Поправку за температуру Δr_t вычисляют по формуле

$$\Delta r_t = \alpha r' (t - t_0), \quad (\text{III.37})$$

где α — коэффициент линейного расширения сплава, из которого сделан мерный прибор;

t — температура при измерении остатка;

t_0 — температура, при которой дано уравнение мерного прибора — $t_0 = +20,0^\circ$.

В нашем примере

$$\Delta r_t = 125 \cdot 10^{-7} \cdot 3022 (+32,0^\circ - 20,0^\circ) = +0,45 \text{ мм.}$$

Поправку за приведение измеренной длины остатка к горизонту Δr_h вычисляют по формуле

$$\Delta r_h = -\frac{h^2}{2r'} - \frac{h^4}{8r'^3}, \quad (\text{III.38})$$

где h — разность высот концов остатка, ограничиваясь первым членом

$$\Delta r_h = -\frac{55,5^2}{2 \cdot 3022} = -0,51 \text{ мм.}$$

Длину остатка r получают по формуле (III.35) в табл. 40.

После этого вычисляют длину стороны полигонометрического хода (табл. 41) из выражения

$$s = s' + \Delta s_n + \Delta s_y, \quad (\text{III.39})$$

где Δs_n — поправка за приведение линии к уровню моря;

Δs_y — поправка за приведение длины линии на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера.

$$s' = n(l + \Delta l) + \sum_1^n (\Pi \pm 3)_{\text{ср}} + \Delta s_t + \Delta s_h + \sum r, \quad (\text{III.40})$$

где

n — число пролетов;

l — номинальная длина мерного прибора;

Δl — поправка за компарирование мерного прибора;

$(11 \pm 3)_{\text{ср}}$ — сумма средних разностей или сумм отсчетов по шкалам для n пролетов;

Δs_l — поправка в длину линии за температуру мерного прибора;

Δs_h — поправка в длину линии за приведение линии к горизонту (без учета поправок за приведение к горизонту измеренных длин остатков);

$\sum r$ — сумма вычисленных длин остатков.

Т а б л и ц а 41

Вычисление длины линии ПЗ 14 — ПЗ 15

№ строки	Обозначения	м	мм
1	n	8	
2	$l + \Delta l$	24	—1,79
3	$t_{\text{ср}}$	+30,4°	
4	H_m	163	
5	Y_m	120 км	
6	$ln + \Delta ln$	192	—14,3
7	$\Sigma (11-3)_{\text{ср}}$		—140,3
8	Δs_l		+0,9
9	Δs_h		—33,8
10	Σr	+3	+21,8
11	s'	195	—165,7
12	Δs_{II}		—5,1
13	$\Delta s_{Y'}$		+34,5
14	$s = 194,864 \text{ м}$	195	—136,3

В строки 1—5 табл. 41 выписывают исходные величины, необходимые для вычислений: число пролетов n (из журнала измерения линии), длину проволоки $(l + \Delta l)$ (из свидетельства), среднюю температуру $t_{\text{ср}}$ (из журнала измерения линии), среднюю высоту над уровнем моря местности, по которой проложен ход H_m (с карты — до целых метров), среднее удаление стороны от осевого меридиана Y_m (с карты до километров). В строки 6—14 табл. 41 с левой стороны записывают обозначения величин, с правой — вычисленные значения величин. Для удобства вычислений метры и миллиметры записывают в разных столбцах.

Сначала по формуле (III.40) получают величину s' . В строке 6 (табл. 41) вычисляют величину $(l + \Delta l) n$. В строку 7 выписывают

из журнала измерения линий (см. табл. 37) $\sum (П - З)_{\text{ср}}$. Поправку в длину линии за температуру Δs_t вычисляют по формуле

$$\Delta s_t = \alpha l (t_{\text{ср}} - t_0) n, \quad (\text{III.41})$$

где α — коэффициент линейного расширения;

l — длина мерного прибора;

$t_{\text{ср}}$ — среднее значение температуры мерного прибора при измерении линии;

t_0 — температура компарирования;

$$\Delta s_t = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 8 \cdot 24 (+30,4^\circ - 18,6^\circ) = +0,00091 \text{ м} = +0,91 \text{ мм.}$$

Поправку Δs_h в строку 9 выписывают из журнала нивелирования штативов с целиками (табл. 38), а вычисленный остаток r (или сумму остатков) — в строку 10 из табл. 40. Остаток в вычисляемой стороне положительный, поэтому у величины r поставлен знак «плюс».

Суммированием величин в строках 6—10 получают величину s' и записывают ее в строку 11.

Поправку за приведение длины линии к уровню моря Δs_n вычисляют по формуле

$$\Delta s_n = -\frac{H_m}{R} s', \quad (\text{III.42})$$

где H_m — средняя высота над уровнем моря местности, по которой проложен ход;

R — средний радиус кривизны поверхности эллипсоида;

s' — длина линии, приведенная к горизонту.

Поправку за приведение длины линии на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера получают из выражения

$$\Delta s_y = -\frac{Y_m^2}{2R^2} s'. \quad (\text{III.43})$$

Здесь Y_m — среднее удаление стороны от осевого меридиана.

Поправки Δs_n и Δs_y можно выбрать из таблиц (прил. 5 и 6) по аргументам H_m , Y_m и s' . Объяснения к пользованию этими таблицами даны в прил. 5 и 6.

В строке 14 получают сторону s по формуле (III.39). Окончательную величину s переписывают еще раз с округлением до 0,001 м.

В указанной последовательности вычисляют длину линии при каждом ее измерении.

Расхождение полученных двух значений длины линии при измерении двумя проволоками или при измерении одной проволокой прямо и обратно не должно превосходить в полигонометрии 4 класса 1 : 25 000 от длины линии.

В случае расхождений, превышающих допустимые, производят повторную проверку вычислений. Если в вычислениях ошибки не обнаружат, то приступают к повторному измерению. Повто-

ряют в первую очередь то измерение, в котором можно было ожидать менее надежные результаты.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Задание выполняется в зимний и летний периоды обучения с таким распределением обязанностей. Зимой каждый студент знакомится с устройством приборов и их исследованиями, выполняет проверки, вычислительную обработку результатов измерения линии и вычисляет длину линии. В период летней практики измерения линий выполняют две бригады, образующие как бы партию, состоящую из десяти человек. Обязанности в партии распределяются так: начальник партии, два наблюдателя, два человека осуществляют натяжение, два человека — вешение и расстановку штативов, три человека производят нивелирование штативов. Каждый член партии последовательно выполняет все обязанности по плану чередования, составленному руководителем.

По окончании работ подлежат сдаче оформленные, вычисленные и проверенные полевые журналы:

- 1) измерения линий полигонометрического хода;
- 2) нивелирования штативов с цепками;
- 3) исследований и проверок приборов.

ЗАДАНИЕ III.4

ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ В ПОЛИГОНОМЕТРИИ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В полигонометрических ходах с использованием проволоки и при измерении отдельных линий для различного рода инженерных геодезических задач, в том случае если непосредственно измерение линий затруднительно, может быть использован косвенный метод их определения — метод параллактических звеньев. Этот метод заключается в том, что в геометрических построениях на местности обычно типа треугольника или ромба измеряют проволокой базис (сторону или диагональ) и горизонтальные значения углов. По измеренным величинам вычисляют горизонтальное положение линии.

I. Задачи: ознакомление с типами параллактических звеньев и приборами. Производство измерений и вычислений.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962, § 95—99.

Селиханович В. Г., Логинова Г. П. Задачник по геодезии.

Ч. II. М., «Недра», 1970.

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000 — 1 : 500. М., «Недра», 1973.

III. Приборы и пособия: оптический теодолит Т2, 2Т2 (ТБ-1, Theo-010 или им равнозначные) со штативом, 2 визирные марки с подставками и штативами, два оптических центрира, базисный прибор БП-3, журналы для записи угловых и линейных измерений,

шестизначные таблицы натуральных значений тригонометрических функций, арифмометр, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) ознакомление с типами параллактических звеньев и формул для вычислений и оценки точности;

2) ознакомление с приборами;

3) измерение и вычисление линий.

1. Ознакомление с типами параллактических звеньев и формул для вычислений и оценки точности. Типы параллактических звеньев.

Звено треугольной формы (рис. 60)

b — измеренный проволокой базис;

φ — параллактический угол ($\varphi \approx 4 - 8^\circ$);

γ — прибазисный угол.

Формулы для вычислений:

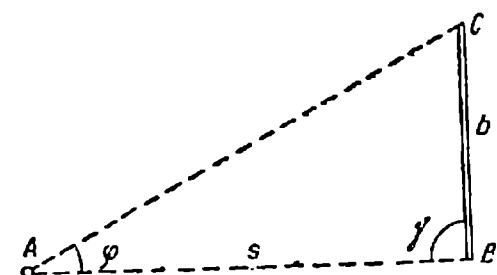


Рис. 60. Параллактическое звено треугольной формы

основная

$$s = b \cdot \frac{\sin(\varphi + \gamma)}{\sin \varphi}; \quad (\text{III.44})$$

контрольная

$$s = b \cos \gamma + b \sin \gamma \operatorname{ctg} \varphi. \quad (\text{III.45})$$

При значениях $\gamma \approx 90^\circ$ для оценки точности и предварительного расчета используются следующие формулы:

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{m_\varphi}{\varphi}\right)^2, \quad (\text{III.46})$$

где m_b , m_φ — соответственно средние квадратические погрешности измерения базиса и параллактического угла φ .

При выборе величины базиса и при предрасчете точности измерений следует использовать формулы

$$s = \frac{b\rho}{\varphi}, \quad (\text{III.47})$$

$$\frac{m_s}{s} = \frac{m_\varphi}{\varphi}, \quad (\text{III.48})$$

$$\frac{m_s}{s} = \frac{m_\varphi}{b\rho} s, \quad (\text{III.49})$$

где ρ — радиан.

Пример 1. Длина измеряемой стороны примерно равна 300 м. Следует рассчитать величину базиса и точность измерения углов m_φ , если $\frac{m_s}{s} = \frac{1}{10\,000}$.

Задав величину $\varphi \approx 8^\circ$, найдем

$$b = \frac{\varphi s}{\rho} = \frac{8 \cdot 300}{57,3} = 42 \text{ м.}$$

Учитывая, что длина проволоки 24 м, базис следует принять равным 48 м, тогда

$$m_\varphi = \frac{m_s}{s} \cdot \varphi = \frac{28\,800''}{10\,000} = 2,9''.$$

Звено ромбической формы с симметричным базисом (рис. 61).
Формулы для вычислений:

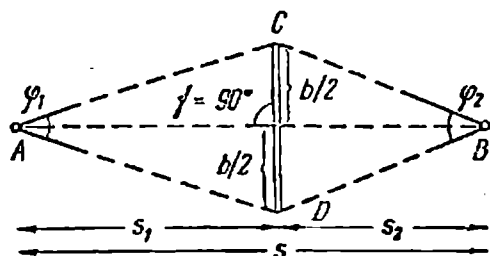


Рис. 61. Параллактическое звено ромбической формы с симметричным базисом

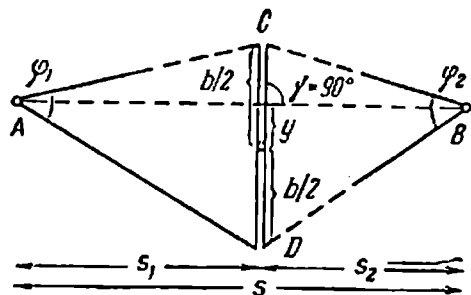


Рис. 62. Параллактическое звено ромбической формы с асимметричным базисом

ОСНОВНЫЕ

$$\left. \begin{aligned} s &= s_1 + s_2; \\ s_1 &= \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2}; \\ s_2 &= \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2}; \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.50})$$

КОНТРОЛЬНЫЕ

$$\left. \begin{aligned} s &= s_1 + s_2; \\ s_1 &= b \operatorname{ctg} \varphi_1 + \frac{1}{s_1} \left(\frac{b}{2} \right)^2; \\ s_2 &= b \operatorname{ctg} \varphi_2 + \frac{1}{s_2} \left(\frac{b}{2} \right)^2. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.51})$$

Значения s'_1 и s'_2 вычисляются по формулам (III.50).
Звено ромбической формы с асимметричным базисом (рис. 62).
Формулы для вычислений:

ОСНОВНЫЕ

$$\left. \begin{aligned} s &= s_1 + s_2; \\ s_1 &= \frac{b + 2y}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1 + \Delta_1}{2}; \\ s_2 &= \frac{b + 2y}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2 + \Delta_2}{2}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.52})$$

где y — асимметрия базиса;

Δ — асимметрия параллактического угла, которую вычисляют из выражений

$$\left. \begin{aligned} \sin \Delta_1 &= \frac{2y}{b} \sin \varphi_1; \\ \sin \Delta_2 &= \frac{2y}{b} \sin \varphi_2; \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.53})$$

контрольные формулы

$$\left. \begin{aligned} s &= s_1 + s_2; \\ s_1 &= s'_1 - \frac{y^2}{s'_1}; \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.54})$$

$$\left. \begin{aligned} s_2 &= s'_2 - \frac{y^2}{s'_2}, \\ s'_1 &= \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_1}{2}; \\ s'_2 &= \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi_2}{2}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.55})$$

Формула для оценки точности ромбических звеньев

$$\left(\frac{m_s}{s} \right)^2 = \left(\frac{m_b}{b} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{m_\varphi}{\varphi} \right)^2. \quad (\text{III.56})$$

При выборе величины базиса и предрасчета точности измерения параллактических углов следует использовать выражения

$$\left. \begin{aligned} \frac{m_s}{s} &= \frac{m_\varphi}{\varphi \sqrt{2}}; \\ s &= \frac{2b \cdot \rho}{\varphi}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.57})$$

где ρ — радиан.

Пример 2. Длина измеряемой стороны примерно равна $s \approx 300$ м. Следует рассчитать, какой величины следует взять базис и с какой точностью измерять параллактические углы, если $m_s/s = \frac{1}{10\,000}$.

Задавшись величиной $\varphi \approx 8^\circ$, найдем

$$b = \frac{s \cdot \varphi}{2\rho} = \frac{300 \cdot 8^\circ}{2 \cdot 57,3} \approx 21 \text{ м.}$$

Так как длина проволоки 24 м, то целесообразно и базис принять равным 24 м. Далее найдем

$$m_\varphi = \left(\frac{m_s}{s} \right) \varphi \sqrt{2} = \frac{28\,800''}{10\,000} \cdot 1,4 = 4''.$$

2. Ознакомление с приборами. Оптические теодолиты, оптические центриры, визирные марки и нивелир должны быть выве-

репы. Исследования и поверки этих приборов рассмотрены в соответствующих разделах: нивелирование III класса, угловые измерения, измерение длин проволоками.

3. Измерение и вычисление линий. В зависимости от вида параллактического звена следует предварительно рассчитать величину базиса и точность измерения параллактических углов. Параллактические углы не должны быть меньше 8° — полигонометрия 1 разряда и меньше 4° — полигонометрия 2 разряда. При звене треугольной формы на одном конце измеряемой линии помещают примерно перпендикулярно направлению базиса и устанавливают над точкой B (см. рис. 60) с помощью оптического центрирштатив с базисным целиком. Второй штатив с базисным целиком устанавливают в заданном базисе направлением на расстоянии кратном длине проволоки ($24 \text{ м} \pm 8 \text{ см}$; $48 \text{ см} \pm 8 \text{ см}$). Базис не должен содержать остатка.

Измерение и вычисление длины базиса проводится аналогично измерению длин сторон в полигонометрии. Поправки за приведение длин сторон к уровню моря и на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера при вычислении базиса не учитываются. Эти поправки в дальнейшем вводятся в длину измеренной линии. При измерении параллактических углов φ оптические центры с базисными целиками на точках B и C замещаются в подставках визирными марками. Измерение углов выполняется 4—6 полными приемами (при круге «право» и при круге «лево») с перестановкой лимба на $\frac{180^\circ}{n}$. Расхождение n значений φ между приемами допускается $1,5''$. При измерении базисного угла γ теодолит в точке A и марка в точке B взаимно заменяются. Угол γ измеряется одним приемом.

Порядок наблюдений, оценка точности — изложены в разделе угловые измерения. Для контроля линия определяется обязательно дважды (по двум базисам). Относительная погрешность разности двух определений не должна быть больше заданной точности измерения.

Образец вычислений приводится в табл. 42.

В звене ромбической формы базис располагается примерно в середине линии. Его следует располагать перпендикулярно к измеряемой линии с погрешностью не более $2'$. Установка направления базиса проводится с помощью теодолита. В противном случае выполняется измерение прибазисного угла с точностью до $1'$, а в дальнейшем при вычислении s_1 и s_2 по формулам (III.50), (III.52) следует ввести поправки

$$\left. \begin{aligned} v_{s_1} &= - \left(\frac{\gamma - 90^\circ}{\rho} \right)^2 \cdot \frac{s_1}{2}; \\ v_{s_2} &= - \frac{s_2}{2} \left(\frac{\gamma - 90^\circ}{\rho} \right)^2. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.58})$$

Измерение базиса и измерение параллактических углов φ_1 и φ_2 выполняются так же, как и в звене треугольной формы.

Таблица 42

Вычисление линии из параллактического звена треугольной формы
 $\varphi = 5^\circ 31' 17''$; $\gamma = 89^\circ 15' 32''$; $b = 48,0032$ м; $m_s = 0,05$ мм; $m\beta = 1,3''$

№ звена	γ	b	s	$\sin \gamma$	$\cos \gamma$
	φ	$\sin \varphi$		$\operatorname{ctg} \varphi$	
	$\gamma + \varphi$	$\sin (\varphi + \gamma)$		$b \cdot \sin \gamma \operatorname{ctg} \varphi$	$b \cos \gamma$
1	2	3	4	5	6
3	$89^\circ 15' 32''$	48,0032	497,167	0,999916	0,012934
	5 31 17	0,096218	497,167	10,34389	0,6209
	94 46 49	0,996521		496,5462	

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{5 \cdot 10^{-5}}{48}\right)^2 + \left(\frac{13}{199\,000}\right)^2 = (104 \cdot 10^{-8})^2 + (65 \cdot 10^{-6})^2;$$

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = 1,08 \cdot 10^{-12} + 4220 \cdot 10^{-12} = 4221 \cdot 10^{-12};$$

$$\frac{m_s}{s} = 65 \cdot 10^{-6}; \quad \frac{m_s}{s} = \frac{1}{15\,300}.$$

Вычислял А. Н. Козко

Если величины асимметрии $y \leq \frac{s}{2\,000}$, где s величина измеряемой линии, то построение следует отнести к звену с симметричным базисом и пользоваться формулами (III.50) или (III.59). Величина асимметрии y определяется следующим образом. С помощью теодолита фиксируют точку пересечения базиса и створа

Таблица 43

Вычисление линии из параллактического звена ромбической формы с симметричным базисом (по основным формулам)

№ параллактического звена	φ_1 φ_2	$\frac{\varphi}{2}$	b	$\frac{b}{2}$	$\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$	$\frac{s_1}{s_2}$	s
1	2	3	4	5	6	7	8
6—7	$6^\circ 47' 17,2''$	$3^\circ 23' 38,6''$	48,0086	24,0043	16,8614	404,746	764,040
	7 38 40,0	3 49 20,0			14,9679	359,294	

$$\frac{m_b}{b} = \frac{1}{30\,000} m\varphi = 0,9''.$$

Вычислял А. Н. Козко

линии. На базисе отмечают его середину. Расстояние между этими точками измеряют рулеткой с точностью до 1 см. В качестве контроля измерения линии проводится вторичное ее определение со вторым базисом. Относительная погрешность разности двух определений не должна быть больше требуемой относительной погрешности измерения стороны.

В табл. 43 и 44 дается пример на вычисление линии и оценку точности звена ромбической формы с симметричным базисом по формулам (III.50), (III.51), (III.56).

В табл. 45—48 дается пример на обработку звена с асимметричным базисом по формулам (III.52) — (III.56).

Таблица 44

Вычисление линии из параллактического звена ромбической формы с симметричным базисом (по контрольным формулам)

$\text{ctg } \varphi$	$b \text{ ctg } \varphi$	$\frac{1}{s}$	$\left(\frac{b}{2}\right)^2$	$\frac{1}{s} \left(\frac{b}{2}\right)^2$	$\frac{s_1}{s_2}$	s
8,40108	403,3241	0,002471	576,2064	1,4238	404,748	764,043
7,45056	357,6910	0,002784		1,6042	359,295	

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{1}{30\,000}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{0,9}{26\,000}\right)^2 = (33 \cdot 10^{-6})^2 +$$

$$+ \frac{1}{2} (35 \cdot 10^{-6})^2 = 1050 \cdot 10^{-12} + 610 \cdot 10^{-12} = 1660 \cdot 10^{-12};$$

$$\frac{m_s}{s} = \pm 41 \cdot 10^{-6}; \quad \frac{m_s}{s} = \frac{1}{24\,000}.$$

Вычислял А. Н. Козко

Таблица 45

Вычисление линии из параллактического звена ромбической формы с асимметричным базисом (по основным формулам)

$$y = 6,55 \text{ м}; \quad m_b = 0,2 \text{ мм}; \quad m_\varphi = 0,7''.$$

№ парал- лакти- ческого звена	φ_1 φ_2	$\frac{\varphi + \Delta}{2}$	b	$\frac{b+2y}{2}$	$\text{ctg } \frac{\varphi + \Delta}{2}$	$\frac{s_1}{s_2}$	s
1	2	3	4	5	6	7	8
7—8	8° 57' 20,1"	5° 17' 21"	72,0024	42,551	10,8016	459,621	929,131
	8 46 04,2	5 10 42,6			11,0340	459,510	

Вычислял А. Н. Козко

Таблица 46

Обозначения	Δ_1	Δ_2
$\frac{2y}{b}$	0,181938	0,181938
$\sin \varphi$	0,155668	0,152431
$\sin \Delta$	0,028322	0,027733
Δ	$1^\circ 37' 22,7''$	$1^\circ 35' 21,0''$

Вычислял А. Н. Козко

Таблица 47

Вычисление линии из параллактического звена ромбической формы с асимметричным базисом (по контрольным формулам)

№ параллак- тического звена	φ_1 φ_2	$\frac{\varphi}{2}$	b	$\frac{b}{2}$	$\operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$
1	2	3	4	5	6
7—8	$8^\circ 57' 20,1''$	$4^\circ 28' 40,0''$	72.0024	36.0012	12.7695
	8 46 04,2	4 23 02,1			13.0441

Таблица 48

№ параллак- тического звена	ρ'_1 ρ'_2	ν_i	$-\frac{\mu^2}{\rho'}$	ε_1 ε_2	δ
1	2	3	4	5	6
7—8	459.7153	42.9025	-0.0933	459.622	929.134
	469.6032		-0.0914	469.512	

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 = \left(\frac{0.0002}{72}\right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{0.7}{33\,000}\right)^2 = (28 \cdot 10^{-7})^2 +$$

$$+ \frac{1}{2} (22 \cdot 10^{-6})^2 = 784 \cdot 10^{-14} + 242 \cdot 10^{-13} = 250 \cdot 10^{-12}$$

$$\frac{m_s}{s} = \pm 15.8 \cdot 10^{-6}; \quad \frac{m_s}{s} = \frac{1}{63\,000}$$

Вычислял А. Н. Козко

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Во время летних учебных практик бригада студентов (5 чел.) выполняет измерение одной линии 300—500 м.

При зачете должны быть представлены: 1) журналы измерения базиса; 2) материалы вычисления длины базиса; 3) журнал измерения параллактических углов; 4) ведомости вычисления длины линий.

ЗАДАНИЕ III.5

ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ В ПОЛИГОНОМЕТРИИ КОРОТКОБАЗИСНЫМ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

I. Задача. Измерить линию полигонометрического хода короткобазисным параллактическим методом с относительной погрешностью не более $\frac{1}{10\,000}$.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханосич В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962, § 95—99.

Лебедев Н. П. Курс инженерной геодезии. М., «Недра», 1970.

Педешева Л. П., Романов Н. Г. Руководство и таблицы по короткобазисной параллактической полигонометрии, М., «Недра», 1968.

Руководство по применению короткобазисного параллактического метода измерения длин линий при инженерно-геодезических изысканиях для строительства. М., Изд-во литературы по строительству, М., 1971.

III. Приборы и принадлежности: теодолит оптический Т2 или 2Т2 (и другие равноценные им по точности измерений) со штативом 3 марки с оптическими центрами и штативами, базисный жезл, 2 вехи, зонт топографический, топор, полевые журналы, шестизначные таблицы тригонометрических функций, арифмометр.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) ознакомление с базисными жезлами;
- 2) приборы, их проверки и исследование;
- 3) измерение длин линий;
- 4) вычислительная обработка результатов измерений.

При короткобазисном параллактическом методе измерений линий используются специально изготовленные двух- или трехметровые базисы (жезлы). По сравнению с непосредственным измерением линий проволокой или лентой при этом методе не являются помехой естественные (водоемы, овраги) и искусственные (насыпи, штабеля, районы земляных работ и др.) препятствия, движение транспорта. Этот метод уменьшает затраты на подготовку измеряемых линий, не требует большого состава исполнителей и является более производительным, так как все работы сводятся к угловым измерениям. Короткобазисная параллактическая полигонометрия позволяет непосредственно получать горизонтальное проложение линий. Относительная погрешность определения длины обеспечивает возможность применения этого метода

в полигонометрии с предельными относительными линейными повязками $1 : 5000 - 1 : 10\,000$.

1. Ознакомление с базисными жезлами. Базисные жезлы приспособлены для трехштативной системы измерений и бывают двух типов: цельные и разборные (стыковые). Для установки в перпендикулярное положение к измеряемой линии они снабжаются коллиматорами или визирами, а для установки в горизонтальное по-

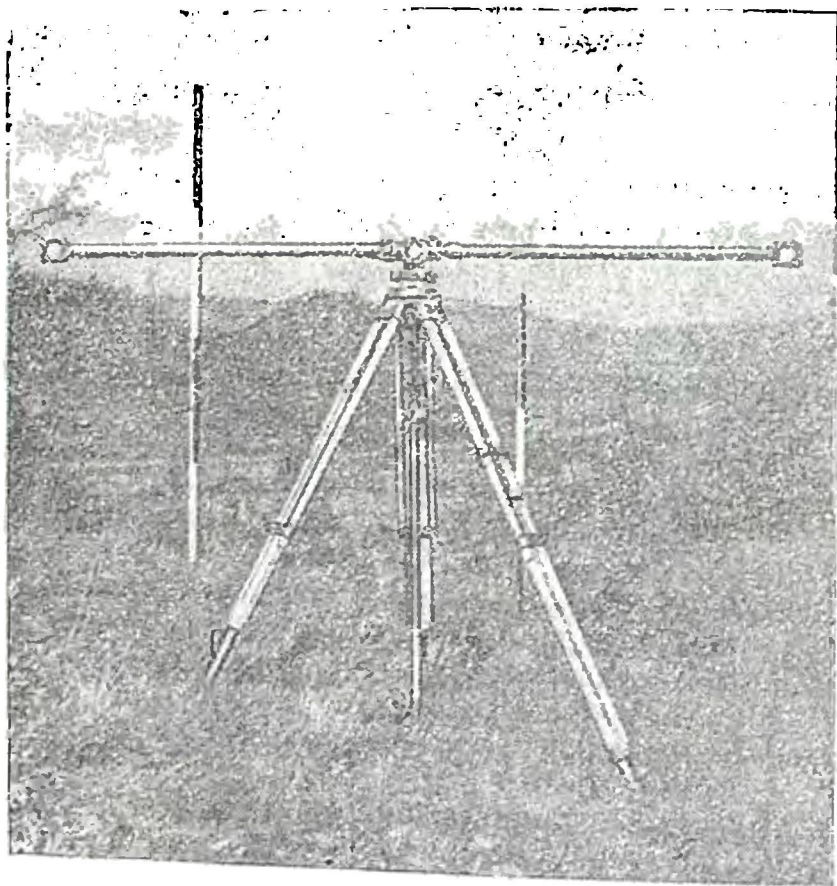


Рис. 63. Базисный жезл типа Бала

ложению — круглыми или цилиндрическими уровнями. (При отсутствии уровней для установки используют оптические центриры).

а) Разборные (стыковые) жезлы (жезлы типа Бала) выпускаются фирмами «Цейсс» (ГДР) (рис. 63) и «МОМ» (Венгрия). Марки, представляющие собой прозрачные (матовые) треугольники с вертикальными штрихами в середине, укреплены на инварных стержнях, помещенных в предохранительные трубки. Перед работой эти два инварных стержня стыкуются, а предохранительные трубки стягиваются муфтой. В указанных конструкциях выполняется условие совпадения вертикальной оси вращения жезла с вертикальной плоскостью крайних марок (на концах железа).

б) Цельные (неразборные) жезлы (типа ЦТИСИЗ, инж. С. Н. Веселовского, Гидропроекта и др.) представляют собой полые ме-

галлические (как правило, дюралевые) трубы, внутри которых укреплен под натяжением (пружиной с динамометром) инварная проволока или инварный стержень. К проволоке (стержню) припаяны визирные марки, которые видны в вырезы трубы.

2. Приборы, их поверки и исследования. При измерении параллактических углов используются теодолиты Т2, 2Т2, Theo-010 и равноценные им по точности, приспособленные к трехштативной системе измерения.

Поверки теодолита. Перед производством работ выполняются те же поверки, которые перечислены в задании III.1.

Исследование теодолита. При измерении параллактических углов используется часть лимба в пределах $10-15^\circ$. Для этой цели через каждые 5° по всему горизонтальному кругу производят определение репера оптического микрометра. На каждой установке лимба репер определяется дважды. После этого выбирают ту часть лимба, на которой репер постоянен и наименьший по значению или равен нулю. В дальнейшем и используют только эту часть лимба. Поправка в измеренные параллактические углы за репер не вводится, если его значение не превышает одной секунды. Порядок определения и вычисления репера указан в задании III.1.

Поверки оптических центр швов и визирных марок. Поверки выполняются, как указано в задании III.1.

Поверки базисного жезла. Перед началом работ должны быть выполнены следующие поверки.

1. *Поверка правильности натяжения инварной проволоки.* Показания динамометра проверяют с помощью гири массой в 10 кг, подвешенной к правой исправительной гайке вертикально установленному жезлу.

2. *Поверка установочных уровней на жезле.* Если уровни установлены на кожухе жезла, их поверки выполняются обычным методом. Рекомендуется использовать и следующий прием: с помощью оптического центр шва или теодолита приводится ось подставки (трегера) в отвесное положение. Затем в подставку устанавливают жезл. Если пузырек уровня отклонился от середины, его приводят в нуль-пункт исправительными винтами.

3. *Ось центральной марки жезла должна совпадать с осью его вращения.* Визируют теодолитом на центральную марку (при горизонтальном положении жезла), затем жезл поворачивают на 180° . Если изображение марки не сойдет с биссектора нитей трубы теодолита, то условие выполнено. Нарушение условия устраняется перемещением марки исправительной гайкой в среднее ее положение относительно биссектора нитей.

4. *Поверка правильности установки коллиматора или визира.* На расстоянии примерно 30—40 м устанавливают два штатива с подставками (рис. 64). На штативе № 1 устанавливают теодолит, а на штативе № 2 — марку. Далее с помощью теодолита откладывают угол в 90° и на этом направлении, примерно также на

расстоянии 30—40 м, устанавливают вежу. Затем вынимают из подставок теодолит и марку, заменяя их на штативе № 1 — железом, а на штативе № 2 — теодолитом.

Теодолитом со штатива № 2 визируют на центральную марку жезла (устанавливают направление штатива № 2 — штатива № 1). После этого поворачивают жезл так, чтобы горизонтальная ось жезла совпала с направлением на теодолит. Это положение фиксируется наблюдателем с помощью теодолита в момент совпадения середины ближайшего торца жезла с ранее установленным направлением штатива № 2 — штатива № 1. Если изображение вежи отклоняется от направления визира, положение его исправляют путем перемещения визирной трубки.

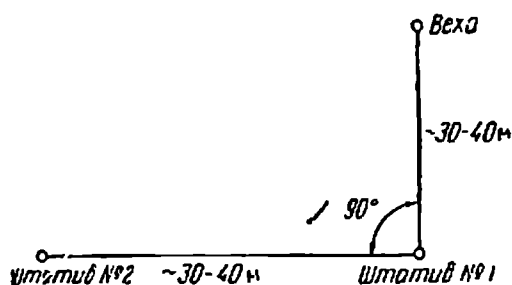


Рис. 64. Проверка правильности установки коллиматора

5. Проверка правильности движения визирной трубки в вертикальной плоскости. Проверка производится по отвесу.

6. Базисные марки жезла и вертикальная ось вращения жезла должны находиться в одной плоскости. Устанавливают жезл в рабо-

чее положение на расстоянии 10—20 м от теодолита и измеряют угол между крайними марками четырьмя полуприемами (без перестановки лимба). Затем жезл поворачивают на 180° и измеряют тот же угол, тем же числом полуприемов, при том же положении лимба. Если значения углов для двух положений жезла равны или разность их в пределах $2''$, условно можно считать выполненным. В противном случае производят перемещение стержня (провода) или производят измерения по следующей программе:

в зенитях с расположением жезла вблизи середины определяемого отрезка линии (вспомогательного базиса) измерение параллактических углов производится с одного конца отрезка на одну сторону жезла, а с другого конца на вторую сторону. К вычисленной длине отрезка (вспомогательного базиса) прибавляется поправка за толщину пластины. При расположении жезла на конце измеряемого отрезка (вспомогательного базиса) параллактические углы измеряются двумя полуприемами на одну сторону жезла, а после поворота его на 180° , двумя полуприемами на другую сторону жезла. К расстоянию, вычисленному по среднему значению параллактического угла, прибавляется половина толщины пластины.

7. Проволока (стержень) должна быть горизонтальна. В рабочем положении жезла визируют теодолитом на левую марку жезла и закрепляют трубу. Вращением алидады проверяют, находится ли правая марка жезла на той же высоте. Отклонение допускается в пределах 2—3 мм. При конструктивной возможности производится исправление. Несоблюдение этого условия при до-

стояние положения марок не скажется на результатах измерений, если длина жезла определяется на полевом компараторе.

Примечания: 1. Поверки 4) и 7) производятся ежедневно. 2. Для жезлов с проволоками и динамометрами неизменность показаний динамометра проверяется на каждой станции.

Исследование жезла. К исследованиям относят определение его длины в полевых условиях на компараторах 24, 48 или 120 м (рис. 65, рис. 66). Длина компаратора (базиса) измеряется двумя инвариантными проволоками с погрешностью не более 1 : 50 000. Порядок измерения и вычисления указан в задании III.3.

При измерении каждого пролета по шкалам проволоки берутся три пары отсчетов. Расхождения между разностями переднего и заднего отсчетов не должны быть более 0,3 мм.

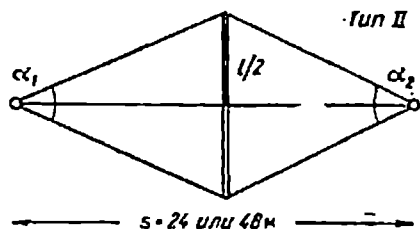


Рис. 65. Определение длины жезла на компараторах длиной 24 и 48 м

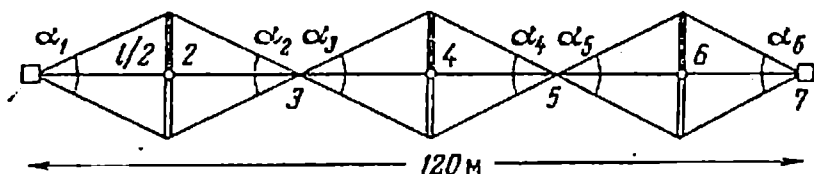


Рис. 66. Определение длины жезла на компараторе длиной 120 м

Длина компаратора вычисляется по формуле

$$s = n(l + \Delta l) + \sum (\Pi - 3) + \Delta s_t + \sum \Delta l_h \quad (\text{III.59})$$

где l — номинальная длина проволоки,

Δl — поправка за компарирование проволоки,

Π — отсчет по передней шкале проволоки,

3 — отсчет по задней шкале проволоки,

Δs_t — поправка за температуру,

Δl_h — поправка за наклон проволоки.

Длины компаратора, вычисленные по измерениям двумя проволоками, не должны отличаться между собой:

для компаратора 24 м — 0,3 мм;

» » 48 м — 0,4 мм;

» » 120 м — 1,0 мм.

На компараторе в 120 м, в его створе (с погрешностью 3—4 см) намечают точки 1, 2, 3, . . . , 7 (см. рис. 66) на расстояниях примерно в 20 м друг от друга. Затем последовательно в точках 1, 3, 5, 7 устанавливают теодолит, а в точках 2, 4, 6 — жезл (перпендикулярно к компаратору). Параллактические углы $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_6$ измеряют четырьмя полуприемами на выбранной части лимба

с перестановкой его между полуприемами примерно на 1° . Расхождения между углами, полученными в полуприемах, не должны превышать $3''$. Наблюдения записывают в табл. 49, в которой помещается чертеж наблюдаемой части компаратора (см. рис. 67).

Т а б л и ц а 49

Журнал измерения параллактических углов

20 июля 1971 г. Наблюдатель В. П. Иванов

Вычислитель К. А. Федоров

Время: начало 8 ч 30 мин

Точка стояния теодолита 1

конец 8 ч 40 мин

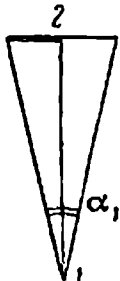
Точки стояния жезла 2

Погода: пасмурно, слабый ветер

Видимость: хорошая

Наблюдение: спокойное

Температура жезла $+15.0^\circ$

Чертеж	№ приема	Наблюдаемые марки	Отсчеты					Угол ° ' "
			°	'	I	II	Среднее "	
					"	"		
 Рис. 67	1	Левая	73	05	30	31,2	30,6	5 57 10,2
		Правая	79	02	40,5	41,0	40,8	
	2	Левая	74	24	02,0	02,8	02,4	5 57 11,9
		Правая	80	21	14,0	14,6	14,3	
	3	Левая	75	16	37,6	38,0	37,8	5 57 12,1
		Правая	81	13	49,8	50,0	49,9	
	4	Левая	76	15	16,2	16,8	16,5	5 57 13,0
		Правая	82	12	29,8	29,3	29,5	
$\alpha_1 = 5^\circ 57' 11,8''$								

Длина компаратора измеряется с помощью жезла дважды — в прямом и обратном направлении. При измерении фиксируется температура жезла, путем измерения температуры воздуха.

Если расхождения между значениями $\sum_{i=1}^6 \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$ в прямом направлении и в обратном не превышают 0,01, то длину жезла l вычисляют по формуле

$$l = l_0 + \Delta l, \quad (\text{III.60})$$

где l_0 — номинальная длина жезла (2 м или 3 м),
 Δl — поправка по результатам компарирования

$$\Delta l = \frac{2s - l_0 \left(\sum \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right)_{\text{ср.}}}{\left(\sum \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \right)_{\text{ср.}}} \quad (\text{III.61})$$

Пример на вычисление длины жезла приводится в табл. 50.

Т а б л и ц а 50

Вычисление длины жезла

Направление	№ углов	Угол α , "	$\operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$
Прямо	1	2 58 35,9	19,2312
	2	2 46 38,9	20,6126
	3	2 54 56,7	19,6335
	4	2 59 41,5	19,1140
	5	2 48 29,2	20,3873
	6	2 43 21,2	21,0290
	Σ прямо		120,0076
Обратно	6	2 42 39,6	21,1188
	5	2 49 13,8	20,2977
	4	2 58 22,4	19,2555
	3	2 56 12,0	19,4934
	2	2 50 10,8	20,1841
	1	2 54 41,4	19,6622
Σ обратно			120,0117
Σ прямо — Σ обратно			—0,0041
$\Sigma_{\text{ср}}$			120,0096
l_0			2,0 м

$$l = 2 \text{ м} - 0,00004 = 1,99996 \text{ м.}$$

П р и м е ч а н и е. Длина компаратора $s = 120,0076 \text{ м.}$

Вычислял К. А. Федоров

При вычислении длины жезла можно использовать и иную формулу

$$l = \frac{2s}{\sum \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}}. \quad (\text{III.62})$$

3. Измерение длин линий. В зависимости от длин измеряемых линий применяются различные типы звеньев. Рассмотрим некоторые из них.

Простое параллактическое звено типа I (рис. 68) рекомендуется применять при измерении линий до 30 м. Приведем формулы для вычисления расстояний и оценки точности

$$s = AB = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}, \quad (\text{III.63})$$

$$m_s^2 = \left(\frac{sm_l}{l} \right)^2 + \left(\frac{s^2 m_\alpha}{l^2} \right)^2, \quad (\text{III.64})$$

где m_s — средняя квадратическая погрешность значения s ,
 l — длина жезла,
 m_l, m_α — соответственно средние квадратические погрешности длины жезла и измерения параллактического угла,
 ρ — радиан.

Простое звено типа II (см. рис. 65) рекомендуется применять для расстояний до 70 м. Запишем формулы для вычисления расстояния и оценки точности

$$s = AB = \frac{l}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} \right), \quad (\text{III.65})$$

$$m_s^2 = \left(\frac{sm_l}{l} \right)^2 + \left(\frac{s^2 m_\alpha}{l \rho \sqrt{2}} \right)^2. \quad (\text{III.66})$$

При использовании звена этого типа для измерения расстояний, больших чем 70 м, измеряемую линию следует разбить примерно на равные части, каждая из которых и будет определена. В этом случае вся длина линии определится как сумма длин простых звеньев по формуле

$$s = \sum_1^n AB = \frac{l}{2} \sum_1^n \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (\text{III.67})$$

Промежуточные точки на линии не должны отходить от створа ее более чем на величину $\frac{d}{500}$, где d — длина измеряемого отрезка линии.

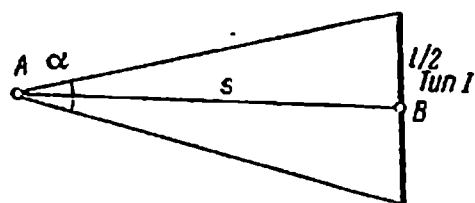


Рис. 68. Простое параллактическое звено типа I

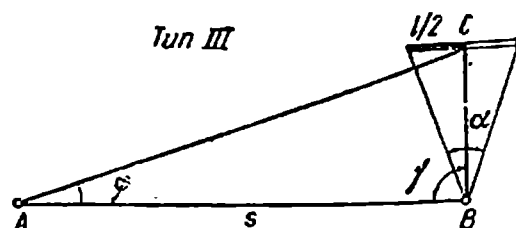


Рис. 69. Сложное звено типа III

Сложное звено типа III (рис. 69) рекомендуется применять для расстояний от 70 до 250 м. При выборе величины вспомогательного базиса b следует учитывать соотношение

$$b \approx \sqrt{ls}. \quad (\text{III.68})$$

Вспомогательный базис в звене этого типа располагается на конце измеряемой линии и длина его определяется из простого звена типа I. В звене типа III измеряются параллактические углы

α , φ и приазисный угол γ . Вычисление расстояния и оценка точности проводятся по формулам

$$\text{при } 70^\circ < \gamma < 110^\circ \quad s = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \cdot \frac{\sin (\varphi + \gamma)}{\sin \varphi}; \quad (\text{III.69})$$

$$\text{при } \gamma = 90^\circ \pm 10' \quad s = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \varphi; \quad (\text{III.70})$$

$$m_s^2 = \left(\frac{sm_l}{l} \right)^2 + \left(\frac{sbm_\alpha}{l\rho} \right)^2 + \left(\frac{s^2m_\varphi}{b\rho} \right)^2. \quad (\text{III.71})$$

Сложное звено типа IV (рис. 70) рекомендуется применять при измерении линий от 250 до 400 м. Величине вспомогательного базиса b следует выбрать в соответствии с формулой

$$b = 1,65 \sqrt{ls}. \quad (\text{III.72})$$

В этом звене вспомогательный базис располагается в конце измеряемой линии и определяется из простого звена типа II. Жезл устанавливается в створе вспомогательного базиса с погрешностью не более $\frac{b}{500}$. Для вычисления расстояния и оценки точности применяют формулы

$$\text{при } 70^\circ < \gamma < 110^\circ \quad s = \frac{l}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} \right) \frac{\sin (\varphi + \gamma)}{\sin \varphi}; \quad (\text{III.73})$$

$$\gamma = 90^\circ \pm 10' \quad s = \frac{l}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} \right) \operatorname{ctg} \varphi; \quad (\text{III.74})$$

$$m_s^2 = \left(\frac{sm_l}{l} \right)^2 + \left(\frac{sbm_\alpha}{l\rho \sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{s^2m_\varphi}{b\rho} \right)^2. \quad (\text{III.75})$$

Сложное звено типа V (рис. 71) рекомендуется использовать при расстояниях от 250 до 400 м. Точка C намечается примерно

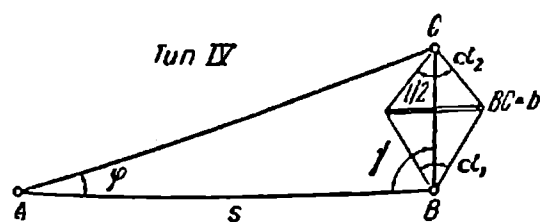


Рис. 70. Сложное звено типа IV

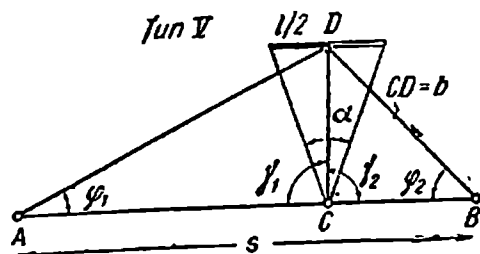


Рис. 71. Сложное звено типа V

в середине линии AB и точно в створе (отклонение от створа не должно превышать 0,2 м). Величина вспомогательного базиса выбирается в соответствии с формулой (III.72). Параллактические углы α , φ_1 , φ_2 измеряются четырьмя полуприемами;

и γ_2 — двумя полупрямыми. Расстояние вычисляется по формулам
 при $70^\circ < \gamma < 110^\circ$ $s = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \left[\frac{\sin(\varphi_1 + \gamma_1)}{\sin \varphi_1} + \frac{\sin(\varphi_2 + \gamma_2)}{\sin \varphi_2} \right]$; (III.76)

$$\text{при } \gamma = 90^\circ \pm 10' \quad s = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} (\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi_2); \quad (\text{III.77})$$

$$m_s^2 = \left(\frac{sm_l}{l} \right)^2 + \left(\frac{sbm_\alpha}{l\rho} \right)^2 + \left(\frac{s^2 m_\varphi}{b\rho \sqrt{2}} \right)^2. \quad (\text{III.78})$$

Сложное звено типа VI (рис. 72) рекомендуется применять при измерении линий более 400 м. Величина вспомогательного

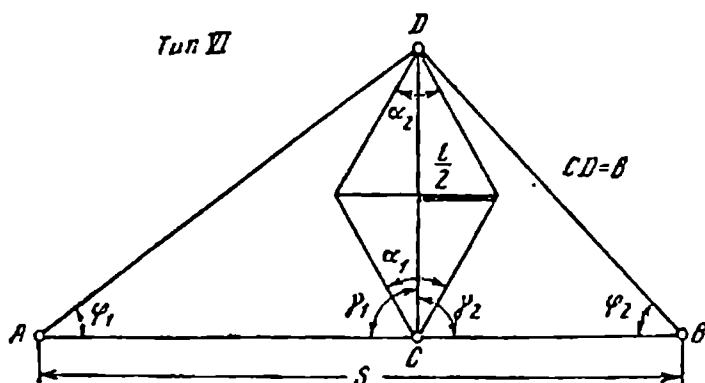


Рис. 72. Сложное звено типа VI

базиса выбирается в соответствии с формулой (III.68). Точка C намечается в створе линии с ошибкой не более 0,2 м. Жезл устанавливается в створе вспомогательного базиса с ошибкой не более $\frac{b}{500}$. Вычисление длины стороны и оценка точности производятся по формулам

при $70^\circ < \gamma < 110^\circ$

$$s = \frac{l}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} \right) \left[\frac{\sin(\varphi_1 + \gamma_1)}{\sin \varphi_1} + \frac{\sin(\varphi_2 + \gamma_2)}{\sin \varphi_2} \right]; \quad (\text{III.79})$$

при $\gamma = 90^\circ \pm 10'$

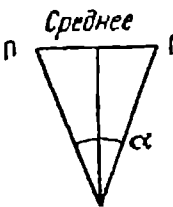
$$s = \frac{l}{2} \left(\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2} \right) (\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi_2); \quad (\text{III.80})$$

$$m_s^2 = \left(\frac{sm_l}{l} \right)^2 + \left(\frac{sbm_\alpha}{l\rho \sqrt{2}} \right)^2 + \left(\frac{s^2 m_\varphi}{b\rho \sqrt{2}} \right)^2. \quad (\text{III.81})$$

При полевых измерениях для достижения точности измерения линий с относительной погрешностью $\frac{1}{10\,000}$ необходимо, чтобы параллактические углы α и φ не были меньше $5^\circ 43'$, т. е. минимальные значения отношений l/b и b/s могут быть $\frac{1}{10}$. Штативы

на концах измеряемой линии устанавливаются с помощью оптического центрира (с точностью 1 мм), а выставляются в створе с помощью теодолита. Жезл устанавливается с помощью уровня и коллиматора. Контролем правильности установки жезла перпендикулярно к измеряемой линии или вспомогательному базису служит равенство углов между направлениями на левую и среднюю, среднюю и правую марки. Расхождения не должны быть более 7". Результаты контроля записываются в журнал (табл. 51).

Таблица 51

Чертаж	Название марок	Отсчеты			$\frac{\alpha}{2}$ ° ' "	Δ "
		1	II	сред-		
		° ' "	"	нее "		
Рис. 73 	Левая	72 04 20	22	21		
	Средняя	75 28 29	27	28	3 24 07	3
	Правая	78 52 38	37	38	3 24 10	

Параллактические углы α и φ измеряются только на заранее выбранной части лимба (см. Исследование теодолита) четырьмя полуприемами с перестановкой лимба на величину $\sim 1^\circ$. Отсчеты по горизонтальному кругу производят при двух совмещениях изображения штрихов. Расхождения между отсчетами не должны быть более 2", а расхождение в углах, полученных в полуприемах, более 4". Прибазисные углы γ измеряют двумя полуприемами. Расхождение между углами в полуприемах допускается до 20". Образец записи результатов измерений приведен в табл. 52. При измерении параллактических углов фиксируется температура жезла, путем измерения температуры воздуха.

4. Вычислительная обработка результатов измерений. Обработка результатов измерений начинается с проверки записей и вычислений в полевых журналах. Вычисление длин линий производится по формулам, указанным выше, для соответствующего типа звена. В длину жезла, полученную при полевом компарировании, необходимо ввести поправку за температуру жезла по формуле

$$\Delta l_t = l \epsilon (t_{изм} - t_{ком})_t \quad (III.82)$$

где ϵ — коэффициент расширения металла, из которого изготовлен жезл. (В нашем примере $\Delta l_t = 0$).

Вычисления проводятся с помощью шестизначных таблиц натуральных значений тригонометрических функций и счетных машин (арифмометр и др.). Образец записи приводится в табл. 53.

Ведомость вычислений сопровождается схемой типа звена, на которой указано наименование вычисляемой линии и измеренные значения паралактических и приращенных углов.

Таблица 52

Линия ПЗ 22 — ПЗ 23

Погода: ясно

Дата 22 июня 1971 г.

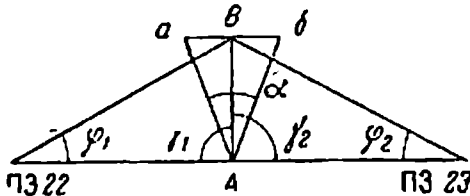
Изображение: спокойное

Начало наблюдений 9 час. 30 мин.

Температура жезла +15°

Наблюдатель В. П. Иванов

Вычислитель К. А. Федоров

Точка стояния вспрумента	№ наблю- даемых пунктов	№ приемов	Отсчеты			Углы, ° ' "			
			I	II	среднее "				
			° ' "	"					
 Рис. 74.									
ПЗ 22	А В	Измерение φ_1				Среднее	5 46 18.3		
		1	72 16 17.6	17.4	17.5				
			78 02 36.6	37.0	36.8				
		2	73 20 38.0	38.0	38.0				
			79 06 55.0	55.0	55.0				
		3	74 26 41.0	43.0	42.0				
			80 13 00.0	00.0	00 0				
		4	75 31 25.0	26.0	25.5				
			81 17 44.5	44.4	44.4				
		Среднее						5 46 18.3	
А	ПЗ 22 В	Измерение γ_1				Среднее	90 05 03		
		1	0 05 15	15	15				
			96 10 21	21	21				
		2	89 31 20	21	20				
			179 36 20	20	20				
		Среднее						90 05 03	

В полученную длину линии вводят поправки за приведение длины линии на уровень моря и на плоскость в проекции Гаусса — Крюгера. При вычислении линии также можно использовать специальные таблицы (авторы Л. П. Недешева, Н. Г. Романов).

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Задание выполняется бригадой из пяти студентов. Все члены бригады участвуют в выполнении проверок и исследований. Каждый студент проводит измерение одной стороны полигонометрического хода и вычисление ее.

Ведомость вычисления длины стороны

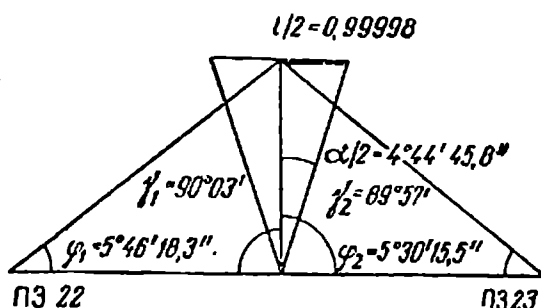


Рис. 75.

Обозначения	Вычисления	Обозначения	Вычисления
$\frac{l}{2}$	0,99998	$\operatorname{ctg} \varphi_1$	9,89334
$\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2}$	12,04482	$\operatorname{ctg} \varphi_2$	10,37721
$\operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2}$	—	$\operatorname{ctg} \varphi_1 + \operatorname{ctg} \varphi_2$	20,27055
$\operatorname{ctg} \frac{\alpha_1}{2} + \operatorname{ctg} \frac{\alpha_2}{2}$	12,04482	s	244,150 м

Вычислял К. А. Федоров

По завершении работ представляются:

- 1) материалы поверок и исследований;
- 2) вычисленные и проверенные журналы измерения углов;
- 3) ведомости вычисления длин сторон.

ЗАДАНИЕ III.6

ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНИЙ В ПОЛИГОМЕТРИИ ОПТИЧЕСКИМИ ДАЛЬНОМЕРАМИ

В практике находят широкое применение оптические дальнометры двойного изображения. По своей конструкции они позволяют исключать или значительно уменьшать влияние ряда источников погрешностей, свойственных непосредственно дальномеру, как, например, погрешность за толщину нитей, за неодновременность отсчетов по нитям, погрешность отсчета и др. В силу этого и точность измерения ими значительно выше.

При проложении ходов с предельными относительными линейными погрешностями 1 : 3000, 1 : 500 с успехом в производстве

используются редуционный тахеометр Редта-002 (предприятие «Карл Цейсс» в ГДР) и дальномер ОТД.

I. Задача: ознакомиться с редуционным тахеометром Редта, дальномером ОТД и дальномерными рейками; произвести их поверки, исследования и измерение линий.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. М., Геодезиздат, 1962, § 89, 90.

Эглит В. И., Сидельников С. П. Редуционный тахеометр Редта-002. М., Госгеолтехиздат, 1963.

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500. М., «Недра», 1973.

Захаров А. И. Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., «Недра», 1970.

III. Приборы и принадлежности: редуционный тахеометр Редта, дальномер ОТД, дальномерные рейки, штативы, рулетка, топографический зонит, топор, журналы для записи полевых измерений, арифмометр.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) ознакомление с редуционным тахеометром Редта и дальномерными рейками;
- 2) поверки и исследования тахеометра и дальномерных реек;
- 3) измерение линий;
- 4) ознакомление с дальномером ОТД и дальномерной рейкой;
- 5) поверки и исследования дальномера и рейки;
- 6) измерение линий.

Р е д у к ц и о н н ы й т а х е о м е т р Р е д т а

1. Ознакомление с редуционным тахеометром Редта и дальномерными рейками. Редта — сокращенное наименование редуционного тахеометра. Свое название прибор получил потому, что при его помощи определяется автоматическим путем горизонтальное проложение расстояния. Другими словами, расстояния редуцируются (приводятся) на горизонтальную поверхность. Это повторительный оптический теодолит. Общий его вид представлен на рис. 76.

Отсчетное устройство прибора представляет шкаловой микроскоп, расположенный рядом с окуляром зрительной трубы. В поле зрения микроскопа передаются изображения делений горизонтального и вертикального кругов, на которые накладываются изображения шкал микроскопов (шкала отсчетов по горизонтальному кругу, и двойная шкала для вертикального круга; шкала zenithных расстояний, шкала тангенсов углов наклона). Точность отсчетов при измерении горизонтальных и вертикальных углов 0,1', по шкале тангенсов 0,0001. Отсчет по шкале тангенсов производится по индексу, который представляет собой биссектор со штрихом внутри. Непосредственно по шкале читают десятые и сотые доли тангенса, а тысячные равны числу штрихов, отсчитыв-

ваемых от младшего подписанного, четвертый знак определяется на глаз. Целой частью всегда будет 0, так как шкала тангенсов рассчитана на углы наклона до 45° . Поле зрения микроскопа представлено на рис. 77, где отсчеты составляют для: горизонтального круга $130^\circ 06,6'$; вертикального круга $87^\circ 21,5'$; шкалы тангенсов $+ 0,0461$. Зрительная труба тахеометра Редта имеет дальномер двойного изображения с постоянным диастиметрическим углом и переменным базисом. Прибор предназначен для измерений по трехштативной системе.

Дальномер с оптическим клином (или несколькими клиньями) носит название дальмера с двойным изображением. Такое название дано дальномеру потому, что в поле зрения его видны два изображения рейки, сдвинутые одно относительно другого вследствие применения оптического клина.

Разрез зрительной трубы Редта представлен на рис. 78.

Диастиметрический угол в таком дальномере зависит от величины преломляющего угла оптического клина. Обычно оптические клинья рассчитывают так, чтобы ко тангенс диастиметрического угла оптического дальмера был равен 100 единицам, а диастиметрический угол — $34,38'$.

Применение оптического клина позволяет линейную величину смещения одного изображения рейки относительно другого принять за переменный базис. Величина базиса помещается прямо пропорционально расстоянию между вершиной диастиметрического угла и рейкой.

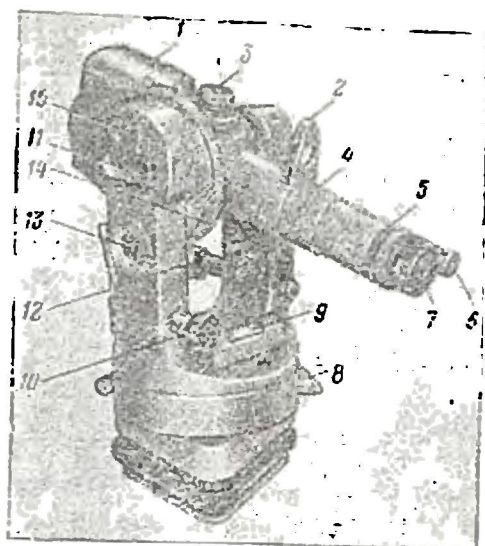


Рис. 76. Общий вид тахеометра Редта 002:

1 и 2 — диоптры; 3 — барабан оптического микрометра; 4 — кольцо внутреннего фокусирования трубы; 5 — кольцо исключения или выключения двойного изображения; 6 — окуляр микроскопа; 7 — окуляр зрительной трубы; 8 — дисковое повторительное приспособление; 9 — уровень горизонтального круга; 10 — винт контактного уровня; 11 — контактный уровень; 12 — наводящий винт трубы; 13 — зеркало рефлектора; 14 — сигнала поправок; 15 — призна для наблюдения уровня

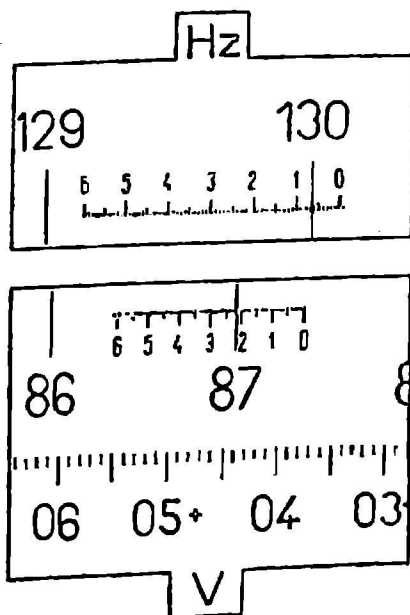


Рис. 77. Поле зрения отсчетного микроскопа тахеометра Редта

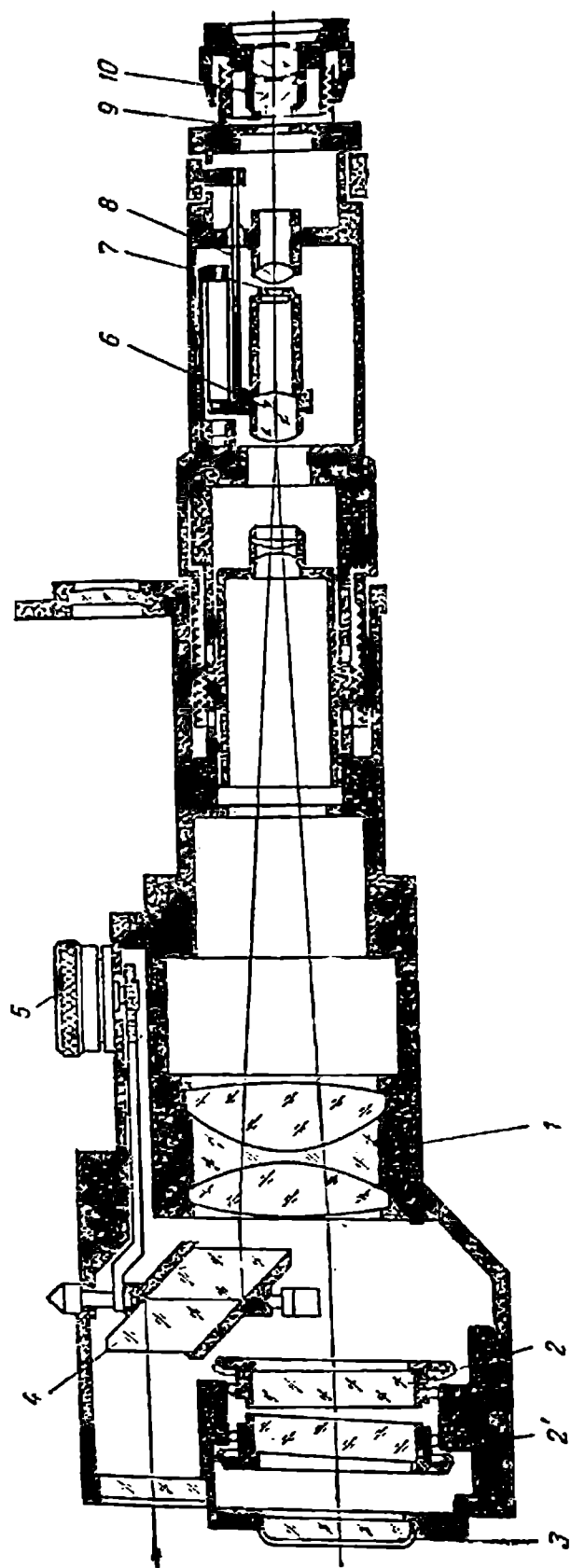


Рис. 78. Разрез зрительной трубы Редта:

1 — объектив; 2 и 2' — оптические клинья; 3 — юстировочный клип; 4 — юстировочный клип; 5 — юстировочный клип; 6 — юстировочный клип; 7 — юстировочный клип; 8 — юстировочный клип; 9 — юстировочный клип; 10 — окуляр

Получение горизонтального проложения достигается благодаря тому, что в дальномере Редта угол поворота трубы в вертикальной плоскости равен углу поворота оптических клиньев, которые смещаются относительно друг друга, в противоположные стороны, вследствие чего диастиметрический угол уменьшается пропорционально косинусу угла наклона трубы, а следовательно, отсчет по рейке автоматически уменьшается. Таким образом, мы получаем горизонтальное проложение расстояния от аналитической точки до рейки.

Разделительное устройство в дальномере Редта состоит из двойной призмы (бипризмы) 6 (см. рис. 78), диафрагмы 7, объектива 8, который строит прямое изображение в плоскости щелевой диафрагмы 9, рассматриваемое через окуляр 10.

Разделение изображений производится по прямой (горизонтальной) линии.

Для повышения точности отсчета вследствие неполного совпадения штриха верньера со штрихом основной шкалы пользуются оптическим микрометром в виде стеклянной плоскопараллельной пластинки (ромбпризмы), укрепленной перед той частью объектива, которая не закрыта оптическим клином. Пластика поворачивается вокруг вертикальной оси с помощью счетного барабана, фиксирующего угол поворота, выражаемого в единицах шкалы.

В комплект дальномера входят две горизонтальные рейки (рис. 79) с подставками и штативами (или со штангами). Полная длина рейки 2,09 м. Штрихи рейки нанесены на топочной стальной полосе, скрепленной с деревянным корпусом рейки. Дальномерная рейка имеет 14 дециметровых делений, разделенных штрихами на 5 частей. Десятые доли метра подписаны.

В нижней левой половине рейки нанесены два верньера (внутренний и внешний). Внешний (с цифрой +5) расположен в 50 см от перного и используется при расстояниях свыше 120 м. При этом к отсчитанному расстоянию по рейке прибавляется 50 м. На обоих концах рейки нанесены визирные марки, расстояние (базис) между которыми 2,0 м. Этот базис может быть использован при косвенном определении расстояния параллактическим методом. Подставка для реек имеет устройства, позволяющие перемещать горизонтальную рейку вдоль своей оси, по азимуту и по высоте; рейки снабжены круглым уровнем (для установки рейки в плоскость горизонта) и коллиматором для установки рейки перпендикулярно к измеряемой линии.

Отсчет по дальномерной рейке делают при положении зрительной трубы «круг слева» в следующем порядке:

1) включают бипризму поворотом кольца переключателя вправо до упора;

2) наводящим винтом трубы наводят разделительное ребро бипризмы на середину рейки так, чтобы изображение верхних и нижних частей штрихов рейки были одинаковой длины;

3) наводящим винтом горизонтального круга вводят в середину поля зрения трубы ту часть рейки, на которой будет произведен отсчет;

4) приводят в нуль-пункт пузырек уровня на алидаде вертикального круга;

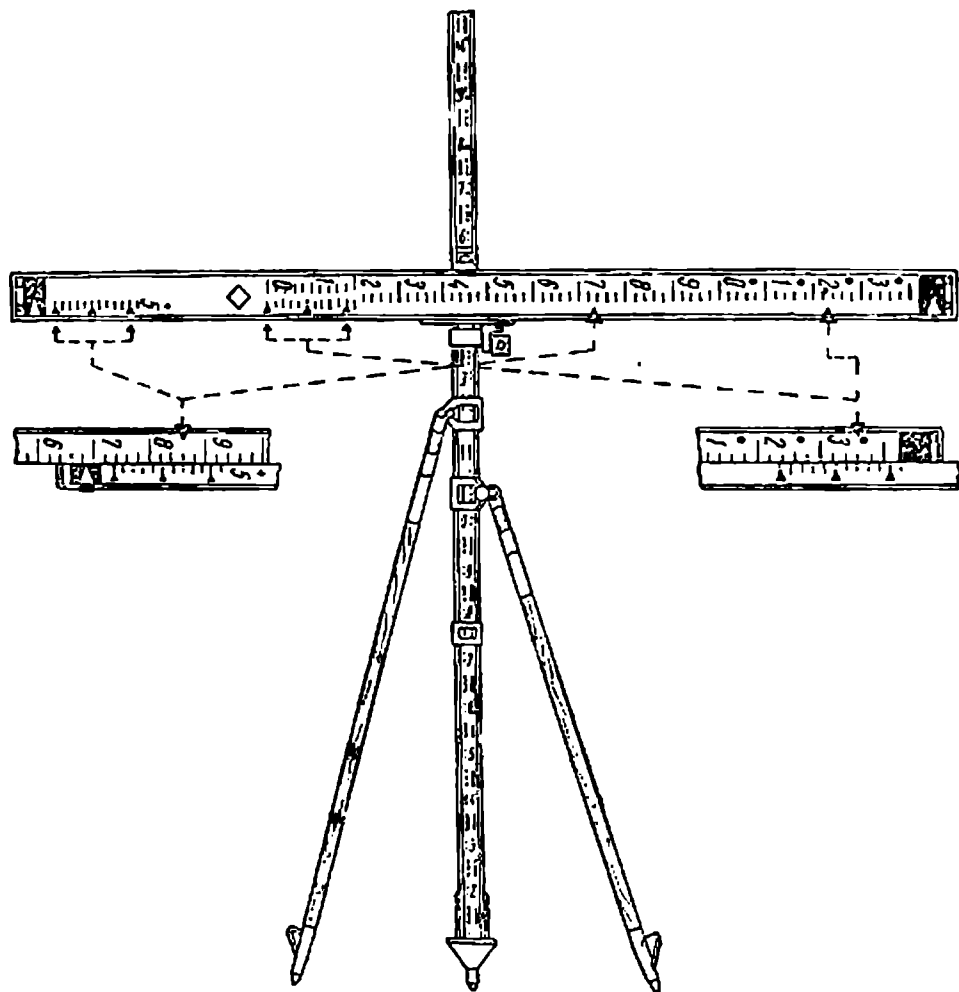


Рис. 79. Рейка к дальномеру Редта

5) вращением барабана (только вправо или только влево) совмещают ближайшие штрихи верньера и рейки. При этом следят за симметричным расположением штрихов верньера, находящихся вправо и влево от совмещенного штриха, относительно штрихов рейки;

6) производят отсчет по рейке и шкале барабана микрометра: отсчитывают от нуля рейки до нулевого штриха верньера десятки метров и отдельные метры. Число метров равно числу целых делений от младшего подписанного штриха рейки до нулевого штриха верньера, умноженному на два. Число дециметров равно номеру совпадающего штриха верньера, умноженному на два. Число целых сантиметров и десятых долей отсчитывают непосред-

ственно по шкале барабана микрометра, цена деления которого 1 см (рис. 80);

7) производят контрольный отсчет, для чего совмещают штрихи рейки и верньера, вращая барабан в противоположную сторону. Если расстояние более 50 м контрольным отсчетом является отсчет по внешнему верньеру (см. рис. 79).

Цена делений основной шкалы рейки равна 2 см. Десятичный верньер позволяет производить оценку долей рейки с округлением до 0,2 (2 мм). На шкале отсчетного барабана плоскопараллельной пластинки нанесено 20 делений, соответствующих изменению отсчета на 2 мм.

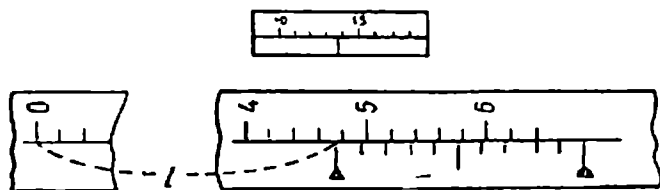


Рис. 80. Отсчет по дальномеру Редта

Если коэффициент дальномера $K = 100$, то расстояние от аналитической точки середины клиньев до рейки будет равно отсчету по рейке, увеличенному в 100 раз.

Для примера (см. рис. 80) вычислим расстояние до рейки, которое будет складываться из следующих частей (в метрах):

$$\begin{array}{r} 40 \\ 3,8 \times 2 = 7,6 \\ 0,136 \\ \hline 47,736 \end{array}$$

Примечание. При определении расстояний свыше 50 м можно ограничиться округлением числа до 0,01 м.

Расстояние вычисляется по формуле

$$s = Kl + c, \quad (\text{III.83})$$

где K — коэффициент дальномера, значение которого зависит от величины преломляющего угла системы клиньев,

c — постоянная слагаемая дальномера, представляющая сумму расстояний от вершины параллактического угла до оси вращения прибора и от передней плоскости рейки до оси штанги.

Величина эта небольшая ибо конструктивно путем смещения шкал отсчетного микрометра и верньеров она исключается.

Поправка за приведение к горизонту постоянного слагаемого c (расстояния между аналитической точкой и осью вращения прибора) может быть отсчитана по шкале, помещенной в кожухе вертикального круга. Деления шкалы даны в сантиметрах. Эта поправка всегда вычитается из измеренного расстояния.

2. Поверки и исследования тахеометра и дальномерных реек. Перед поверками необходимо тщательно осмотреть весь комплект, чтобы убедиться, что нет заметных повреждений; ознакомиться с упаковкой в ящики и футляры тахеометра и реек, так как неправильная укладка может привести к повреждениям. Перечень проверок теодолита и методы их выполнения см. в задании III.1. Поверка тахеометра.

а) Место зенита вертикального круга должно быть близким к 90° . Поверка и юстировка выполняется обычным путем. После каждой юстировки уровня вертикального круга проверяют и юстируют редуцирующее устройство дальномера.

б) Ось круглого уровня на центрировочной штанге должна быть параллельна оси штанги. Если к комплекту прилагается центрировочная штанга, ее поверка выполняется следующим образом. Подвешивают штангу под штативом и убеждаются, что пузырек круглого уровня находится в середине. При нарушении этого условия юстировка производится исправительными винтами уровня. После исправления штангу вращают вокруг ее оси. Пузырек уровня должен оставаться на месте.

Поверки реек.

а) Поверка круглого уровня. Ось круглого уровня рейки должна быть параллельна оси штанги. Смотри поверки базисного жезла (задание III.5).

б) Поверка визира (коллиматора) дальномерной рейки. Коллимационная плоскость визира и передняя плоскость рейки должны быть взаимно перпендикулярны. Смотри поверки базисного жезла (задание III.5). Несмотря на то, что в последних моделях реек коллимационные ошибки визиров устранены в заводских условиях, вышеуказанная поверка повторяется при повороте рейки на 180° .

Поверки и исследования дальномера.

а) Поверка редуцирующего механизма. При горизонтальном положении трубы и положении пузырька уровня при вертикальном круге в нуль-пункте преломляющие ребра клиньев должны быть вертикальны. Поверка производится на местности со значительным уклоном. Выбирают линию 30—50 м с углом наклона $7-10^\circ$ и закрепляют ее колышками со вбитыми в них гвоздиками. Над одним колышком центрируют тахеометр, а на другом устанавливают рейку и производят дальномерные отсчеты по рейке (12—15 отсчетов). Затем взаимно меняют места (в подставках) тахеометр и рейку и повторяют наблюдения в обратном направлении. Если разность отсчетов прямого и обратного наблюдения различается в пределах не более $1 : 5000$ от величины отсчетов, условие следует считать выполненным. В противном случае необходима юстировка.

Образец записи и вычислений, выполняемых при поверке редуцирующего механизма, приведен в табл. 54.

При юстировке для доступа к двум исправительным винтам, расположенным под уровнем алидады вертикального круга под боковой крышкой на левой стойке подставки трубы, следует от-

Журнал наблюдений

№ наблюдения	Фамилия наблюдателя					
	Егоров	Жуков	Пилинов	Петров	Леонов	
	Отсчеты по рейке					
	I положение тахеометра					
1	32,545	32,550	32,555	32,551	32,543	
2	548	552	552	549	550	
3	550	549	550	550	545	
Среднее	32,548	32,550	32,552	32,550	32,546	
	II положение тахеометра					
1	32,550	32,552	32,548	32,550	32,551	
2	551	550	549	551	550	
3	549	548	550	549	550	
Среднее	32,550	32,550	32,549	32,550	32,550	
Расхождение	-2	0	+3	0	-4	
Среднее расхождение			-1			
Среднее относительное расхождение			1			
			32 000			

винты, укрепляющие крышку, и снять ее. Исправление выполняется следующим образом:

1) вычисляется средний отсчет из прямого и обратного определения, который соответствует горизонтальному положению линии;

2) сантиметры и миллиметры этого среднего отсчета устанавливаются на барабане микрометра (путем его поворота);

3) действуя исправительными винтами редуцирующего механизма, совмещают соответствующие штрихи верньера и основной шкалы, предварительно убедившись, что ось уровня на алидаде вертикального круга горизонтальна;

4) повторяют проверку. Убедившись в правильности юстировки, исправительные винты закрывают крышкой.

Проверка редуцирующего механизма обязательно проводится заново после юстировки уровня на алидаде вертикального круга при исправлении места зенита. Так как абсолютно точно выполнить проверку и юстировку редуцирующего механизма практически невозможно, рекомендуется в дальнейшем при измерении линий с большими углами наклона измерения выполнять в прямом и обратном направлениях.

Определение постоянного слагаемого дальногомера s . Величина s определяется на коротких расстояниях. В этих случаях отклонение значения коэффициента дальногомера от 100 не окажет значительного влияния на точность определения s .

На ровном участке колышками отмечают место стояния тахеометра и места постановок реек на расстояниях примерно 3, 4 и 5 м. Каждое из расстояний многократно измеряется компарированной рулеткой с точностью 0,1 см и вычисляется его среднее значение.

Тахеометр тщательно центрируется и горизонтируется. Рейка устанавливается последовательно на каждой из трех точек, центрируется, горизонтируется, устанавливается по визиру и симметрично отсчету. Деления рейки, соответствующие отсчету, должны быть вблизи оси вращения ее (у оси штатива). При этом рейка будет сильно выдвинута вправо и ее необходимо удерживать кому-либо из помощников (во избежание падения).

Установив тахеометр и рейку, производят по дальномеру многократные отсчеты расстояния (10—12). Затем первую рейку заменяют в подставке другой и наблюдения повторяют. Таким образом, три расстояния определяются двумя рейками дальномерного комплекта.

Величина s вычисляется как разность между расстояниями, измеренными рулеткой и определенными по дальномеру,

$$\left. \begin{aligned} c &= s - Kl; \\ K &= 100. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.84})$$

Из всех полученных результатов берут среднее, которое и принимается за окончательное значение постоянного слагаемого. Величина s , как правило, не велика и определение ее требует аккуратности. Образец записи и вычислений при определении постоянного слагаемого s приводится в табл. 55.

Если значение s более 15 мм, то для удобства при дальнейшей работе величину ее можно уменьшить путем юстировки. Для этого открепляют три винта на верхнем круге головки микрометра так, чтобы кольцо с делениями вращалось относительно верхнего круга барабана. Затем совмещают штрихи рейки, соответствующие измеренному расстоянию, и, поддерживая верхний круг барабана, устанавливают кольцо со шкалой на требуемый отсчет (равный измеренному рулеткой расстоянию). В этом положении винты снова закрепляют. Для контроля юстировки проводится повторное определение расстояния по дальномеру.

О п р е д е л е н и е к о э ф ф и ц и е н т а д а л ь н о м е р а. Коэффициент дальмера определяется на полевом компараторе длиной в 120 м, измеренной с относительной погрешностью не более 1 : 25 000. Обычно измерение длины компаратора проводится подвесными мерными приборами (проволами). В измеренную длину компаратора вводят поправки за длину мерного прибора, температуру мерного прибора и за приведение к горизонту. Компаратор выбирается на ровном участке с учетом равномерного его освещения (лучшее направление север — юг) и закрепляется надежными по сохранности знаками. Обычно это обрезки водо-

Журнал наблюдений

№ п/п	Наблюдатель	Расстояние, измеренное рулеткой, м			с = $\frac{1}{3} - KI$, мм	
		$s_1 = 3,130$	$s_2 = 4,441$	$s_3 = 5,770$		
		Отсчеты				
Рейка № 1						
1	Егоров	3,135 133	4,445 440	5,770 768	0	
2	Жуков	134 130	439 438	771 772		
3	Иванов	131 132	437 445	771 768		
4	Петров	132 130	440 443	769 767		
5	Леонов	130 132	440 439	770 770		
Среднее с		3,132 —2	4,439 +2	5,770 0		
Рейка № 2						
1	Егоров	3,131 132	4,441 440	5,770 772		—1 —0,5 мм
2	Жуков	130 133	438 439	771 770		
3	Иванов	134 135	445 440	770 770		
4	Петров	132 131	441 443	771 771		
5	Леонов	134 133	437 442	772 770		
Среднее с		3,132 —2	4,441 0	5,771 —1		

проводных труб, металлические стержни размерами 0,5—0,7 м, зацементированные в грунт на такую же глубину. В створе компаратора, примерно в середине его, забиваются три колышка на расстоянии 1—2 м друг от друга. Колышки не должны отходить от створа на величину более 5 см. На концах компаратора тщательно центрируются и устанавливаются по коллиматору рейки. Установленный над промежуточной точкой компаратора тахеометр горизонтируется и с помощью его проверяется правильность установок реек: горизонтальность — по средней горизонтальной линии трубы, симметричность — по отсчету (отсчитываемое расстояние должно быть симметричным к подставке рейки), перпендикулярность — по коллиматору реек (наблюдатель, визируя на коллиматоры реек, должен видеть в них яркие штрихи). После

поверки установки проводится многократное (10—12) измерение отрезков компаратора. Далее теодолит устанавливают на второй и третьей промежуточных точках компаратора и так же проводят измерения длин его отрезков.

Максимальные расхождения в отсчетах при определении длин отрезков базиса не должны превышать 1 : 5000 длины отрезка. Из трех измеренных значений длин компаратора (трех сумм частей компаратора, которые не должны отличаться между собой на величину, большую чем 2 см) берется среднее, по которому и вычисляется коэффициент дальномера по формуле

$$K = \frac{b - c}{l_{\text{ср}}}, \quad (\text{III.85})$$

где K — коэффициент дальномера,

b — длина измеренного проволокой базиса,

c — постоянное слагаемое дальномера,

$l_{\text{ср}}$ — среднее расстояние, выраженное в отсчетах по дальномеру, полученное из трех приемов.

Значения K вычисляются до шести значащих цифр (например, 100,029).

Представив коэффициент величинной, равной $K = 100 + \Delta K$, значение ΔK определим по формуле

$$\Delta K = \frac{b - l_{\text{ср}} - c}{0,01 l_{\text{ср}}}. \quad (\text{III.86})$$

В этом случае значение ΔK достаточно вычислять до трех значащих цифр.

Образец записи и вычисления приведен в табл. 56.

Для удобства в работе посредством коррекционного клина (внешнего) величину K можно свести к величине, очень близкой к 100. Для этого, установив тахеометр на одном конце базиса, а рейку на другом, на головке микрометра устанавливают отсчет, равный для нашего примера 9,4 см, и приводят пузырек уровня на алидаде вертикального круга в нуль-пункт.

Наблюдая в зрительную трубу на дальномерную рейку, с помощью вилкообразного ключа вращают коррекционный клин до тех пор, пока требуемый штрих верньера совместится с соответствующим штрихом рейки, образовав отсчет 120,094 (длина компаратора).

Определение коэффициента дальномера следует проводить в условиях, близких к условиям измерения. В качестве полевых компараторов могут служить стороны полигонометрических ходов размером 100—150 м, определенные с погрешностью не более 1 : 25 000.

3. Измерение линии. Измерения проводят в часы устойчивых спокойных изображений (утреннее и послеобеденное время); в облачные дни в течение всего дня. В условиях когда изображения

Определение коэффициента дальности

Дата 2 июля 1967 г.

Погода: пасмурно, слабый ветер

Время 7 ч 30 мин

 $b = 120,0938$ $t = +16^\circ$

Наображение: спокойное

Наблю- датель	Наимено- вание частей базиса	I установка			II установка			III установка			$K = \frac{b-a}{l}$ ΔK
		Отсчеты									
		по рейке	по мик- рометру	полный отсчет	по рейке	по мик- рометру	полный отсчет	по рейке	по мик- рометру	полный отсчет	
Егоров	1	63,2	129 123 121	63,324	66,8	90 86 80	66,885	61,4	28 23 20	63,424	$K = \frac{120,094}{120,181} \cdot 100$ $K = 99,927$ $\Delta K = \frac{-0,087}{1,20} =$ $= -0,073$
	2	56,8	53 50	56,854	53,2	103 104	53,302	58,6	153 150	58,753	
			58			100			157		
Жуков	1	63,2	128 125 129	120,178	66,8	84 82 90	120,187	61,4	21 23 26	120,177	$K = \frac{120,094}{120,184} \cdot 100$ $\Delta K = \frac{-0,90}{1,20} =$ $= -0,075$ $K = 99,925$
	2	56,8	56	63,327	53,26	113 109	66,885	58,6	152 150	61,423	
				56,854			53,311			58,753	
				120,181			120,196			120,176	

трихов рейки колеблются, следует использовать короткие расстояния — измеряя линии по частям.

При измерении линии в одном направлении:

при точности 1 : 5000 делают 4 совмещения и 4 отсчета (2 отсчета при вращении головки по ходу часовой стрелки, 2 против хода);

при точности 1 : 2000 — 1 : 3000 — 2 совмещения и 2 отсчета (вращая головку в разные стороны).

Технические допуски при измерении линии даны в табл. 57.

Т а б л и ц а 57

Наименование показателей	Полигонометрия 2 разряда $1/5 : [s] = 1 : 5000$	Теодолитные ходы $1/5 : [s] = 1 : 2000$
Наибольшие допустимые расхождения между отдельными отсчетами расстояний	1 : 3000	1 : 2000
Наибольшие допустимые расхождения длин линий между прямыми и обратными измерениями или двойных измерений в одном направлении	1 : 5000	1 : 3000

При измерении линий в зависимости от их длины могут использоваться различные способы, но обязательно соблюдается правило — линия должна быть измерена дважды.

Расстояния до 150—170 м при хороших условиях измеряются непосредственно в двух направлениях с концов линии. Линии большей длины измеряются по частям. Допустимая погрешность установки в створе промежуточных точек r при этом определяется формулой

$$r = \frac{0,6 \cdot s}{\sqrt{M}}, \quad (\text{III.87})$$

где s — длина измеряемого отрезка,

M — знаменатель предельной относительной погрешности измерения.

Значения предельных величин r приводятся в табл. 58.

Т а б л и ц а 58

Длина измеряемого отрезка, м	Предельное допустимое отклонение створных точек, м	
	1 : 5000	1 : 2000
50	0,4	0,7
100	0,8	1,4
150	1,7	2,7

При измерении линии по частям можно определять длину каждого отрезка в двух направлениях (прямо и обратно) или использовать способ двух створных точек, который заключается в следующем: если длина линии не превышает двойной величины поперечного измерения (300—340 м), то в створе этой линии,

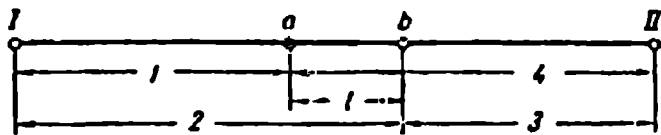


Рис. 81. Измерение линии дальномером Редта

примерно в середине, намечают и закрепляют две точки *a* и *b* на расстоянии 1—2 м (рис. 81). Расстояние между этими точками для последующего контроля рекомендуется измерить рулеткой. Затем, установив дальномер в точке *I*, а дальномерную рейку последовательно в точках *a* и *b*, измеряют отрезки 1 и 2.

После этого тахеометр переносят в точку *II*, а рейку в точку *b* поворачивают на 180° и устанавливают в направлении дально-

Таблица 39

Журнал измерения линии дальномером Редта

Дата 2 июля 1967 г.

Пункт ПЗ 18 — ПЗ 19

Наблюдатель А. И. Егоров

Погода: облачно, ветер слабый

Вычислитель В. Д. Иванов

Видимость: хорошая

Название линий или секций	Отсчеты			Горизонталь- ное проложе- ние	Схема по- ложения линий
	по рейке	по микро- метру	полный отсчет		
ПЗ 18—ПЗ 19	79,2	32	79,285	K = 99,927	ПЗ 19 ПЗ 18 Рис. 82
		38			
		34			
		30			
	79,2	24	79,226		
		28			
		27			
		25			
Среднее			79,230	73,448	

мера. Из точки *II* измеряют отрезок *3* п, переставив рейку в точку *a*, отрезок *4*.

Расстояние получают по формуле

$$s = \frac{(1+4) + (2+3)}{2} \quad (\text{III.88})$$

Контроль:

$$\left. \begin{aligned} (1+4) &= (2+3); \\ (2-1) &= (4-3) = 1. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.89})$$

Невыполнение равенства (III.89) допускается в пределах $\frac{s}{3000}$

и $\frac{s}{5000}$ (см. табл. 57).

При измерении можно применить и другой порядок наблюдений: на точках *I* и *II* (см. рис. 81) устанавливают дальномерные рейки, а тахеометр на точке *a*, тогда измеряют отрезки *1* и *4*, а при перемещении на точку *b*, отрезки *2* и *3*. Установку прибора в створе можно производить с помощью коллиматора (визира) рейки. Такой порядок рационален только при измерении линии. В случае же проложения ходов, когда измеряются и углы, первый способ более эффективен. При больших углах наклона линии и отрезки обязательно измеряются в прямом и обратном направлении, что исключает ошибки редуцирующего механизма. Правильность установки реек обязательно проверяется наблюдателем в зрительную трубу — при наблюдении на коллиматор рейки должен быть виден яркий вертикальный штрих.

Образцы журналов измерения линий приведены в табл. 59 и 60.

После выполнения полевых наблюдений, в камеральных условиях тщательно проверяют журналы, вычисляют значения длин, в которые вводят поправки за приведение к уровню моря и за переход на плоскость в проекции Гаусса.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Все члены бригады участвуют в процессе проверок реек и тахеометра. Каждый студент самостоятельно выполняет исследование дальномера, т. е. определяет его коэффициент *K* и постоянное слагаемое *c*. Каждый студент при проложении хода измеряет не менее одной стороны хода и вычисляет значение *се*, используя свои значения *K* и *c*. Координатная ведомость и схема хода представляются от всей бригады.

Д а л ь н о м е р О Т Д (оптический топографический дальномер).

4. Оснащение с дальномером ОТД и дальномерными рейками. Дальномер ОТД представляет собой самостоятельный прибор для измерения расстояний и определения углов наклона по вертикальному кругу в диапазоне $\pm 22^\circ$ с точностью одной минуты. Дальномер предназначен для измерения линий от 35 до 400 м с относительной средней погрешностью порядка 1 : 5000 (при

Журнал измерения линии дальномером Редта

Дата 3 июля 1967 г.

Пункт ПЗ 27—ПЗ 28

Наблюдатель В. Г. Егоров

Погода: ясно, ветер умеренный

Вычислитель А. М. Жуков

Видимость: хорошая

Название линий или секций	Отсчеты			Горизон- тальное проло- жение, $s = Kl + c$	Схема измерения линий
	по рейке	по микрометру	полный отсчет		
ПЗ 27—1	88,4	67 73 Среднее 70	88,470	88,405	
ПЗ 27—2	90,8	79 85 Среднее 82	90,882	90,816	
ПЗ 28—2	76,8	183 189 Среднее 186	76,986	76,930	
ПЗ 28—1	79,2	188 186 Среднее 187	79,387	79,329	

$$\Delta = 2,412 \approx 2,401; K = 99,927; c = 0.$$

Рис. 83

расстояниях, превышающих 400 м, точность уменьшается). Он относится к типу дальномеров с перемещенным параллактическим углом и постоянным базисом и предназначен для измерений по трехштативной системе.

Этот дальномер представляет собой дальнейшее развитие и усовершенствование широко известной дальномерной насадки ДНТ. Оптическая схема представлена на рис. 84.

Общий вид дальномера ОТД представлен на рис. 85.

Перекидной клин 1 (см. рис. 84) может быть включен в верхнюю или нижнюю ветвь оптической схемы зрительной трубы при помощи рычага 3 (см. рис. 85). Этот клин смещает луч на постоянный угол β_k (примерно $2300''$), вследствие чего при расстояниях, близких к 300 м, потребуется совсем незначительное перемещение полуплнз компенсатора.

Изображение дальномерной шкалы, прикрепленной к передней оправе полуплнз, и шкалы микроскопа введено в поле зрения

окуляра зрительной трубы. Дальномерная шкала имеет 120 делений. Отсчеты с помощью шкалы микроскопа производятся де

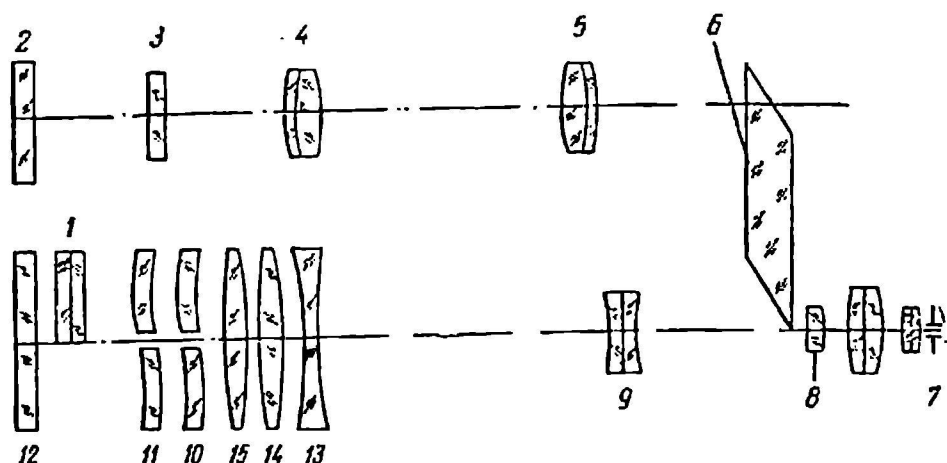


Рис. 84. Оптическая схема дальномера ОТД:

1 — оптический перекидной клин; 2 — светофильтр; 3 — шкала микроскопа; 4, 5 — линзы микроскопа; 6 — призма; 7 — щелевая диафрагма; 8 — бипризма; 9 — фокусирующая линза трубы; 10, 11 — полулинзы компенсатора; 12 — защитное стекло; 13, 14, 15 — объектив зрительной трубы

сотых долей деления. Точность отсчетов по вертикальному кругу по неподвижному индексу с оценкой на глаз 0,1 деления, соответствует 1'. Микрометренное наведение по азимуту и по высоте осуществляется винтами, соосно, с которыми расположены зажимные винты.

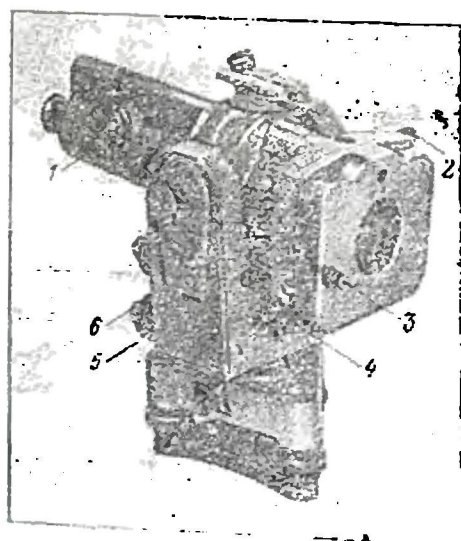


Рис. 85. Общий вид дальномера ОТД:

1 — кремальера; 2 — наводящий винт установочной части компенсатора; 3 — рычаг перекидного клина; 4 — наводящий винт азимутального поворота; 5 — винт азимутального поворота; 6 — зажимной винт

лонке трубы. Поворот производится до щелчка фиксатора, после чего винт упора закручивается.

В подставку дальномера вмонтирован оптический центпр. Для установки вертикальной оси вращения дальномера в отвесное положение имеется цилиндрический уровень, расположенный внутри колонки зрительной трубы. Наблюдение положения пузырька уровня производится через окошко в колонке.

Для перехода от работы с горизонтальной рейкой к работе с рейкой, поставленной вертикально, трубу дальномера поворачивают вокруг визирной оси на 90°, вывинчивая предварительно упор и оттягивая фиксатор, расположенные в ко-

Базисная рейка дальномера двухсторонняя. На каждой из сторон укреплено по 6 дальномерных марок, имеющих номера от 1 до 6.

На одной стороне рейки расстояния между осями симметрии соседних марок равны 400 мм, а на другой — 404 мм, т. е. разность между расстояниями составляет 1%.

Рейка снабжена двумя сферическими уровнями, оси которых взаимно перпендикулярны. Уровни служат для установки рейки в горизонтальное или вертикальное положение. В средней части рейки находится визир, с помощью которого плоскость марок горизонтально установленной рейки приводится в положение,

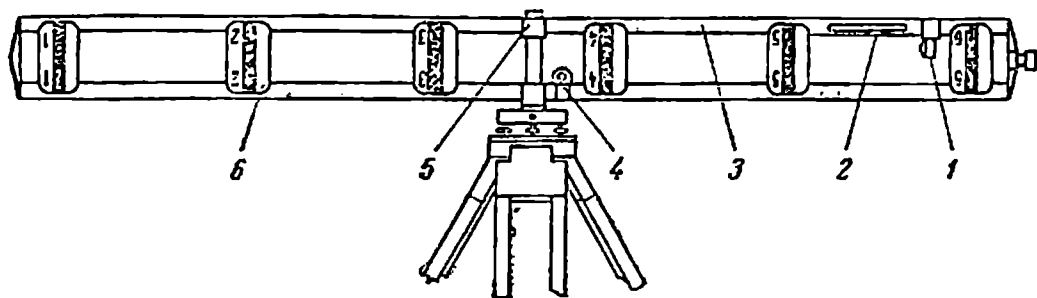


Рис. 86. Рейка к дальномеру ОТД:

1 и 5 — уровни; 2 — термометр; 3 — каркас; 4 — оптический визир; 6 — визирные марки

перпендикулярное к измеряемой линии. Для измерения температуры рейки в каркасе ее вмонтирован термометр. Общий вид рейки представлен на рис. 86.

Подставка для рейки также снабжена оптическим центриром.

Определение расстояний дальномером ОТД в принципе сходно с измерением расстояний дальномерной насадкой ДНТ (Практикум по геодезии, М., «Недра», 1973, задание III.9). Но так как в ОТД перед компенсатором имеется перекидной оптический клин, параллактический угол складывается из двух частей: постоянной части β_k , создаваемой оптическим клином, и переменной части $\beta_{\text{из}}$, определяемой перемещением компенсатора.

Горизонтальное проложение измеряемой линии s вычисляется по формуле

$$s = \frac{N \cdot K}{\beta} + c - \delta s_v + \delta s_t, \quad (\text{III.90})$$

где.

$$\beta = \beta_k + \beta_{\text{из}}$$

N — число интервалов (баз) рейки, использованных при измерении параллактического угла,

K — коэффициент дальномера

$$K = \frac{l \rho''}{\gamma''}, \quad (\text{III.91})$$

l — длина базы рейки,
 ψ'' — цена деления дальномерной шкалы в секундах,
 c — постоянное слагаемое, равное 0,12,
 β_k — постоянная часть параллактического угла,
 β_n — переменная измеряемая часть параллактического угла,

$$\delta s_t = s(t - t_0) \left(0,000023 + \frac{0,000007\beta_n}{\beta} \right) \quad (\text{III.92})$$

— поправка за температуру рейки,
 t — температура при измерении,
 t_0 — температура при определении K ,
 δs_v — поправка за наклон измеряемой линии:
 горизонтальная рейка

$$\delta s_v = 2 \left(\frac{NK}{\beta} + c \right) \sin^2 \frac{\nu}{2}; \quad (\text{III.93})$$

вертикальная рейка

$$\delta s_v = \left(\frac{NK}{\beta} + c \right) \sin^2 (\nu + 12'), \quad (\text{III.94})$$

ν — угол наклона.

Для измерения параллактического угла β_n рычаг 3 перекидного клина (см. рис. 85), фиксирующий положение оптического перекидного клина, должен быть повернут вверх, тогда клин будет находиться внизу. При таком положении рычага винтом 4 измерительной части компенсатора производится совмещение изображений дальномерных марок рейки. Возможны несколько вариантов совмещений марок (например, номер первый совмещают со вторым, третьим и т. д.), но из них выбирают наилучший, т. е. тот, при котором получается максимальная разность между номерами совмещающихся марок.

После совмещения изображений марок производят отсчет по дальномерной шкале n_1 и записывают разность между номерами марок N_1 . Затем рычаг 3 перекидного клина опускают вниз (перекидной клин перемещается вверх) и вновь перемещением измерительной части компенсатора (винт 4) совмещают те же номера марок. Производят отсчет n_2 и записывают разность между номерами.

Значение β_n определяют из выражения

$$\beta_n = n_1 - n_2. \quad (\text{III.95})$$

Необходимо помнить, что отсчет, снятый при положении рычага 3 вверх, является всегда уменьшаемым, а при положении вниз — вычитаемым. Величина β_n — может быть и отрицательной. Указанные действия составляют один прием.

Перед последующим приемом вращением винта 2 (см. рис. 85) установочной части компенсатора производится небольшое смещение изображений марок.

5. Поверки и исследования дальномера ОТД и рейки.

а) *Ребро биризмь должно быть горизонтальным.* Следует навести трубу дальномера на какую-либо хорошо видимую точку. При вращении дальномера по азимуту изображение точки должно перемещаться параллельно ребру биризмь. Исправление производится в мастерской.

б) *Ось цилиндрического уровня должна быть перпендикулярна к вертикальной оси вращения дальномера.* Поперка и исправление проводятся, как и для теодолитов.

в) *Место нуля вертикального круга должно быть известно.* Дальномер устанавливается по уровню. Рядом с дальномером устанавливается на штативе теодолит. Оси вращения труб теодолита и дальномера должны быть на одном уровне (с точностью 3 см). С помощью теодолита, наведя на какую-либо хорошо видимую точку местности, удаленную не менее чем на 400 м, определяют угол наклона линии. На эту же точку наводят зрительную трубу дальномера (ребро биризмь должно быть совмещено с одним из изображений точки) при «круге лево» и берут отсчет по вертикальному кругу. Место нуля определяется выражением

$$MO = KJ - v. \quad (III.96)$$

г) *Визирная ось оптического отвеса должна совпадать с вертикальной осью вращения дальномера.* Вертикальная ось дальномера, установленного на штативе, приводится в отвесное положение с помощью уровня. На столбке штатива карандашом обводится контур трегера. На земле отмечают точку, соответствующую пересечению сетки нитей отвеса. Далее поворачивают трегер на 120° , совмещая его контур с контуром, намеченным карандашом. Установив пузырек уровня в нуль-пункт, проверяют совпадение перекрестия сетки нитей с ранее отмеченной точкой. Если перекрестие нитей сетки не совпадает с отмеченной точкой, на земле отмечают вторую точку, изображение которой совпало с пересечением сетки.

После этого трегер переставляют еще раз на 120° и повторяют проверку. В полученном на земле треугольнике погрешностей отмечают центр тяжести и юстировочными винтами сетки совмещают пересечение ее с изображением этого центра.

д) *Расстояния между марками дальномерной рейки должны быть равны между собой.* Компарирование выполняется контрольной линейкой. Расстояния между марками каждой стороны рейки должны быть в пределах 0,05 м. Расстояние между марками на второй стороне рейки должно отличаться от расстояния на первой стороне на 1%.

е) *Проверка установки уровней рейки. Ось уровня для горизонтальной установки рейки должна быть перпендикулярна к трубе каркаса рейки, а для вертикальной установки — параллельна.* Рейка устанавливается горизонтально (или вертикально) на расстоянии 30—50 м от дальномера. Проверяют ее положение

спомощью зрительной трубы дальномера, визируя вдоль трубы каркаса рейки. Положение рейки, если необходимо, исправляется подъемными винтами ее подставки, после чего юстировочными винтами пузырька уровня приводится на середину.

ж) Коллимационная плоскость визира должна быть перпендикулярна к плоскости марок рейки. Проверка выполняется аналогично поверкам реек Редта и базисных жезлов.

Определение постоянного угла β_k и коэффициента дальномера K . Эти определения проводятся на базисе, длины отрезков которого известны с точностью не ниже 1 : 20 000. Базис длиной примерно в 360 м делят на 10—12 интервалов. На концах базиса устанавливают дальномер и измеряют параллактические углы для частей базиса. По каждой стороне рейки измеряют два параллактических угла $(\beta_n)_1, (\beta_n)_2$ первый соответствует максимальному N_1 , а второй минимальному N_2 числу базиса для данного расстояния. Измерение углов проводится 6—10 приемами. Расхождения между приемами не должны превышать полутора делений шкалы микроскопа (0,15). На каждом интервале базиса после измерения параллактических углов измеряют температуру и угол наклона, равный

$$v = \text{КЛ} - \text{МО}.$$

По результатам измерений вычисляют постоянный угол β_k

$$\beta_k = \frac{(\beta_n)_1 N_2 - (\beta_n)_2 N_1}{N_1 - N_2}. \quad (\text{III.97})$$

За окончательное значение постоянного угла β_k принимают среднее значение из всех определений. Относительная погрешность M_{β_k}/β_k не должна превышать 1 : 12 000.

Среднюю квадратическую погрешность определения β_k вычисляют по формуле

$$M_{\beta_k} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}}, \quad (\text{III.98})$$

где v — отклонения значений β_k от среднего значения, n — число значений β_k .

Значения β_k вычисляют до сотых долей.

Пр и м е р.

Первая сторона $(\beta_n)_1 = 54,06$; $N_1 = 4$; $(\beta_n)_2 = -95,13$; $N_2 = 1$, тогда

$$\beta_k = \frac{54,06 \cdot 1 + 95,13 \cdot 4}{4 - 1} = 144,86;$$

вторая сторона $(\beta_n)_1 = 52,05$; $N_1 = 4$; $(\beta_n)_2 = -95,64$; $N_2 = 1$, тогда

$$\beta_k = \frac{52,05 \cdot 1 + 95,64 \cdot 4}{4 - 1} = 144,87.$$

Коэффициент дальномера вычисляют по формуле

$$K = (s_0 - c + \delta s_v) \frac{\beta}{N}, \quad (\text{III.99})$$

где $\beta = \beta_k + \beta_n$ — параллактический угол,
 s_0 — приведенная к горизонту длина интервала базиса,
 c — постоянное слагаемое дальномера (0,12),
 δs_v — поправка за наклон линии визирования,
 N — число баз рейки, использовавшихся при измерении.

Так как стороны рейки имеют различные по величине базы, то величины параллактических углов β следует привести к одному масштабу. Обычно их приводят к стороне рейки с интервалами 0,404 м. Для этого к измеренной величине угла β_n по другой стороне рейки алгебраически прибавляют величину угла каппа β_k , а затем прибавляют еще 0,01 этой суммы, т. е. $\beta_{\text{прив}} = \beta + 0,01 \beta_k$.

Так, например, по первой стороне

$$\beta = (\beta_n)_1 + \beta_k = 54,06 + 144,86 = 198,92,$$

а приведенный угол по второй стороне

$$\begin{aligned} \beta &= \{(\beta_n)_2 + \beta_k\} + 0,01 \{(\beta_n)_2 + \beta_k\} = \\ &= \{(52,05 + 144,86) + 0,01 (52,05 + 144,86)\} = \\ &= 196,91 + 1,97 = 198,88. \end{aligned}$$

Максимальные расхождения между средними значениями параллактических углов β по двум сторонам рейки линии не должны превышать 0,15 деления.

Поправку δs_v следует вводить при углах наклона более 20'. За окончательное значение коэффициента принимается среднее значение из всех определений. Погрешность определения K вычисляют по формуле, аналогичной (III.98).

Относительная погрешность определения коэффициента дальномера не должна превышать 1 : 18 000. Среднее значение температуры, полученное при определении постоянного угла и коэффициента дальномера, принимается за t_0 . Определение величины β_k и K производится наблюдателем, а не другим лицом.

3. Измерение линий. Линии следует измерять при помощи горизонтальной рейки и только в исключительных случаях можно применять вертикальную. Как показывают исследования, точность измерений с вертикальной рейкой значительно ниже. Измерения следует производить в наиболее благоприятных условиях (при хорошей освещенности, при отсутствии дымки). Во избежание значительного влияния боковой рефракции не следует устанавливать рейку близко у освещенных солнцем стен зданий, на косогорах и др.

При колебании изображений следует сокращать измеряемые отрезки и увеличивать число приемов. Рейку необходимо оберегать от механических повреждений.

Дальномер и рейку тщательно центрируют и устанавливают по уровню и оптическому визиру. При наведении дальномера на рейку, фокусируя, добиваются резкого изображения марок. Разделительное ребро призмы должно делить марки пополам. Далее, как было описано выше, измеряют по двум сторонам рейки угол β , 4—6 приемами. Расхождение значений β , между приемами не должно превышать 0,15 делений. Расхождение средних значений β по двум сторонам рейки так же не должно превышать величины 0,15. (Параллактический угол β измеренный по другой стороне рейки должен быть предварительно приведен к масштабу первой стороны). Если температура при измерении отличается более чем на 5° от той, при которой определялся коэффициент дальномера K , необходимо при вычислении линии ввести поправку. Поправка за температуру выбирается из таблицы (табл. 61). При измерении угла наклона по горизонтальной рейке ребро бипризмы наводится на середину рейки, а по вертикальной — на совмещенную пару марок. Чем больше наклон линии, тем точнее следует измерять угол наклона, следя при этом за положением пузырька уровня. В случае необходимости следует подправлять установку пузырька уровня в ноль-пункт подъемными винтами дальномера.

Т а б л и ц а 61

Таблица поправок δs_l (в сантиметрах)

s, м	$t - t_0$, градус							
	5	10	15	20	25	30	35	40
40	0,4	0,8	1,2	1,6	2,1	2,5	3,0	3,4
60	0,7	1,4	2,0	2,7	3,4	4,0	4,8	5,5
80	0,8	1,7	2,5	3,5	4,2	5,0	6,0	7,0
100	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
120	1,0	2,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0
140	1,0	3,0	4,0	6,0	7,0	9,0	10,0	12,0
160	2,0	3,0	5,0	7,0	8,0	10,0	12,0	14,0
180	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0
200	2,0	4,0	6,0	8,0	11,0	12,0	14,0	16,0
250	3,0	6,0	8,0	11,0	14,0	17,0	20,0	22,0
300	4,0	7,0	10,0	14,0	18,0	21,0	25,0	28,0
350	4,0	8,0	12,0	16,0	20,0	25,0	29,0	33,0
400	5,0	10,0	14,0	19,0	24,0	29,0	34,0	38,0

Горизонтальное продолжение измеряемой линии вычисляется по формуле (III.90).

Образец записи полевых наблюдений и вычислений на станции приведен в табл. 62.

Журнал наблюдений на станции

 $\beta = 144,40$ $K = 8288,38$ $MO = 0^{\circ} 00'$ Наблюдатель *А. П. Миронов*Вычислитель *Н. К. Зотов*

Погода: пасмурно, ветер слабый

Видимость: хорошая

Изображение: спокойное

Освещенность рейки: в тени

Название линий № стороны рейки, номера марок	Отсчеты по даль- номерной шкале		$\beta_{II} = n_1 - n_2$	Среднее β_{II} β_K β	КЛ i
	n_1	n_2			
№ 41 — № 42	62,32	31,80	30,52	30,50	354° 10'
1	64,54	34,04	30,50	+ 144,40	24°
6—1	66,05	35,54	30,51	174,90	$v = -5^{\circ} 50'$
5	63,72	33,19	30,53		
№ 41 — № 42	66,64	37,90	28,74	28,79	
2	67,90	39,05	28,85	+ 144,40	
6—1	66,12	37,32	28,80	173,19	
5	67,60	38,83	28,77	+ 1,73	
				174,92	
№ 42 — № 43	44,38	48,78	-4,40	-4,39	359° 15'
1	46,30	50,64	-4,34	+ 144,40	+23,5°
6—2	48,68	53,10	-4,42	140,01	$v = -0^{\circ} 45'$
4	50,10	54,49	-4,39		
№ 42 — № 43	48,10	54,00	-5,90	-5,88	
2	49,57	55,46	-5,89	+ 144,40	
6—2	47,76	53,60	-5,84	138,52	
4	46,14	52,04	-5,90	+ 1,39	
				139,91	

Пример. Вычислим длину линии, при

$$N = 5, K = 8268,38, t_0 = 20^\circ,$$

$$\beta = 174,91, c = 0,12, t_{изм} = 24^\circ,$$

$$\nu = 50^\circ 50',$$

$$\frac{NK}{\beta} = \frac{5 \cdot 8268,38}{174,91} = 236,36 \text{ м};$$

$$\delta s_\nu = 2 \left(\frac{NK}{\beta} + c \right) \sin^2 \frac{\nu}{2} = 2 \cdot 236,48 \cdot 0,051^2 = -1,22 \text{ м};$$

$$\delta s_t = +0,03 \text{ м};$$

$$s = 336,36 + 0,12 - 1,22 + 0,03 = 235,29 \text{ м}.$$

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Все члены бригады участвуют в процессе проверок рейки и дальномера. Каждый студент самостоятельно определяет значения β_k и K и вычисляет значение одной из измеренной линии.

После завершения работы представляются:

- а) материалы проверок и исследований,
- б) журнал измерения линий,
- в) материалы вычисления линий.

ЗАДАНИЕ III.7

ПРОЛОЖЕНИЕ ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДОВ

I. Задача: проложить ходы полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов для обоснования съемки участка местности в масштабе 1 : 5000.

II. Литература. Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962, § 56—57.

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500, М., «Недра», 1973, раздел 4.

III. Приборы и принадлежности: теодолит Т2 или 2Т2 со штативом, 2 визирные марки, 2 оптических центрира, 2 штатива с подставками, комплекты инструментов для измерения линий (в зависимости от метода измерения), зонт топографический, топор, колья для обозначения вершин ходов длиной в 15—20 см и толщиной в 3—4 см, журналы для проверок и исследований приборов, измерения углов и линий, логарифмическая линейка, топографическая карта.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) составление проекта проложения ходов;
- 2) расчеты, необходимые при проектировании полигонометрических ходов;
- 3) рекогносцировка на местности;

- 4) закрепление вершин ходов постоянными знаками;
- 5) измерение углов;
- 6) измерение линий.

1. Составление проекта проложения ходов. Для полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов проект составляется на картах масштаба 1 : 10 000 — 1 : 25 000 с учетом требований Инструкции [14], приведенной в табл. 63 и 64.

Таблица 63

Основные характеристики полигонометрии 4 класса

Наименование элемента полигонометрии	Значения	Наименование элемента полигонометрии	Значения
Число сторон в одиночном ходе не более	15	Средняя квадратическая погрешность измерения угла (по пелтикам в ходах и полигонах) не более	$\pm 2,0$
Предельная длина полигонометрического хода, км:	10	Длина стороны хода, км	2,0
отдельного	7	наибольшая	0,25
между исходной и узловой точкой	5	наименьшая	0,50
между узловыми точками	30	относительная пелтика полигонометрического хода не более	1 : 25 000
Предельный периметр полигона, км			

Примечание. Если расстояние между смежными ходами полигонометрии 4 класса менее 3 км, то производится их взаимная связь.

При использовании для линейных измерений светодальномеров длины сторон и ходов могут быть увеличены, что должно быть оговорено в техническом проекте.

Таблица 64

Основные характеристики полигонометрии 1 и 2 разрядов

Наименование элемента полигонометрии	Значения	
	1 разряд	2 разряд
Длина хода, км	5	3
Длина хода между исходной и узловой точками (или только между узловыми точками), км	3 (2)	2 (1,5)
Периметр полигона не более, км	15	10
Длина стороны хода, км:		
наибольшая	0,80	0,35
наименьшая	0,12	0,08
оптимальная	0,30	0,20
Число сторон в ходе не более	15	15
Относительная погрешность хода не более	1 : 10 000	1 : 5000
Средняя квадратическая погрешность измерения угла не более	$\pm 5''$	$\pm 10''$

Непосредственно проектированию предшествует сбор и анализ материалов всех ранее выполненных геодезических работ; изучение района работ ведется по имеющимся картам наиболее крупного масштаба; обследование района работ включает и поиск геодезических знаков ранее выполненного геодезического обоснования.

Полигонометрические ходы проектируют в виде отдельных разомкнутых ходов, опирающихся на два исходных пункта. Проектирование замкнутых ходов, опирающихся на один исходный пункт, и висячих ходов не допускается.

Для обеспечения геодезическими пунктами значительных площадей проектируют полигонометрические сети, состоящие из систем ходов с несколькими узловыми точками и образующие замкнутые и разомкнутые полигоны.

При проектировании следует учитывать, что ходы 4 класса должны опираться на пункты триангуляции и полигонометрии высших классов; ходы 1 разряда должны прокладываться между пунктами 4 класса; ходы 2 разряда — между пунктами 1 разряда. Ходы целесообразно намечать в тех местах, где они с максимальной эффективностью могут быть использованы.

Полигонометрические ходы должны прокладываться по местности, наиболее благоприятной для производства и угловых, и линейных измерений, т. е. вдоль дорог или около них, по долинам рек, по лесным просекам. Места, намечаемые для установки полигонометрических знаков, должны обеспечивать их долговременную сохранность. Не следует устанавливать знаки на свеженасыпанном грунте, пашне, осыпях, на проезжих частях дорог, улиц и др.

При проектировании полигонометрических ходов следует стремиться к тому, чтобы они были возможно более вытянутыми и не имели крутых изломов. Одновременно с проектированием ходов намечают и боковые пункты, которыми могут служить местные предметы: различные вышки, башни, шпили зданий и т. д.

При числе сторон в ходе более 15 проектируется дополнительная передача дирекционных углов с пунктов опорных геодезических сетей на промежуточные стороны хода или определение азимутов этих сторон астрономическим способом.

Запроектированные ходы наносятся на карту карандашом, а затем переносятся на схему, составляемую на восковке, тушью.

С карты выписывают для каждого хода: длину хода $[s]$, замыкающую хода L , число сторон n , число углов $n + 1$ и длины сторон хода:

$s_{\max}$ — максимальную,

$s_{\min}$ — минимальную,

$s_{\text{ср}}$ — среднюю.

В условиях практики проектирование ходов 4 класса, 1 и 2 разрядов производится в соответствии с изложенными требованиями и в объеме, предусмотренном учебной программой.

2. Расчеты, необходимые при проектировании полигонометрических ходов. а) У с т а н о в л е н и е ф о р м ы х о д а. Используя критерии вытянутости, определяют форму хода. Ход будет вытянутым, если выполняются соотношения:

$$\frac{[s]}{L} \leq 1,3; \quad (\text{III.100})$$

$$\text{пред } \alpha'_0 = \pm 24^\circ; \quad (\text{III.101})$$

$$\text{пред } \eta'_0 = \pm \frac{1}{8} L. \quad (\text{III.102})$$

Здесь α_0 — уклонение направления сторон хода от направления замыкающей θ ; η_0 — расстояние от вершины хода до замыкающей.

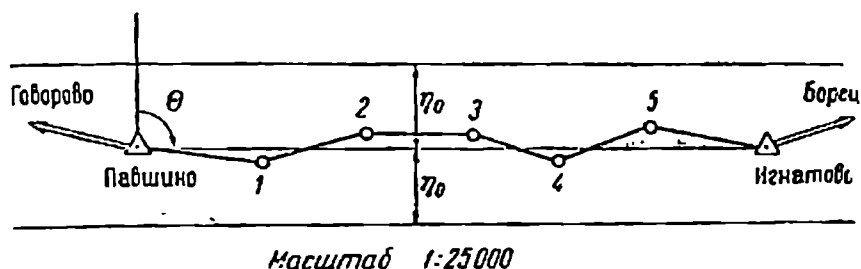


Рис. 87. Установление формы полигонометрического хода

Причем предельного значения, указанного в (III.101) — (III.102), может достигнуть лишь одно из расстояний η'_0 , как равно и один из углов α'_0 .

Для проверки выполнения соотношений (III.101)—(III.102) в запроектированном ходе проводят замыкающую хода, откладывая в обе стороны от нее (в масштабе карты) расстояния $\frac{L}{8}$ и проводят линии, параллельные замыкающей (рис. 87). Если ни одна из вершин не выходит за пределы полученной полосы, следовательно, условие (III.102) выполнено. Величину α'_0 также измеряют на схеме и сравнивают с предельным значением, указанным в (III.101). Ход, изображенный на рис. 87, является вытянутым, так как $[s]/L = 1,02$ и величины α'_0 и η'_0 , как следует из чертежа, меньше предельных значений.

б) Определение предельной погрешности планового положения точки в слабом месте хода после его уравнивания. Средняя квадратическая погрешность положения пункта в слабом месте хода m (после уравнивания — это середина хода) примерно в 2 раза меньше средней квадратической погрешности конечной точки хода до его уравнивания M

$$m = \frac{M}{2}. \quad (\text{III.103})$$

Тогда предельная погрешность средней вершины хода $\Delta_{\text{пред}}$ будет равна $2m$ (согласно служебным допускам) или с учетом (III.103) M , т. е.

$$\Delta_{\text{пред}} = 2m = M. \quad (\text{III.104})$$

Следовательно, для определения $\Delta_{\text{пред}}$ необходимо получить M . Средняя квадратическая погрешность положения конечной точки хода M определяется из выражения

$$\text{пред}f_s = 2M, \quad (\text{III.105})$$

для которого f_s — предельная линейная невязка хода — находится из соотношения

$$\frac{\text{пред}f_s}{[s]} = \frac{1}{T}, \quad (\text{III.106})$$

где $1/T$ — предельная относительная невязка полигонометрического хода, установленная Инструкцией [14] для соответствующего класса или разряда.

Пример 1. Определить среднюю квадратическую и предельную погрешность положения пункта в слабом месте запроек-тированного изогнутого полигонометрического хода 4 класса длиной $[s] = 6925$ м.

Решение. Из формул (III.106) и (III.105) находим

$$\text{пред}f_s = \frac{[s]}{T} = \frac{6925}{25\,000} = 0,276 \text{ м};$$

$$M = \frac{\text{пред}f_s}{2} = \frac{0,276}{2} = 0,138 \text{ м}.$$

Используя формулы (III.103) и (III.104), находим $m = 0,069$ м; $\Delta_{\text{пред}} = 0,138$ м.

в) **Расчет влияния погрешностей при линейных измерениях.** Вычисления производятся по формуле средней квадратической погрешности положения конечной точки полигонометрического хода M . Ее величина при вычислении хода по исправленным за угловую невязку углам может быть подсчитана при измерении сторон светодальномерами и короткобазисным параллактическим методом по формуле

$$M^2 = [m_s^2] + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [D_{\text{ц. т.}}^2], \quad (\text{III.107})$$

при измерении сторон проволоками —

$$M^2 = \mu^2 [s] + \lambda^2 L^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [D_{\text{ц. т.}}^2], \quad (\text{III.108})$$

при измерении сторон оптическими дальномерами

$$M^2 = \left(\frac{m_s}{s}\right)^2 ns_{\text{ср}}^2 + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [D_{\text{ц. т.}}^2], \quad (\text{III.109})$$

где m_s, m_β — соответственно средние квадратические погрешности измерения стороны и угла;
 μ — коэффициент случайного влияния при линейных измерениях;
 λ — коэффициент систематического влияния при линейных измерениях;
 $D_{ц, i}$ — расстояние от точки с номером i до центра тяжести хода, который определяется как

$$\left. \begin{aligned} x_{ц} &= \frac{\sum x}{n+1}; \\ y_{ц} &= \frac{\sum y}{n+1}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.110})$$

Для ходов вытянутой формы с примерно равными сторонами формулы (III.107)–(III.109) следует заменить соответственно формулами

$$M^2 = [m_s^2] + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}; \quad (\text{III.111})$$

$$M^2 = \mu^2 [s] + \lambda^2 L^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}; \quad (\text{III.112})$$

$$M^2 = \left(\frac{m_s}{s}\right)^2 n s_{ср}^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12}. \quad (\text{III.113})$$

Применив принцип равных влияний, т. е. равенство влияний погрешностей угловых и линейных измерений на конечный результат, можно записать для хода любой формы

$$[m_s^2] = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{ц, i}^2] = \frac{M^2}{2}; \quad (\text{III.114})$$

$$\mu^2 [s] + \lambda^2 L^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{ц, i}^2] = \frac{M^2}{2}; \quad (\text{III.115})$$

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 n s_{ср}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [D_{ц, i}^2] = \frac{M^2}{2}. \quad (\text{III.116})$$

Для вытянутого хода эти соотношения соответственно примут вид

$$[m_s^2] = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12} = \frac{M^2}{2}; \quad (\text{III.117})$$

$$\mu^2 [s] + \lambda^2 L^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12} = \frac{M^2}{2}; \quad (\text{III.118})$$

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 n s_{ср}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12} = \frac{M^2}{2}. \quad (\text{III.119})$$

Следовательно,

$$[m_s^2] = \frac{M^2}{2} \quad (\text{III.120})$$

или

$$\mu^2 [s] + \lambda^2 L^2 = \frac{M^2}{2}, \quad (\text{III.121})$$

или

$$\left(\frac{m_s}{s}\right)^2 n s_{\text{ср}}^2 = \frac{M^2}{2}. \quad (\text{III.122})$$

Величины μ и λ находят из уравнения (III.121), учитывая примерную зависимость между ними $\lambda = 0,03 \mu$, установленную на основе анализа производственного материала.

По полученным величинам $[m_s^2]$, μ , λ и m_s/s определяют, какими приборами надо пользоваться при линейных измерениях.

При измерении сторон малым светодальномером могут быть применены приборы типа СТ, ТД-2 и СМ-3 (КДГ-3), ЕОК-2000, тогда в запроектированном ходе должно соблюдаться одно из соотношений:

для СТ-65

$$[(15 + 3s, \text{ км})^2 \text{ мм}^2]_1^n \leq \frac{M^2}{2}, \quad (\text{III.123})$$

для ТД-2

$$[(10 + 2s, \text{ км})^2 \text{ мм}^2]_1^n \leq \frac{M^2}{2}, \quad (\text{III.124})$$

для СМ-3

$$[(30 + 2s, \text{ км})^2 \text{ мм}^2]_1^n \leq \frac{M^2}{2}. \quad (\text{III.125})$$

Для светодальномера ЕОК-2000 средняя квадратическая погрешность измерения расстояния равна 10 мм. Следовательно, в запроектированном ходе должно быть $10 \text{ мм} \cdot n \leq \frac{M^2}{2}$.

При проектировании ходов с примерно равными сторонами, различающимися по длине в пределах, указанных в табл. 65, среднюю квадратическую погрешность измерения линий светодальномерами типа СТ, согласно исследованиям, можно принять практически постоянной, подсчитав ее для средней длины линии. Данные таблицы вполне можно распространить и на светодальномеры СМ-3 и ТД-2.

Тогда соотношениям (III.123)–(III.125) можно придать вид:

для СТ-65

$$n (15 + 3s_{\text{ср}}, \text{ км})^2 \text{ мм}^2 \leq \frac{M^2}{2}; \quad (\text{III.126})$$

для ТД-2

$$n (10 + 2s_{\text{ср}}, \text{ км})^2 \text{ мм}^2 \leq \frac{M^2}{2}; \quad (\text{III.127})$$

для СМ-3

$$n (30 + 2s_{\text{ср}}, \text{ км})^2 \text{ мм}^2 \leq \frac{M^2}{2}, \quad (\text{III.128})$$

где $s_{\text{ср}}$ — средняя длина линии хода.

Т а б л и ц а 65

Пределы измеряемых светодальномеров типа СТ линий,
для которых средняя квадратическая погрешность
практически постоянна

№ п/п	Средняя длина сторон, м	Пределы длин сторон, м	№ п/п	Средняя длина сторон, м	Пределы длин сторон, м
1	200	0—475	6	800	500—1100
2	400	120—680	7	1000	700—1300
3	500	200—800	8	1500	1150—1850
4	600	300—900	9	2000	1630—2370
5	700	400—1000			

Пример 2. В запроектированном изогнутом полигонометрическом ходе 4 класса (пример 1) для измерения линий предполагается использовать светодальномер СТ-65. Рассчитать влияние погрешностей при линейных измерениях, если стороны хода имеют длину, приведенную в графе 2 табл. 66, а величина M , полученная для этого хода в примере 1, равна 0,138 м.

Т а б л и ц а 66

Расчет влияний погрешностей при линейных измерениях в
запроектированном полигонометрическом ходе
при измерении линий светодальномером СТ-65

№ линии	Длины линий, м	$(15+3s, \text{ км}) \text{ мм}$	$(15+3s, \text{ км})^2 \text{ мм}^2$
1	2	3	4
1	645	16,9	285,6
2	810	17,4	302,8
3	560	16,7	278,9
4	845	17,5	306,2
5	565	16,7	278,9
6	765	17,3	299,3
7	725	17,2	295,8
8	655	17,0	289,0
9	560	16,7	278,9
10	795	17,5	306,2
	6925		2921,6

Расчет выполнила Н. А. Пархомова

Р е ш е н и е. Левую часть для выражения (III.120) выбирают из табл. 66; правую часть — вычисляют.

Найдем

$$\frac{M^2}{2} = \frac{138^2 \text{ мм}^2}{2} = 9517 \text{ мм}^2.$$

Подставляя вычисленные значения в выражение (III.123), находят $2922 \text{ мм}^2 < 9517 \text{ мм}^2$.

Практически тот же результат получают по формуле (III.126). При примерно равных сторонах в ходе (см. табл. 65) левая часть выражения (III.126) будет равна $10 (15 + 3 \cdot 0,69 \text{ км})^2 \text{ мм}^2 = 2924 \text{ мм}^2$. Тогда $2924 \text{ мм}^2 < 9517 \text{ мм}^2$.

Следовательно, светодальномер СТ-65 вполне может быть использован для измерения линий в запроектированном ходе.

При измерении сторон короткобазным параллактическим методом могут быть применены параллактические звенья типов: I, II, III, IV, V, VI (см. задание III.4). В этом случае в запроектированном ходе должно соблюдаться условие

$$[m_s^2]^n \leq \frac{M^2}{2}. \quad (\text{III.129})$$

Величины средних квадратических погрешностей измерения сторон для левой части (III.129) подсчитывают по одной из формул (III.64), (III.66), (III.71), (III.75), (III.78), (III.84) соответственно выбранному типу звена. При этом принимают $m_\alpha = m_\varphi = 1''$ и $m_l/l = \frac{1}{100\,000}$ для трехметрового жезла и $\frac{1}{70\,000}$ для двухметрового жезла. Наиболее выгодную длину вспомогательного базиса b в сложных звеньях различных типов определяют по формулам (III.68), (III.72). Длины сторон s_i берут с карты.

Пример 3. В запроектированном вытянутом полигонометрическом ходе 1 разряда для измерения линий будет использовано параллактическое звено типа IV (см. рис. 70). Рассчитать: 1) предельную погрешность в слабом месте хода после его уравнивания, если длина хода равна 3000 м; 2) влияние погрешностей при линейных измерениях, если стороны хода имеют длину, приведенную в графе 2 табл. 67. При расчетах положить $l = 2 \text{ м}$, $m_l/l = \frac{1}{70\,000}$ и $m_\alpha = m_\varphi = 1''$.

Решение. 1) Из формул (III.105) и (III.106) находят величину M

$$M = \frac{[s]}{2T} = \frac{3000}{20\,000} = 0,150 \text{ м},$$

откуда

$$\frac{M^2}{2} = \frac{22500}{2} = 11250 \text{ мм}^2;$$

2) величины m_s^2 вычисляют по формуле (III.75) и записывают в графу 4 табл. 67, длины вспомогательных базисов при этом находят по формуле (III.72) и вписывают в графу 3 этой же таблицы.

Подставляя вычисленные значения в левую и правую части выражения (III.120), получают $7560 \text{ мм}^2 < 11\,250 \text{ мм}^2$.

Следовательно, параллактическое звено типа IV вполне может быть применено для измерения линий в запроектированном ходе.

Расчет влияний погрешностей при линейных измерениях в
запроектированном полигонометрическом ходе при
измерении линий проложением короткобазисных
параллактических звеньев

№ п/п	Длины линий, м	Длины вспомога- тельных базисов, м	$m_s^2, \text{м}^2$
1	2	3	4
1	250	37	330,2
2	350	44	917,4
3	400	44	1272,5
4	350	44	917,4
5	250	37	330,2
6	400	44	1272,5
7	350	44	917,4
8	400	44	1272,5
9	250	37	330,2
	3000		7560,3

Расчет выполнила Н. А. Парасюкова

При измерении сторон оптическими дальномерами двойного изображения могут быть использованы редуцированный тахеометр Редта-002 и дальномер ОТД. Тогда в запроектированном ходе должно соблюдаться условие

$$\left(\frac{m}{s} s_{\text{ср}}\right)_n^2 \leq \frac{M^2}{2}. \quad (\text{III.130})$$

Пример 4. В запроектированном изогнутом полигонометрическом ходе 2 разряда линиям будут измеряться дальномером Редта. Рассчитать: 1) предельную погрешность в слабом месте хода после его уравнивания, если длина хода равна 2365 м; 2) влияние погрешностей при линейных измерениях, если средняя длина стороны хода равна 215 м, а число сторон 11. При расчетах положить $m_s/s = \frac{1}{5000}$.

Решение. 1) Из формул (III.105) и (III.106) находят

$$M = \frac{[s]}{2T} = \frac{2365}{10\,000} = 0,236 \text{ м.}$$

2) подставляя значения в левую и правую части выражения (III.130), получают

$$11 \left(\frac{215\,000}{5000}\right)^2 \text{ мм}^2 \leq \frac{55\,696}{2} \text{ мм}^2,$$

т. е.

$$20\,339 \text{ мм}^2 < 27\,848 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, дальномер Редта можно использовать для измерения линий в запроектированном ходе.

При выборе для измерения линий плавильных или стальных проволок следует руководствоваться примерными значениями μ , полученными по результатам исследований:

для плавильной проволоки $\mu_{\text{пл}} = 0,0003$,

для стальной проволоки $\mu_{\text{ст}} = 0,0008$.

Пример 5. В запроектированном прогнутом полигонометрическом ходе 4 класса линии будут измеряться проволоками. Рассчитать коэффициенты случайного и систематического влияния при линейных измерениях, если $[s] = 5495$ м, $L = 4950$ м и $M = 0,109$ м.

Решение. Полагая $\lambda = 0,03$ м, из выражения (III.121) находят

$$\mu^2 = \frac{M^2}{2 \{(0,03)^2 L^2 + [s]\}} = \frac{0,0121}{2 (2205 + 5495)} = 78 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2,$$

откуда $\mu = 0,0009$ м; $\lambda = 0,03 \cdot 0,0009 = 0,000027$ м. Вычисленная величина μ оказалась больше и $\mu_{\text{пл}}$ и $\mu_{\text{ст}}$, следовательно, для измерения линий в запроектированном ходе могут быть использованы как плавильная, так и стальная проволока.

Рассмотрим расчет предельной величины влияния каждого отдельного источника погрешностей при измерении линии проволоками.

Предельная относительная погрешность при измерении одного пролета, вызванная действием любого отдельного источника погрешностей, определяется выражением:

при систематическом характере влияний

$$\frac{\text{пред} \Delta l}{\Delta l} = \frac{1}{5,3T} \quad (\text{III.131})$$

и при случайном характере влияний

$$\frac{\text{пред} \Delta l}{l} = \frac{1}{5,3T} \sqrt{n}, \quad (\text{III.132})$$

где $\text{пред} \Delta l$ — предельная величина погрешностей при измерении одного пролета, вызванная влиянием отдельного источника;

n — число уложений мерного прибора в средней стороне;

l — длина мерного прибора.

Исходя из самых неблагоприятных условий, а именно из предположения, что все источники погрешностей имеют систематический характер, рассчитывают предельные погрешности:

а) компарирования мерного прибора

$$\text{пред} \Delta l_k = \frac{l}{5,3T}; \quad (\text{III.133})$$

б) уложения мерного прибора в створ измеряемой линии

$$\text{пред} \varepsilon = \frac{l}{2\sqrt{2,5T}}; \quad (\text{III.134})$$

в) определения температуры мерного прибора

$$\text{пред} \Delta t = \frac{1}{5,3T\alpha}, \quad (\text{III.135})$$

где α — коэффициент линейного расширения сплава, из которого изготовлен мерный прибор ($\alpha_{\text{нн}} = 0,5 \cdot 10^{-6}$, $\alpha_{\text{ст}} = 12 \times 10^{-6}$);

г) определения превышений одного конца мерного прибора относительно другого

$$\text{пред} \Delta h = \frac{l^2}{h5,3T}; \quad (\text{III.136})$$

д) натяжения мерного прибора

$$\text{пред} \Delta F = \frac{\omega E}{5,3T}, \quad (\text{III.137})$$

где ω — площадь поперечного сечения мерного прибора ($d = 1,65$ мм);

E — модуль упругости. Для вивара $E_{\text{нн}} = 16\,000$ кгс/мм²; для стали $E_{\text{ст}} = 20\,000$ кгс/мм².

На основе произведенных расчетов составляют объяснительную записку по организации линейных измерений в запроектированных ходах, в которой указывают:

1) какой мерный прибор будет использован для измерений, и приводят его краткую характеристику;

2) какое оборудование и приборы будут использованы при измерении линий.

г) Расчет точности угловых измерений и величин отдельных источников погрешностей. Среднюю квадратическую погрешность измерения угла m_{β} вычисляют из соотношения, полученного на основе принципа равных влияний:

для изогнутого хода

$$\frac{M^2}{2} = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [D_{\text{ц.т}}^2]; \quad (\text{III.138})$$

для вытянутого хода

$$\frac{M^2}{2} = \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3}{12} \quad (\text{III.139})$$

Расстояния от центра тяжести хода до каждого пункта $D_{\text{ц.т}}$ получают графическим путем со схемы хода с учетом масштаба. Координаты центра тяжести хода $x_{\text{ц}}$ и $y_{\text{ц}}$ или вычисляют по формулам (III.110) и наносят на схему или получают также графическим путем. Для этого используют известное правило механики о сложении параллельных, одинаково направленных сил.

№ точек	$D_{ц,i}$	$D_{ц,i}^2$	№ точек	$D_{ц,i}$	$D_{ц,i}^2$
1	1515	2 295 225	6	535	286 225
2	1265	1 600 225	7	1075	1 155 625
3	730	532 900	8	1140	1 299 600
4	467	218 089	9	1380	1 904 400
5	340	115 600			
					9 407 880

Следовательно, для измерения углов следует использовать теодолиты Т2, 2Т2 или им равноточные.

Если величина m_β окажется меньше $m_{инстр}$, то в середине хода следует запроектировать или определение астрономического азимута, или определение дирекционного угла стороны хода путем проложения короткого угломерного хода к ближайшему твердому пункту. В этом случае расчетные формулы (III.138) и (III.139) примут следующий вид:

для изогнутого хода

$$\frac{M^2}{2} = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} ([D_{ц,i}^2]_1 + [D_{ц,i}^2]_2 + \dots + [D_{ц,i}^2]_k),$$

для вытянутого хода

$$\frac{M^2}{2} = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+3k}{k^2},$$

где k — число секций хода. Для случая одного промежуточного твердого азимута или дирекционного угла $k = 2$.

Для изогнутого хода для каждой секции находят соответствующий центр тяжести и определяют $[D_{ц,i}^2]$.

Расчет величин влияний отдельных источников погрешностей при угловых измерениях производят исходя из того, что величина характеризует совместное влияние ряда источников погрешностей на результаты измерения, а именно: редукции и центрирования, инструментальных, собственно измерения и внешних условий. Погрешности исходных данных не учитываются. Следовательно,

$$m_\beta^2 = m_\rho^2 + m_\alpha^2 + m_{инстр}^2 + m_{сп}^2 + m_{вп}^2, \quad (III.141)$$

откуда, применяя принцип равных влияний, получают

$$m_\rho = m_\alpha = m_{инстр} = m_{сп} = m_{вп} = \frac{m_\beta}{\sqrt{5}}. \quad (III.142)$$

На основе соотношения (III.142) рассчитывают точность установки визирной марки и теодолита над центрами знаков.

Средние квадратические погрешности редукции и центрирования выражаются формулами

$$\left. \begin{aligned} m_p &= \rho \frac{e_1}{s}; \\ m_u &= \rho \frac{e_2}{s} \sqrt{2}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.143})$$

где e_1 — линейный элемент редукции,
 e_2 — линейный элемент центрирования,
 s — средняя длина сторон полигонометрического хода.

Полагая $m_p = m_u = \frac{m_B}{\sqrt{5}}$, вычисляют e_1 и e_2 по формулам

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \frac{m_p}{\rho} s; \\ e_2 &= \frac{m_u}{\rho \sqrt{2}} s. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.144})$$

Пример 7. Рассчитать точность центрирования визирной марки и теодолита по данным, полученным в примере 6.

Решение. Подставляя значения в формулу (III.142), получают средние квадратические погрешности редукции и центрирования

$$m_p = m_u = \frac{3,7''}{\sqrt{5}} = 1,65''.$$

По формулам (III.144) находят e_1 и e_2

$$e_1 = \frac{1,34}{206} 690 = 4,5 \text{ мм},$$

$$e_2 = \frac{1,34}{206 \sqrt{2}} 690 = 3,1 \text{ мм}.$$

Следовательно, визирную марку и теодолит следует центрировать с помощью оптического центрира.

Число приемов при измерении угла способами круговых приемов или отдельных приемов определяют по формуле

$$m_{cu} = \sqrt{\frac{1}{n'} (m_v^2 + m_o^2)}, \quad (\text{III.145})$$

где m_{cu} , m_v , m_o — соответственно средние квадратические погрешности собственно измерения угла, визирования, отсчета,
 n' — число приемов.

Полагая $m_{cu} = \frac{m_B}{\sqrt{5}}$; $m_v = \frac{60''}{\Gamma}$, где Γ — увеличение теодолита, и $m_o = 1,5-2''$, вычисляют величину n' .

Пример 8. Рассчитать число приемов при измерении угла теодолитом Т2 по данным, полученным в примере 6.

Р е ш е н и е. При $\Gamma = 25^\circ$, $m_v = \frac{60''}{25} = 2,4''$; $m_o = 2''$; $m_{с.п} = \frac{3,7}{5} = 1,65''$.

Из выражения (III.145) найдем число приемов

$$n' = \frac{m_v^2 + m_o^2}{m_{с.п}^2} = \frac{5,8 + 4,0}{2,7} = 3,6.$$

Углы в данном случае следует измерять четырьмя приемами.

На основе проведенных расчетов составляют объяснительную записку по организации угловых измерений, в которой указывают:

1) приборы для измерения углов и центрирования;

2) метод измерения углов и число приемов.

3. Рекогносцировка на местности. Ходы полигонометрии рекогносцируются с целью уточнения проекта с учетом реальных условий, имеющих место в районе работ на данный период времени. Уточняются места постановки знаков, проверяется состояние пунктов геодезического обоснования. Вся эта работа выполняется с учетом тех требований, которые предусмотрены для данного класса работ соответствующими нормативными документами.

Абрис геодезического пункта

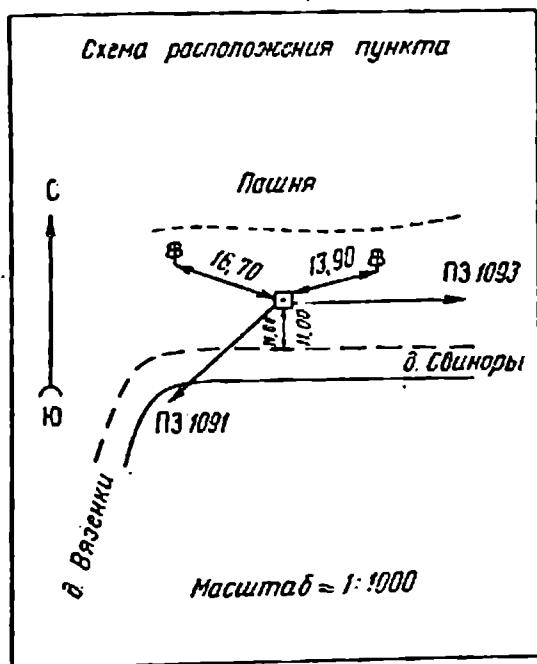
Пункт полигонометрии 4 класса № 1092

Описание местоположения пункта. Пункт расположен к северу от дороги, ведущей из д. Вязенки в д. Свиноры

Центр — стандартный тип 6 гр. реп. в соответствии с «Инструкцией по топографической съемке в масштабе 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500»

Наружный знак — опознавательный столб

Рис. 89. Абрис пункта полигонометрии



Выбранные при рекогносцировке места для постановки знаков сначала закрепляют временными знаками (кольями, металлическими штырями с окопкой); на них составляют абрис (рис. 89).

Каждый установленный знак должен быть привязан промерами к расстоянию не менее чем до трех постоянных местных предметов. При закладке в дальнейшем постоянных знаков указанные промеры уточняют.

4. Закрепление вершин ходов постоянными знаками. Закрепление производится в соответствии с [31] и разделом 9 [14], где приведены типы знаков и даны указания к их установке.

В полигонометрии 4 класса центрами закрепляются не все точки, а только их часть, в соответствии с требованиями плотности обеспечения съемки плановой основой.

Пункты ходов полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов, прокладываемых в населенных местах, закрепляются, как правило, стенными знаками.

В условиях учебной практики вершины ходов закрепляются временными знаками — деревянными кольями диаметром 3—4 см и длиной 15—20 см. Колья забиваются в грунт вровень с поверхностью земли. В торцы каждого кола забивается гвоздь. Кол окатывается капавкой шириной и глубиной порядка 10—15 см, стороны квадрата окопки — 30—40 см.

5. Измерение углов. В полигонометрическом ходе измеряют примычные углы, углы поворота и углы засечки боковых пунктов. Измерение производят приборами и методами, указанными в задании III. 1.

Измерение углов рекомендуется производить в утренние и вечерние часы. Время, близкое к восходу и заходу солнца (примерно за час до восхода и час после захода), использовать не следует, так как в эти часы наблюдаются наибольшие колебания изображений.

Перед началом измерений производят исследование, проверки и юстировку приборов по правилам, изложенным в задании III. 1.

Измеряют обычно левые по ходу углы, наблюдения записывают в полевые журналы, образцы которых приведены также в задании III. 1 (см. табл. 29, 30).

6. Измерение линий. В полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов измерение линий производят топографическими светодальномерами и методами, приведенными в задании III. 2.

Предельные расхождения в длинах сторон, определенных светодальномером на разных частотах, не должны превышать при длине сторон:

- от 80 до 500 м — 4 см;
- от 500 до 1000 м — 5 см;
- от 1 до 2 км — 6 см;
- свыше 2 км — 7 см.

В отдельных случаях измерение линий в полигонометрии производят базисными приборами БП-3 или БП-2, методы измерения которыми описаны в задании III. 3. При этом с учетом физико-географических условий определение длин некоторых линий мо-

жет производиться методом параллактической полигонометрии (см. задание III.4).

В полигонометрии 1 и 2 разрядов для измерения линий применяют короткобазисный параллактический метод. Типы употребляемых параллактических звеньев и методы их построения на местности изложены в задании III.4. Типы звеньев выбираются с учетом местных условий и разряда полигонометрии.

В полигонометрии 2 разряда, кроме указанных способов, для измерения линий используют редуционный тахеометр Редта-002 и ОТД, методы измерения расстояний которыми рассмотрены в задании III.5.

До начала измерений производят исследования и поверки приборов (см. соответствующее методу измерения задание).

Приборы (светодальномер, оптический дальномер и т. п.) и оборудование (отражатели, рейки, штативы и т. п.) при измерении устанавливают над центрами на концах линий с точностью не ниже 3 мм в полигонометрии 4 класса и 1 разряда и 4 мм в полигонометрии 2 разряда.

В процессе измерения линий результаты наблюдения записывают в полевые журналы, образцы которых приведены в соответствующих заданиях. При этом следят, чтобы выполнялись промежуточные контроли, предусмотренные как самим способом, так и программой наблюдений. Завершают измерения вычислительной обработкой полевых журналов и вычислением длин линий.

Точность измерения линий в полигонометрии 4 класса должна соответствовать значениям, указанным в табл. 63.

С о с т а в и с п о л н и т е л е й и р а с п р е д е л е н и е о б я з а н н о с т е й. В период теоретического обучения проектирование полигонометрических ходов и расчеты, связанные с проектированием, выполняет каждый студент. В период учебной практики задание по проложению ходов выполняет бригада из 5 студентов с таким распределением обязанностей:

1) рекогносцировка ходов и закрепление их вершин знаками выполняется всем составом бригады;

2) исследования и поверки приборов выполняет каждый студент;

3) угловые измерения и линейные измерения светодальномером и оптическим дальномером: последовательно каждый член бригады по плану чередования, составленному руководителем, выполняет все обязанности;

4) измерения линий базисным прибором БП-3 выполняются двумя бригадами (распределение обязанностей указано в задании III.3).

По окончании полевых работ подлежат сдаче следующие журналы:

1) исследований и поверок приборов;

2) измерения углов;

3) измерения линий;

4) и привязания штативов с делками (при измерении линий базисным прибором БП-3).

ЗАДАНИЕ III.3

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПОЛЕВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПОЛИГОНОМЕТРИИ. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ

I. Задача: по результатам угловых и линейных измерений произвести вычисления предварительных (рабочих) координат и оценить полевую точность произведенных измерений.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. И. Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962, § 122.

Селиханович В. Г., Логинова Г. П. Задачник по геодезии.

Ч. II. М., «Недра», 1970.

III. Приборы и принадлежности: настольная электронная клавишная вычислительная машина (типа «Искра» или другая) или арифмометр, счеты, логарифмическая линейка, шестизначные таблицы тригонометрических функций, журналы полевых измерений, бланки вычислений, чертежная бумага, линейка, транспортир, масштабная линейка, измеритель, ручка, карандаш, чертежные принадлежности, тушь.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) составление рабочей схемы ходов;
- 2) предварительные вычисления;
- 3) получение рабочих координат пунктов;
- 4) определение продольной t и поперечной u невязок вытянутых ходов;
- 5) оценка точности угловых измерений;
- 6) оценка точности линейных измерений.

После завершения полевых работ и получения углов и длин линий приступают к вычислительной обработке результатов полевых измерений, целью которой является оценка качества и точности произведенных измерений, получение предварительных (рабочих) координат и окончательных координат пунктов.

Окончательные координаты пунктов получают из уравнительных вычислений, которые производят строгими методами, предусмотренными теорией математической обработки геодезических измерений. При этом выполняют оценку точности полевых измерений и найденных значений координат. Методы уравнительных вычислений рассматриваются в заданиях III.10 и III.11.

Предварительные или рабочие координаты пунктов получают уравниванием нестрогими способами, которые требуют значительно меньше вычислений для получения конечных результатов.

Прежде чем приступить к уравнительным вычислениям (строгим или нестрогим способом), необходимо убедиться в отсутствии в результатах измерений грубых ошибок, а также проверить правильность предрасчета и измерения как углов, так и линий, т. е. иными словами, проверить качество полевого материала и соответствие его по точности данному классу или разряду.

Для этого производят вычисление невязок и определяют их допустимость (эти вычисления называют предварительными) и выполняют оценку точности полевых измерений.

Результаты оценки точности позволяют установить фактическую точность полевого материала, что необходимо как для правильного проведения уравнительных вычислений, так и более надежной оценки точности уравненных элементов.

Предварительную оценку точности полевых измерений производят по отклонениям отдельных приемов от среднего и по разностям двойных измерений; окончательную же оценку всегда следует производить по угловым невязкам ходов и полигонов и по продольным и поперечным невязкам вытянутых ходов, так как этот метод оценки дает наиболее надежные результаты, учитывая все основные источники погрешностей. Кроме того, он позволяет сделать некоторые выводы и о точности исходных данных.

В вытянутом полигонометрическом ходе продольная f_x и поперечная f_y невязки есть результат суммарного действия погрешностей соответственно линейных и угловых измерений на положение конечной точки хода.

При вычислении приращений координат в полигонометрическом ходе получают невязки f_x и f_y , от которых затем и переходят к нахождению невязок t и u .

1. Составление рабочей схемы ходов. Перед проведением вычислений составляют схематический чертеж ходов, который в дальнейшем будет служить основным документом для всех последующих работ по обработке результатов измерений.

Для построения схемы на листе чертежной бумаги строят координатную сетку и в масштабе 1 : 25 000 или крупнее наносят по координатам исходные пункты, затем с помощью транспортира и масштабной линейки по измеренным углам и сторонам строят между ними полигонометрические ходы (рис. 90). На полученный чертеж выписывают: номера и названия пунктов, значения углов поворота и длины линий, значения опорных дирекционных углов (конечных и промежуточных).

После получения рабочих координат пунктов (если таковые вычислялись) положение их на схеме хода корректируют. Одновременно наносят на чертеж по вычисленным координатам боковые пункты.

Схема вычерчивается тушью в условных знаках и подписывается лицом, ее составившим.

2. Предварительные вычисления. Рассмотрим последовательность предварительных вычислений в полигонометрии.

а) В ы ч и с л е н и е у г л о в о й н е в ы з к и п о
Ф о р м у л а м :

для разомкнутого хода или полигона

$$f_{\beta} = \sum \beta - [(\alpha_n - \alpha_n) + 180^\circ (n + 1)], \quad (\text{III.146})$$

где α_n , α_n — начальный и конечный опорные дирекционные углы;

для замкнутого полигона

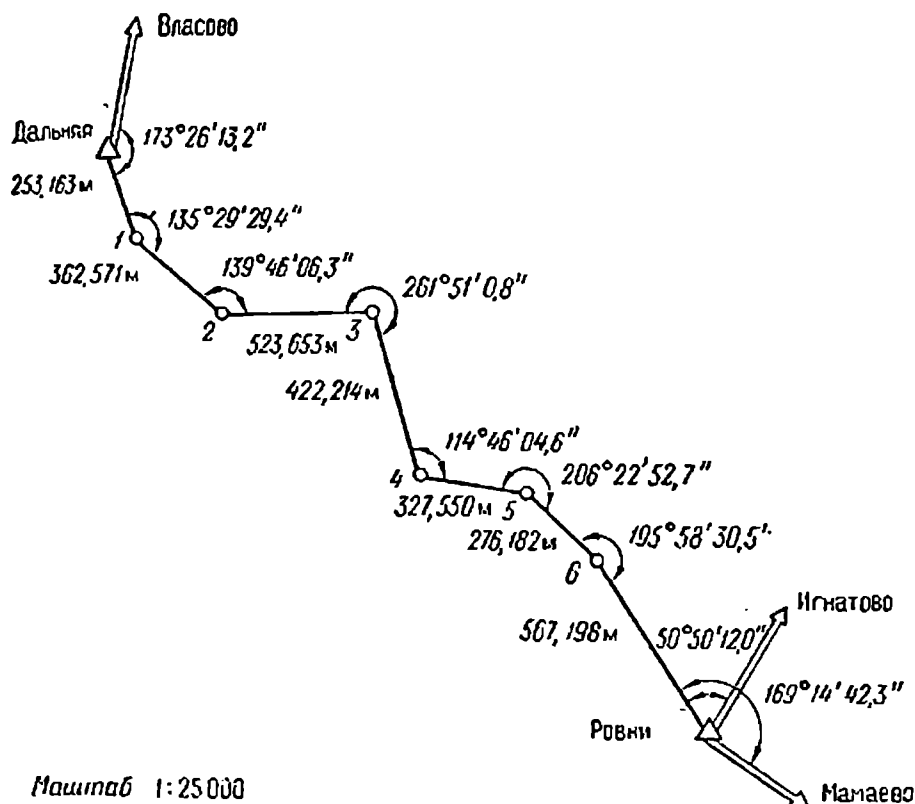
$$f_{\beta} = \sum \beta - 180^\circ (n - 2). \quad (\text{III.147})$$

Полученную величину сравнивают с предельным значением, определяемым по формуле *

$$\text{пред} f_{\beta} = 2m_{\beta} \sqrt{n+1}. \quad (\text{III.148})$$

Величина средней квадратической погрешности измерения угла берется из инструкции для полигонометрии соответствующего

Схема полигонометрического хода 4 класса
от пункта Дальняя до пункта Ровки



Схему составила Е.Н. Ничипоренко
проверила Н.А. Пархомова

Рис. 90. Схема полигонометрического хода

ющего класса или разряда. При этом должно соблюдаться соотношение

$$f_{\beta} \leq \text{пред} f_{\beta}. \quad (\text{III.149})$$

Если для дальнейших уравнивательных вычислений требуется иметь исправленные за невязку углы, то невязку в случае ее допустимости распределяют поровну на каждый угол, вычисляя поправки

$$v_{\beta_i} = -\frac{f_{\beta}}{n+1}. \quad (\text{III.150})$$

* Согласно [14] для полигонометрии 4 класса $\text{пред} f_{\beta} = 2,5m_{\beta} \sqrt{n+1} = 5'' \sqrt{n+1}$.

б) Вычисление невязки в приращениях координат. Для этого сначала находят дирекционные углы

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i \pm 180^\circ + \beta_{\text{лев}} \quad (\text{III.151})$$

или

$$\alpha_{i+1} = \alpha_i \pm 180^\circ - \beta_{\text{прав}} \quad (\text{III.152})$$

где α_i и α_{i+1} — дирекционные углы предыдущей и последующей линий,

$\beta_{\text{лев}}$, $\beta_{\text{прав}}$ — исправленные (или неисправленные за невязку) левые и правые углы поворота.

Затем получают приращения координат по формулам

$$\left. \begin{aligned} \Delta x_i &= s_i \cos \alpha_i \\ \Delta y_i &= s_i \sin \alpha_i \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.153})$$

и вычисляют невязки в приращениях f_x и f_y .

Для разомкнутого хода или полигона

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x - (x_k - x_n) \\ f_y &= \sum \Delta y - (y_k - y_n) \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.154})$$

где x_n , y_n и x_k , y_k — координаты начального и конечного опорных пунктов.

Для замкнутого полигона

$$\left. \begin{aligned} f_x &= \sum \Delta x; \\ f_y &= \sum \Delta y. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.155})$$

в) Вычисление линейной абсолютной и относительной невязки хода (или полигона) f_s и $f_s/[s]$. Линейную невязку хода

$$f_s = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (\text{III.156})$$

сравнивают с предельным значением, которое определяют как

$$\text{пред} f_s = 2M_s \quad (\text{III.157})$$

где M — средняя квадратическая погрешность положения конечной точки хода (или полигона). Величина M подсчитывается по формулам (III.107)—(III.109) или (III.111)—(III.113) (см. задание III.7) в зависимости от формы хода и метода измерения сторон. Если углы хода предварительно не исправлялись за невязку, величину M' в случае изогнутого хода вычисляют по формулам (III.107)—(III.109), заменяя в них, в последнем слагаемом, $[D_{n,i}^2]$ на $[D_{n+1,i}^2]$ — сумму квадратов расстояний от точки хода с номером i до конечной. В случае вытянутого хода — по формулам (III.111)—(III.113), заменяя в них соответственно $\frac{n+3}{12}$ на $\frac{n+1.5}{3}$.

Относительная невязка хода $\frac{f_s}{[s]}$ не должна превышать приведенного в инструкции предельного допустимого значения для полигонометрии данного разряда.

Примеры предварительных вычислений в описанном выше последовательности приводятся в задании III.10.

3. Получение рабочих координат пунктов. Для этой цели производят упрощенное уравнивание приращений координат пунктов хода. Полученные невязки f_x и f_y распределяют поровну на все приращения в ходе, в случае если стороны измерялись светодальномерами

$$\left. \begin{aligned} v_{x_i} &= -\frac{f_x}{n}; \\ v_{y_i} &= -\frac{f_y}{n} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.158})$$

и прямо пропорционально длинам линий, в случае измерения сторон другими мерными приборами

$$\left. \begin{aligned} v_{x_i} &= -\frac{f_x}{[s]} s_i; \\ v_{y_i} &= -\frac{f_y}{[s]} s_i. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.159})$$

По исправленным за поправки приращением вычисляют координаты вершин хода.

В полигонометрических сетях применяют нестрогие отдельные методы уравнивания: эквивалентной замены, последовательных приближений, полигонов проф. В. В. Попова и др. Некоторые из этих методов рассмотрены в задании III.11.

4. Определение продольной t и поперечной u невязок вытянутых ходов. Определение невязок можно производить либо аналитическим, либо графическим способами.

Аналитический метод заключается в вычислении продольной t и поперечной u невязок по формулам

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{f_x [\Delta x] + f_y [\Delta y]}{L}; \\ u &= \frac{f_y [\Delta x] - f_x [\Delta y]}{L}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.160})$$

где L — длина замыкающей хода, которая в свою очередь может быть найдена как

$$L = \sqrt{[\Delta x]^2 + [\Delta y]^2}. \quad (\text{III.161})$$

Контролем правильности вычисления t и u является равенство значений f_s , вычисленных по формуле (III.156) и

$$f_s = \sqrt{t^2 + u^2}. \quad (\text{III.162})$$

Пример 1. Вычислить величины продольной t и поперечной u невязок, если $[\Delta x] = -4237$ м; $[\Delta y] = -4350$ м; $f_x = +0,070$ м и $f_y = -0,031$ м.

Решение. Вычисляют по формуле (III.161) величину замыкающей хода

$$L = \sqrt{4237^2 + 4350^2} = 6072 \text{ м.}$$

Далее, подставляя значения f_x , $[\Delta x]$, f_y , $[\Delta y]$ и L в формулы (III.160), находят t и u

$$t = \frac{-0,070 \cdot 4237 + 0,031 \cdot 4350}{6072} = -0,026 \text{ м;}$$

$$u = \frac{+0,031 \cdot 4237 + 0,070 \cdot 4350}{6072} = +0,072 \text{ м.}$$

Контроль вычислений производят по формулам (III.156) и (III.162)

$$f_s = \sqrt{0,070^2 + 0,031^2} = 0,075 \text{ м;}$$

$$f_s = \sqrt{0,026^2 + 0,072^2} = 0,075 \text{ м.}$$

Для получения продольной и поперечной невязок графическим путем строят прямоугольные оси координат (рис. 91) и откладывают на них в крупном масштабе (например, 1 : 1) невязки f_x и f_y и получают f_s . Затем на тех же осях координат откладывают значения $[\Delta x]$ и $[\Delta y]$ в любом, удобном для построения масштабе (например, 1 : 200 000), и проводят направление замыкающей хода L , на которое из конца f_s опускают перпендикуляр; длина перпендикуляра AB и длина отрезка OB будут соответственно u и t , которые определяют, пользуясь тем же масштабом, в каком были отложены f_x и f_y . Величины t и u считаются положительными тогда, когда направление первой из них совпадает с направлением замыкающей хода, а вторая расположена справа от замыкающей, и отрицательными, когда направление t не совпадает с направлением замыкающей, а u расположено влево от замыкающей.

Пример 2. Определить t и u графическим путем по данным примера 1.

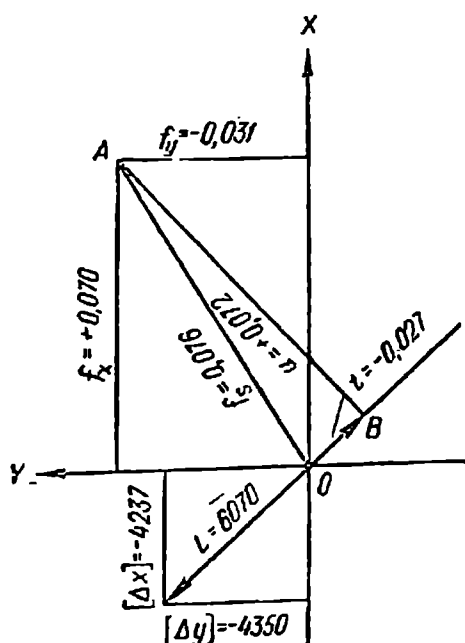


Рис. 91. Определение продольной и поперечной невязок графическим способом

Решение. Для решения воспользуемся рис. 91, измерив в масштабе отрезки QB и AB , найдем $t = -0,027$ м и $u = +0,072$ м.

5. Оценка точности угловых измерений. В однопточном полигонометрическом ходе оценка точности состоит в получении средней квадратической погрешности собственно измерения угла m'_β , которую вычисляют:

а) по уклонениям ν_β отдельных приемов от среднего

$$m'_\beta = \sqrt{\frac{[\nu_\beta^2]}{n'k(n'-1)}}, \quad (\text{III.163})$$

где n' — число приемов измерения;

k — число пунктов, на которых производились измерения углов;

б) по разностям d_β между приемами

$$m'_\beta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d_\beta^2]}{n'}}. \quad (\text{III.164})$$

При вычислении по формулам (III.163) и (III.164) не учитываются погрешности центрирования, редукции и частично погрешности, связанные с внешними условиями, поэтому средняя квадратическая погрешность собственно измерения угла m'_β должна быть примерно раза в 2 меньше полной средней квадратической погрешности угла m_β .

Пример 3. На пяти пунктах полигонометрического хода 4 класса каждый угол был измерен теодолитом Т2 шестью приемами. Вычислить среднюю квадратическую погрешность собственно измерения угла по уклонениям каждого приема от среднего значения из шести (табл. 69).

Решение примера приведено в табл. 69.

Средняя квадратическая погрешность собственно измерения угла m'_β вычислена по формуле (III.163). Средняя квадратическая погрешность самой погрешности по формуле

$$m_{m_\beta} = \frac{m'_\beta}{\sqrt{2n'k(n'-1)}}.$$

Предварительную оценку точности угловых измерений в системе ходов также можно выполнить по приведенным выше формулам. Окончательную оценку точности выполняют по угловым невязкам ходов или полигонов и по поперечным невязкам вытянутых ходов.

Если известны угловые невязки f_β по N ходам или полигонам, то среднюю квадратическую погрешность угла находят по формуле

$$m_{\beta I} = \sqrt{\frac{\left[\frac{f_\beta^2}{n+1} \right]}{N}}, \quad (\text{III.165})$$

где $n+1$ — число углов в каждом ходе или полигоне.

Вычисление средней квадратической погрешности
собственно измерения угла в полигонометрическом ходе 4 класса
по уклонениям отдельных приемов от среднего

№ п/п	v	v^2	№ п/п	v	v^2
1	-0,5"	0,25	16	-2,3"	5,39
2	+1,5	2,25	17	0,0	0,00
3	-1,0	1,00	18	+2,3	5,39
4	-2,5	6,25	19	-0,2	0,04
5	+1,0	1,00	20	-0,3	0,09
6	+1,5	2,25	21	+0,6	0,36
7	-2,0	4,00	22	+0,3	0,09
8	0,0	0,00	23	+1,2	1,44
9	+2,0	4,00	24	-1,5	2,25
10	-1,0	1,00	25	+3,0	9,00
11	-2,4	5,86	26	-0,5	0,25
12	+3,4	11,56	27	-2,0	4,00
13	+3,3	10,89	28	-2,5	6,25
14	-2,4	5,86	29	+1,0	1,00
15	-0,9	0,81	30	+1,0	1,00
					93,53

$$m'_\beta = \sqrt{\frac{93,3}{6 \cdot 5 (6-1)}} = 0,79'' ;$$

$$m_{m\beta} = \frac{0,79}{\sqrt{300}} = 0,04'' .$$

Вычислила Е. К. Печипоренко

П р и м е р 4. Вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения угла по угловым невязкам восьми ходов. Величины угловых невязок f_β и число сторон в ходах n даны в табл. 70.

Р е ш е н и е примера приведено в табл. 70. Величину m_{β_I} вычисляют по формуле (III.165), а $m_{m\beta_I}$ по формуле

$$m_{m\beta_I} = \frac{m_{\beta_I}}{\sqrt{2N}} .$$

Если известны поперечные невязки по N вытянутым ходам, то среднюю квадратическую погрешность угла находят по формуле

$$m_{\beta_{II}} = \sqrt{\frac{\left[c \left(\frac{u}{L} \rho \right)^2 \right]}{N}} \quad (\text{III.166})$$

или

$$m_{\beta_{III}} = \sqrt{\frac{\left[c' \left(\frac{u'}{L} \rho \right)^2 \right]}{N}} , \quad (\text{III.167})$$

Вычисление средней квадратической погрешности угла
в полигонометрии 4 класса по угловым невязкам ходов

№ хода	n	l_{β}	$\frac{1}{n+1} l_{\beta}^2$
1	10	-6,0"	3,3"
2	16	+5,2	1,6
3	15	+12,3	9,4
4	12	+9,8	7,4
5	15	+4,2	1,1
6	15	+9,0	5,1
7	12	-6,5	3,2
8	11	-1,1	0,1
			31,2

$$m_{\beta I} = \sqrt{\frac{31,2}{8}} = 1,97'' ;$$

$$m_{m_{\beta I}} = \frac{1,97}{\sqrt{16}} = 0,49'' .$$

Вычислила Н. А. Пархомова

где u — поперечные невязки вытянутых ходов, вычисленные по исправленным за угловую невязку углам:

$$c = \frac{12n}{(n+1)(n+2)} \approx \frac{12}{n+3} ; \quad (\text{III.168})$$

$$c' = \frac{6n}{(n+1)(2n+1)} \approx \frac{3}{n+1,5} \quad (\text{III.169})$$

u' — поперечные невязки вытянутых ходов, вычисленные по не исправленным за угловую невязку углам.

Для получения величины u' практически можно не вычислять вторично ход (без предварительного уравнивания углов), а получить их на основании зависимости между невязками ходов с уравниваемыми и неуровненными углами

$$u' = u + \frac{l_{\beta}}{2} \cdot \frac{L}{2} . \quad (\text{III.170})$$

В случае, если влияние погрешностей исходных данных на величины невязок ничтожно по сравнению с влиянием погрешностей полевых измерений, то формулы (III.165), (III.166) и (III.167) дадут близкие между собой значения m_{β} , действительно характеризующие точность угловых измерений.

В случае, если влияние погрешностей исходных данных будет заметным, все три формулы дадут преувеличенные и уже не согласные между собой значения m_{β} , причем наибольшее значение даст формула (III.166), как наиболее чувствительная к погрешностям исходных данных, а наименьшее — формула (III.165). Между тремя полученными результатами будет иметь место следующее соотношение:

$$m_{\beta I} < m_{\beta III} < m_{\beta II}. \quad (\text{III.171})$$

За наиболее близкую к действительности принимают величину, вычисленную по формуле (III.165).

Пример 5. Вычислить среднюю квадратическую погрешность измерения угла по поперечным невязкам u и u' восьми вытянутых полигонометрических ходов (см. пример 4) для случая предварительно исправленных углов и для случая, когда углы предварительно не исправлялись. Длины ходов L , число сторон n и поперечные невязки u и u' даны в табл. 71.

Таблица 71

Вычисление средней квадратической погрешности угла по поперечным невязкам вытянутых полигонометрических ходов 4 класса

№ хода	n	L	$u, \text{ м}$	$u', \text{ м}$	$\frac{u}{L} \rho$	c	$c' \left(\frac{u'}{L} \rho \right)^2$	$\frac{u'}{L} \rho$	c'	$c' \left(\frac{u'}{L} \rho \right)^2$
1	10	4030	-0,070	-0,012	-3,5	0,92	11,3	-0,6	0,25	0,1
2	16	6711	-0,015	+0,078	-0,5	0,63	0,2	+2,4	0,11	1,0
3	15	5003	+0,045	+0,190	+1,8	0,66	2,1	+7,7	0,18	10,6
4	12	5812	+0,100	+0,225	+3,5	0,80	9,8	+8,1	0,22	14,5
5	15	6280	-0,028	+0,032	-0,9	0,66	0,5	+1,0	0,18	0,2
6	15	6103	-0,102	-0,233	-3,4	0,66	7,6	-7,9	0,18	11,3
7	12	4120	+0,022	+0,038	+1,1	0,80	1,0	+1,7	0,22	0,6
8	11	6790	+0,110	+0,093	+3,5	0,85	10,4	+3,3	0,24	2,6
							42,9			40,9

$$m_{\beta II} = \sqrt{\frac{42,9}{8}} = 2,3'';$$

$$m_{\beta III} = \sqrt{\frac{40,9}{8}} = 2,2''$$

$$m_{m_{\beta II}} = \frac{2,3}{\sqrt{16}} = 0,57'';$$

$$m_{m_{\beta III}} = \frac{2,2}{\sqrt{16}} = 0,55''$$

Вычислила И. А. Пархомова

Решение примера приведено в табл. 71. Величины c и c' вычисляют по формулам (III.168) и (III.169), а величины $m_{\beta II}$

и $m_{\beta_{III}}$ — по формулам (III.166) и (III.167). Величина $m_{m\beta}$ найдена по формуле

$$m_{m\beta} = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{2N}}.$$

На основании сравнения величины m_{β_I} , полученной в примере 4, и величин $m_{\beta_{II}}$ и $m_{\beta_{III}}$, полученных в данном примере, можно сделать вывод, что влияние погрешностей исходных данных отсутствует.

6. Оценка точности линейных измерений. В одиночном полигонометрическом ходе оценка точности может быть выполняема по уклонениям ν , отдельных приемов от среднего и по разностям двойных измерений d_s .

Если многократные измерения отдельной линии равноточны, а измерения разных линий не равноточны (например, вследствие их разной длины), то среднюю квадратическую погрешность единицы веса μ_s вычисляют по формуле

$$\mu_s = \sqrt{\frac{[p[\nu^2]]}{k(n'-1)}}, \quad (\text{III.172})$$

где n' — число приемов;

k — число измеряемых линий.

В формуле (III.172) $[\nu^2]$ берется по каждой линии, а вес измерения p_{s_i} по отдельной линии, вычисляемой как

$$p_{s_i} = \frac{c}{m_{s_i}^2}. \quad (\text{III.173})$$

Величина p_{s_i} вычисляется по формуле (III.173) в случае, если линии измерялись светодальномерами, параллактическим или короткобазисным параллактическим способом.

Если линии измерялись проволоками, вес определяют как

$$p_{s_i} = \frac{1}{s_i}. \quad (\text{III.174})$$

Погрешности одного измерения для отдельных линий находят по формуле

$$m_{s_i} = \frac{\mu_s}{\sqrt{p_{s_i}}}, \quad (\text{III.175})$$

а окончательных значений получают как

$$M_{s_i} = \frac{m_{s_i}}{\sqrt{n'}} \quad (\text{III.176})$$

или

$$M_{s_i} = \frac{\mu}{\sqrt{p_{s_i} n'}}. \quad (\text{III.177})$$

При светодальномерном измерении расстояний для ходов, длины линий которых укладываются в пределы, указанные в табл. 65 (задание III.7), среднюю квадратическую погрешность окончательного результата измеряемой линии можно вычислить по формуле для равноточных измерений, т. е.

$$M = \sqrt{\frac{[v^2]}{kn'(n'-1)}}. \quad (\text{III.178})$$

Это следует из того, что для таких ходов средние квадратические погрешности линий m_{s_i} практически равны средней квадратической погрешности средней линии $m_{s_{cp}}$ (см. пример 2 задания III.7), а веса являются величиной постоянной

$$p_{s_i} = \frac{c}{m_{s_{cp}}^2} = \text{const.} \quad (\text{III.179})$$

Пример 6. Пять линий полигонометрического хода 4 класса были измерены светодальномером СТ-65 каждая на четырех частотах (наблюдением 4-минимумов), результаты измерений приведены в табл. 72. Произвести оценку точности измеренных линий.

Т а б л и ц а 72

Измеренные значения линий				
1	2	3	4	5
563,501	385,311	605,823	821,441	998,185
563,507	385,320	605,843	821,447	998,195
563,504	385,310	605,837	821,423	998,201
563,491	385,315	605,828	821,401	998,199
<u>563,501</u>	<u>385,314</u>	<u>605,833</u>	<u>821,428</u>	<u>998,195</u>

Решение примера приведено в табл. 73. В графу 3 выписывают по каждой отдельной линии уклоны v измеренных значений линий от среднего. Среднюю квадратическую погрешность окончательного результата измеренной линии находят по формуле (III.178), так как уклоны наименьшей и наибольшей длины от среднего значения линии укладываются в интервал 400—1000 (см. табл. 65), для которого веса линий могут быть приняты постоянными. В графе 5 вычисляют средние квадратические относительные погрешности окончательных результатов линий.

При оценке точности линейных измерений по разностям двойных измерений используют разности d_i между результатами измерений n линий в прямом и обратном направлениях или двумя мерными приборами. В общем случае линии имеют разную длину, поэтому оценка точности производится по формулам для неравноточных измерений.

Вычисление средних квадратических абсолютных и относительных погрешностей измерения линий светодальномером СТ-65

№ линия	№ поправки	v , см	v^2	$\frac{M_{s_l}}{s_l}$
1	2	3	4	5
1	1	0,0	0,00	$\frac{1}{100\ 000}$
	2	+0,6	0,36	
	3	+0,3	0,09	
	4	-1,0	1,00	
2	5	-0,3	0,09	$\frac{1}{69\ 000}$
	6	+0,6	0,36	
	7	-0,4	0,16	
	8	+0,1	0,01	
3	9	-1,0	1,00	$\frac{1}{108\ 000}$
	10	+1,0	1,00	
	11	+0,4	0,16	
	12	-0,5	0,25	
4	13	+1,3	1,69	$\frac{1}{147\ 000}$
	14	+1,9	3,61	
	15	-0,5	0,25	
	16	-2,7	7,29	
5	17	-1,0	1,00	$\frac{1}{176\ 000}$
	18	0,0	0,00	
	19	+0,6	0,36	
	20	+0,4	0,16	
			18,84	

$$M = \sqrt{\frac{18,84}{5 \cdot 4 (4-1)}} = 0,56 \text{ см.}$$

Вычислила Е. К. Нечипоренко

При измерении линий проволоками веса измеренных линий определяют по формуле (III.174) и формулы для оценки точности применяют следующие.

Сначала определяют так называемый коэффициент остаточного систематического влияния ω , который характеризует лишь разность систематических влияний в первом и втором измерениях

и не характеризует величину самих систематических погрешностей, т. е. величину коэффициента систематического влияния λ

$$\omega = \frac{[d_s]}{[s]}. \quad (\text{III.180})$$

Затем систематическую часть исключают из разностей

$$d'_{s_i} = d_{s_i} - \omega s_i \quad (\text{III.181})$$

и по величинам d'_s определяют коэффициент случайного влияния μ , относящийся к среднему из обоих измерений результату

$$\mu = \sqrt{\frac{\left[\frac{1}{s} d'^2\right]}{n-1}}, \quad (\text{III.182})$$

который контролируют по формуле

$$\mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d'^2]}{[s]}}. \quad (\text{III.183})$$

При очень малой величине ω , μ определяют по формулам

$$\mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\left[\frac{1}{s} d_s^2\right]}{n}} \quad (\text{III.184})$$

$$\mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d_s^2]}{n}} \quad (\text{III.185})$$

При оценке точности по двойным измерениям величина коэффициента μ получается обычно раза в 2—3 преумноженной, так как при этом способе оценки точности ряд источников погрешностей остается неучтенным.

Пример 7. Провести оценку точности длины линий, измеренных мерной проволокой, по разностям двойных измерений (табл. 74).

Решение. В графе 3 получают сумму величин d_s , по абсолютной величине которой судят о наличии систематического влияния в разностях d_s . В примере $[d_s] = +0,025$ м достаточно велика, следовательно, необходимо определить коэффициент остаточного систематического влияния ω по формуле (III.180) и исключить систематическую часть погрешности из разностей d_s , т. е. определить d'_s по формуле (III.181). Контролем вычисления разностей d'_s служит равенство $[d'_s] = 0$.

Коэффициент случайного влияния μ вычисляют по формуле (III.184) и для контроля — по формуле (III.185). Надежность коэффициента случайного влияния определяют по формуле

$$m_\mu = \frac{\mu}{\sqrt{2(n-1)}}.$$

Все величины выражены в метрах.

Вычисление коэффициентов остаточного систематического и случайного влияния при измерении линий проволокой

№ хода	s_l	d_{s_l}	$-\omega s_l$	d'_{s_l}	$d^2_{s_l}$	$\frac{1}{s_l} d_{s_l}^2$
1	2	3	4	5	6	7
1	207	+0,004	-0,002	+0,002	$4 \cdot 10^{-6}$	$10 \cdot 10^{-8}$
2	183	+ 5	- 2	+ 3	9	5
3	157	- 3	- 2	- 5	25	16
4	290	+ 10	- 3	+ 7	49	17
5	355	+ 12	- 4	+ 8	64	18
6	271	+ 2	- 3	- 1	1	4
7	220	- 6	- 2	- 8	64	29
8	163	- 4	- 2	- 6	36	22
9	317	+ 12	- 3	+ 9	81	26
10	175	- 7	- 2	- 9	81	46
	2338	+0,025	-0,025	0,000	$414 \cdot 10^{-6}$	$193 \cdot 10^{-8}$

$$\omega = \frac{+0,025}{2338} = +0,0000108; \quad \mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{193 \cdot 10^{-8}}{9}} = 0,00023.$$

К о н т р о л ь

$$\mu = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{414 \cdot 10^{-6}}{2338}} = 0,00024; \quad m_\mu = \frac{23 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{18}} = 0,000054.$$

Вычислила Н. А. Пархомова

При оценке точности по разностям двойных измерений линий, измеренных светодальномерами, веса определяют по тем же формулам, что и в способе оценки точности линий по уклонам от среднего. Тогда формулы для оценки точности будут следующие.

Остаточное влияние систематических погрешностей, отнесенное к одной линии.

$$\theta = \frac{[p_s d_s]}{[p_s]}. \quad (\text{III.186})$$

Средняя квадратическая погрешность единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{[p_s d'^2]}{2(n-1)}}, \quad (\text{III.187})$$

где

$$d'_{s_l} = d_{s_l} - 0. \quad (\text{III.188})$$

Средние квадратические погрешности средних значений каждой линии

$$m_{(s_l)_{\text{cp}}} = \frac{\mu}{\sqrt{2p_{s_l}}}. \quad (\text{III.189})$$

При очень малом θ величину μ определяют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[p_s d_s^2]}{2n}}. \quad (\text{III.190})$$

При измерении линий светодальномерами типа СТ и СМ-3 веса измеренных линий, как уже указывалось выше, величины практически постоянные, поэтому оценка точности будет производиться по формулам для двойных равноточных измерений

$$\theta = \frac{[d_s]}{n}; \quad (\text{III.191})$$

величины d_{s_i} находят по формуле (III.188):

$$m_{(s_i)_{\text{ср}}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d_s'^2]}{n-1}} \quad (\text{III.192})$$

или, если величина θ весьма мала,

$$m_{(s_i)_{\text{ср}}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[d_s^2]}{n}}. \quad (\text{III.193})$$

Предварительную оценку точности линейных измерений в системе ходов также можно произвести по отклонениям от среднего в приемах и по разностям двойных измерений. Окончательную оценку точности выполняют по продольным невязкам вытянутых ходов t .

При измерении линий проволоками, коэффициент систематического влияния λ определяют как

$$\lambda = \frac{[t]}{[L]}, \quad (\text{III.194})$$

где L — длина замыкающей каждого хода.

Затем, исключив из каждой продольной невязки систематическую часть,

$$t'_i = t_i - \lambda L_i, \quad (\text{III.195})$$

находят коэффициент случайного влияния μ

$$\mu = \sqrt{\frac{[t'^2]}{N-1}} \quad (\text{III.196})$$

и для контроля

$$\mu = \sqrt{\frac{[t'^2]}{[s]}}, \quad (\text{III.197})$$

где N — число ходов, по которым производится оценка точности.

В случае, если величина λ окажется очень малой, значения μ вычисляют по формулам

$$\mu = \sqrt{\frac{[t^2]}{N}} \quad (\text{III.198})$$

и

$$\mu = \sqrt{\frac{[t_2]}{[L]}}. \quad (\text{III.199})$$

Пример 8. Оценить точность полевых линейных измерений по продольным пелязкам вытянутых ходов (табл. 75), если стороны в ходах измерялись мерной проволокой.

Таблица 75

Вычисление коэффициентов систематического и случайного влияния по продольным пелязкам вытянутых ходов, в случае если линии измерялись проволоками

№ хода	L_i , м	t_i , м	$-\lambda L_i$	t'_i	t_i^2	$\frac{1}{L_i} t_i^2$
1	2	3	4	5	6	7
1	1 480	-0,035	-0,022	-0,057	$32,5 \cdot 10^{-4}$	$219 \cdot 10^{-8}$
2	3 240	+ 6	- 48	- 42	17,6	54
3	2 400	+ 17	- 36	- 19	3,6	15
4	3 340	+ 77	- 49	+ 28	7,8	23
5	2 380	+ 79	- 35	+ 44	19,4	82
6	2 700	+ 56	- 40	+ 16	2,6	10
7	2 620	- 10	- 39	- 49	24,0	91
8	1 400	- 14	- 21	- 35	12,2	87
9	3 000	+ 72	- 44	+ 28	7,8	26
10	3 420	+ 136	- 51	+ 85	72,2	211
	25 980	+0,384	-0,385	-0,001	$199,7 \cdot 10^{-4}$	$818 \cdot 10^{-8}$

$$\lambda = \frac{+0,384}{25\,980} = +0,0000148; \quad \mu = \sqrt{\frac{818 \cdot 10^{-8}}{9}} = 0,00095.$$

Контроль

$$\mu = \sqrt{\frac{199,7 \cdot 10^{-4}}{25\,980}} = 0,00088; \quad m_\mu = \frac{0,00095}{\sqrt{18}} = 0,00022.$$

Вычислила П. А. Шаромова

Решение примера приведено в табл. 75. Коэффициент систематического влияния λ вычисляют по формуле (III.194). Контролем вычисления величин t' служит равенство $[t'] = 0$. Коэффициент случайного влияния μ вычисляют по формуле

(III.196) и для контроля по формуле (III.197). Среднюю квадратическую погрешность коэффициента μ находят по формуле

$$m_{\mu} = \frac{\mu}{\sqrt{2(n-1)}}.$$

Все величины, необходимые для вычисления, выражены в метрах.

При измерении линий светодалномерами систематическую погрешность относят не к единице длины линии, а к отдельной линии, полагая, что систематические погрешности во всех линиях равны между собой

$$\sigma = \frac{[t]}{[n]}. \quad (\text{III.200})$$

Тогда

$$t'_i = t_i - \sigma n_i, \quad (\text{III.201})$$

где n_i — число сторон в ходе с номером i .

Среднюю квадратическую погрешность единицы веса μ находят по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[p t'^2]}{N-1}}, \quad (\text{III.202})$$

где p_i — вес хода, определяемый из выражения

$$p_{t_i} = \frac{c}{m_{t_i}^2} = \frac{c}{[m_s^2]_i}, \quad (\text{III.203})$$

в котором величины m_s вычисляют по соответствующим уравнениям в зависимости от марки светодалномера (см. задание III.2).

Среднюю квадратическую погрешность одной линии вычисляют как

$$m_s = \frac{\mu}{\sqrt{c}}. \quad (\text{III.204})$$

При весьма малой σ величину μ определяют по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[p t_i^2]}{N}}. \quad (\text{III.205})$$

Если линии в ходах с примерно равными сторонами измерялись светодалномерами типа СТ или СМ-3, то величину p_{t_i} можно определять как

$$p_{t_i} = \frac{c}{n_i m_s^2}; \quad (\text{III.206})$$

при $c = m_s^2$

$$p_{t_i} = \frac{1}{n_i}. \quad (\text{III.207})$$

Тогда средняя квадратическая погрешность линии будет равна

$$m_s = \sqrt{\frac{\left[\frac{t'^2}{n} \right]}{N-1}} \quad (\text{III.208})$$

или при очень малом σ

$$m_s = \sqrt{\frac{\left[\frac{t^2}{n} \right]}{N}}. \quad (\text{III.209})$$

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Задание выполняет каждый студент, применяя методы вычислительной обработки, указанные преподавателем.

ЗАДАНИЕ III.9

ПРИВЯЗКА ХОДОВ ПОЛИГОНОМЕТРИИ К ПУНКТАМ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

I. Задача: получить координаты пункта, определенного различными способами привязки, и произвести оценку точности.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. II, М., Геодезиздат, 1962, § 100—109.

Селиханович В. Г., Логинова Г. П. Задачник по геодезии. Ч. II. М., «Недра», 1970, гл. VII.

III. Приборы и принадлежности: настольная электронная клавишная вычислительная машина или арифмометр, шестизначные таблицы тригонометрических функций, логарифмическая линейка, измеритель, плотная бумага, ручка, карандаш, чертежные принадлежности, тушь.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) определение координат пункта из прямой многократной засечки;

2) определение координат пункта из обратной многократной засечки;

3) определение координат двух пунктов по двум данным (задача Ганзена).

Привязка полигонометрии к пунктам триангуляции (или полигонометрии высшего класса) производится для определения координат точек полигонометрического хода, а также для передачи направлений на стороны этого хода.

Для привязки хода необходимо определить координаты начала и конца хода и дирекционные углы начальной и конечной сторон хода. Используя различные методы привязки, можно получить также координаты ряда боковых точек.

Наиболее распространенный способ привязки — это непосредственное примыкание полигонометрического хода к триангуляционному пункту или пункту полигонометрии высшего класса. В этом случае на пунктах T_n и T_k измеряют примычные углы

$\beta_1, \beta_2, \beta_{n+1}, \beta_{n+2}$ и расстояния s_1 и s_n (рис. 92). Если на практике осуществить этот способ не представляется возможным, например: исходный пункт — это шпиль башни или исходный пункт расположен очень далеко, тогда применяют более сложные способы, которые можно разделить на две группы.

I. Привязка к близлежащему пункту так называемая задача «спесения координат с вершины пункта на землю».

II. Привязка к отдаленным пунктам методами:

- а) прямой и обратной многократной засечки;
- б) определением координат двух точек по двум данным (задача Галзена).

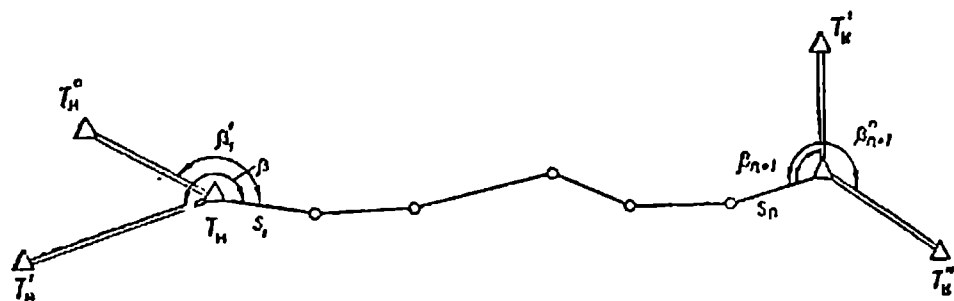


Рис. 92. Привязка полигонометрического хода к пунктам триангуляции

Рассмотрим вторую группу способов — привязку к отдаленным пунктам.

1. Определение координат пункта из прямой многократной засечки. Для определения положения пункта P (рис. 93) прямой засечкой необходимо на местности иметь два твердых пункта, на которых произвести измерение углов от линий с известными дирекционными углами до определяемого пункта, например твердые пункты T_1, T_2 и углы β_1, β_2 . С целью контроля и повышения точности используют большое число пунктов $T_3, \dots, T_n$ и производят измерения большого числа углов $\beta_3, \dots, \beta_n$, в этом случае прямая засечка называется «многократной».

Наличие избыточных измерений приводит к необходимости производить уравнивательные вычисления по методу наименьших квадратов. В данном случае целесообразно применить параметрический метод уравнивания, так как искомые координаты, в конечном итоге, являются функциями измеренных углов; кроме того, при этом способе уравнивания сокращается объем вычислений, так как число неизвестных всегда равно двум (x и y).

Положение конечных пунктов полигонометрического хода выгодно определять прямой многократной засечкой только тогда, когда пункты эти своевременно намечены и обозначены при рекогносцировке, а привязочные углы на твердых пунктах измерены одновременно с обследованием этих пунктов. Чаще всего эта засечка применяется для определения координат боковых пунктов.

Измерение углов β на твердых пунктах выполняют оптическими теодолитами Т2, 2Т2 (или равными им по точности) методами и числом приемов, указанными в задании III.1. По измеренным углам β получают «измеренные» дирекционные углы α' по формуле

$$\alpha'_i = \alpha_{исх} + \beta_i, \quad (III.210)$$

которые затем и используют для дальнейших вычислений.

Вычислительную обработку результатов измерений рассмотрим на решении примера и приведем необходимые формулы.

Пример 1. Определить координаты пункта P , полученного прямой многократной засечкой (рис. 94), и произвести оценку точности. Координаты исходных пунктов и «измеренные» дирекционные углы приведены в табл. 76.

Решение. Уравненные значения координат определяемого пункта P обозначим через x и y и выразим их, согласно параметрическому методу уравнивания, через приближенные значения и поправки к ним

$$\left. \begin{aligned} x &= x_0 + \delta x; \\ y &= y_0 + \delta y. \end{aligned} \right\} (III.211)$$

Рис. 93. Прямая многократная засечка

Приближенные значения координат пункта P (x_0 и y_0) находят из решения простой прямой засечки (однократной прямой засечки), поправки δx и δy — из уравнивательных вычислений.

а) **Определение приближенных значений координат.** Для этого выбирают два направления, образующих угол, близкий к прямому, например T_1P и T_2P , и решают по ним прямую однократную засечку по формулам Гаусса. Вычисления располагают в табл. 77.

Таблица 76

Исходные данные и измеренные величины

Название пункта	Координаты, м		«Измеренные» дирекционные углы
	x	y	
T_1 Меловая	+5739,106	+4550,361	136° 05' 20,0"
T_2 Седой	5581,938	5350,987	231 34 43,0
T_3 Южный	4900,893	5358,105	309 17 49,0
T_4 Знаменский	4672,005	4651,315	28 12 42,0

Препращение координат и координаты определяемого пункта P вычисляют для контроля дважды по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_0 - x_1 &= \frac{(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha'_2}{\operatorname{tg} \alpha'_1 - \operatorname{tg} \alpha'_2} = \frac{A}{K}; \\ x_0 - x_2 &= \frac{(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha'_1}{\operatorname{tg} \alpha'_1 - \operatorname{tg} \alpha'_2} = \frac{B}{K}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.212})$$

$$\left. \begin{aligned} y_0 - y_1 &= (x_0 - x_1) \operatorname{tg} \alpha'_1; \\ y_0 - y_2 &= (x_0 - x_2) \operatorname{tg} \alpha'_2, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.213})$$

$$\left. \begin{aligned} x_0 &= x_1 + (x_0 - x_1); \\ x_0 &= x_2 + (x_0 - x_2), \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.214})$$

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= y_1 + (y_0 - y_1); \\ y_0 &= y_2 + (y_0 - y_2). \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.215})$$

Вычисления ведут с округлением до $0,1''$ и до $0,001$ м.

Расхождения в вычисленных значениях координат допускаются в пределах точности вычислений (2—3 единицы последнего знака).

б) Уравнивание результатов измерений в прямой многократной засечке параметрическим способом. Перед вычислениями составляют схему засечки по координатам пунктов и «измеренным» дирекционным углам.

При уравнивательных вычислениях придерживаются определенной последовательности.

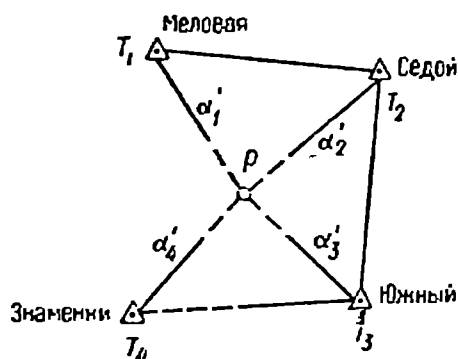


Рис. 94

1. Составляют уравнения поправок, которые имеют вид

$$a_i \delta x + b_i \delta y + l_i = v_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (\text{III.216})$$

где a_i , b_i — коэффициенты уравнений поправок;

l_i — свободный член уравнений поправок;

v_i — поправки в «измеренные» значения дирекционных углов.

Для вычисления коэффициентов и свободных членов уравнений (III.216) необходимо иметь приближенные дирекционные углы направлений с данных точек на определяемую $\alpha_{0,i}$ и приближенные расстояния между ними $s_{0,i}$. Эти величины находят по формулам

$$\operatorname{tg} \alpha_{0,i} = \frac{y_0 - y_i}{x_0 - x_i}, \quad (\text{III.217})$$

$$s_{0,i} = (y_0 - y_i) \operatorname{cosec} \alpha_{0,i} = (x_0 - x_i) \sec \alpha_{0,i}. \quad (\text{III.218})$$

Определение приближенных значений координат пункта Р из решения прямой однократной засечки

y_2	5350,987	α'_1	136° 05' 20,0"	$y_2 - y_1$	+800,626	$y_2 - y_1$	+800,626
y_1	4550,361	α'_2	231 34 43,0	$-(x_2 - x_1) \operatorname{tg} \alpha'_2$	-198,145	$-(x_2 - x_0) \operatorname{tg} \alpha'_1$	+151,305
$y_2 - y_1$	+800,626	$\operatorname{tg} \alpha'_1$	-0,962695	A	+998,771	B	+649,321
x_2	5581,938	$-\operatorname{tg} \alpha'_1$	+1,260719	$x_0 - x_1$	-449,208	$x_0 - x_2$	-292,039
x_1	5739,106			x_1	+5739,106	x_2	+5581,938
$x_2 - x_1$	-157,168	$K = \operatorname{tg} \alpha'_1 -$ $-\operatorname{tg} \alpha'_2$	-2,223404	x_0	+5289,902	x_0	+5289,899
				$(x_0 - x_1) \operatorname{tg} \alpha'_1$	+432,450	$(x_0 - x_2) \operatorname{tg} \alpha'_1$	-368,179
				y_1	+4550,361	y_2	+5350,987
				y_0	+4982,911	y_0	+4982,808

Вычислил П. П. Савельев

Здесь x_0 , y_0 — приближенные координаты, полученные из решения прямой однократной засечки.

Вычисления выполняют в табличке I табл. 78 и ведут с округлением до $0,1''$ и $0,001$ м. В табличке II вычисляют по формуле

$$l_i = \alpha_{0,i} - \alpha'_i \quad (\text{III.219})$$

свободные члены уравнений поправок. Значения «измеренных» дирекционных углов α'_i вычисляют по формуле (III.210). Свободные члены уравнений поправок должны находиться в соответствии с точностью измерений.

В табличке III (левой части) вычисляют коэффициенты уравнений поправок по формулам

$$\left. \begin{aligned} a_i &= \frac{(a)_i}{s_{0,i}}; \\ b_i &= \frac{(b)_i}{s_{0,i}}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.220})$$

где

$$\left. \begin{aligned} (a)_i &= -\frac{\sin \alpha_{0,i} \rho}{10\,000}; \\ (b)_i &= +\frac{\cos \alpha_{0,i} \rho}{10\,000}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.221})$$

Величины $(a)_i$ и $(b)_i$ по значениям $\alpha_{0,i}$, округленным до $1'$, или вычисляют непосредственно по формуле (III.221), или выбирают из таблиц величин (a) и (b) (прил. 7). Расстояния $s_{0,i}$, вычисленные по формуле (III.220), следует выражать в километрах, так как величины $(a)_i$ и $(b)_i$ в (III.221) для удобства вычислений уменьшены в 10 000 раз. Здесь же вычисляют контрольные суммы

$$s_i = a_i + b_i + l_i. \quad (\text{III.222})$$

Величину $[s]$ получают дважды: суммированием величин s по столбцу и суммированием величин $[a]$, $[b]$, $[l]$ по строке, т. е.

$$[s] = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 = 31,0;$$

$$[s] = [a] + [b] + [l] = 31,0.$$

2. Составляют и решают нормальные уравнения. Нормальных уравнений будет два

$$\left. \begin{aligned} [aa] \delta x + [ab] \delta y + [al] &= 0; \\ [ab] \delta x + [bb] \delta y + [bl] &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.223})$$

Коэффициенты и свободные члены нормальных уравнений вычисляют в правой части таблички III, контролируя их равенствами

$$[aa] + [ab] + [al] = [as] = +2465,$$

$$[ab] + [bb] + [bl] = [bs] = +2515$$

Уравнивание результатов измерений в прямой
многократной засечке параметрическим способом
Вычисление дирекционных углов и расстояний

Пункт P	$\frac{y_i}{v}$ $y_i - y = \Delta y_i$	$\frac{x_i}{x}$ $x_i - x = \Delta x_i$	$\lg \alpha_i$ α_i	$s_i = \Delta y_i \operatorname{cosec} \alpha_i$	$s_i = \Delta x_i \sec \alpha_i$
1. По приближенным координатам x_0, y_0					
P T_1 Меловая	4982,810 4550,361	5289,900 5739,106	0,962696	1,441874	1,388087
	+432,449	-449,206	136° 05' 19,9"	623,537	623,537
P T_2 Седой	4982,810 5350,987	5289,900 5581,938	1,260716	1,276388	1,609164
	-368,177	-292,038	231° 34' 42,8"	469,937	469,937
P T_3 Южный	4982,810 5358,105	5289,900 4900,893	1,221816	1,292232	1,578872
	-475,295	+389,007	309° 17' 55,4"	614,191	614,192
P T_4 Замечки	4982,810 4651,315	5289,900 4672,005	0,536490	2,11527	1,134822
	+331,495	+617,895	28° 12' 47,2"	701,201	701,201

Пункт P	$\frac{v_l}{v}$ $v_l - v = \Delta v_l$	$\frac{x_l}{x}$ $x_l - x = \Delta x_l$	$\begin{matrix} \lg \alpha_l \\ \alpha_l \end{matrix}$	$s_l = \Delta v_l \cos \alpha_l$	$s_l = \Delta x_l \sec \alpha_l$
-----------	---	---	--	----------------------------------	----------------------------------

VII. По уравненным координатам x, y

P T_1 Меловая	4982,798 4550,361	5289,896 5739,106	0,962661	1,441901	1,388063
	+432,437	-449,210	136° 05' 23,6"	623,531	623,532
P T_2 Седой	4982,798 5350,987	5289,896 5581,938	1,260739	1,276380	1,609181
	-368,189	-292,042	231° 34' 44,6"	469,949	469,948
P T_3 Южный	4982,798 5358,105	5289,896 4900,893	1,221859	1,292215	1,578904
	-475,307	+389,003	309° 17' 51,9"	614,199	614,198
P T_4 Знаменки	4982,798 4651,315	5289,896 4672,005	0,536474	2,11532	1,134814
	+331,483	+617,891	28° 12' 44,7"	701,193	701,191

II. Вычисление свободных членов уравнений поправок

Данные пункты 1		Измеренные дирекционные углы α'_i	Приближенные дирекционные углы $\alpha_{0,i}$	$l_i = \alpha_{0,i} - \alpha'_i$	$l_i l_i$
№	Название				
1	T_1 Меловая	136° 05' 20,0"	136° 05' 19,9"	-0,1	0
2	T_2 Седой	231 34 43,0	231 34 42,8	-0,2	0
3	T_3 Южный	309 17 49,0	309 17 55,4	+6,4	41,0
4	T_4 Знаменки	28 12 42,0	28 12 47,2	+5,2	27,0

Продолжение табл. 78

III. Вычислено коэффициентов уравнений поправок и нормальных уравнений

№ пунк- та	α_0	(a)	(b)	a, км	a	b	'	s	aa	ab	al	as	bb	bl	bs
1	136° 05'	-14.30	-14.86	0.624	-22.9	-23.8	-0.1	-46.8	524	+545	+2	+1071	566	+2	+1114
2	231 35	+16.16	-12.82	0.470	+34.4	-27.3	-0.2	+6.9	1183	-939	-7	+237	745	+5	-188
3	309 18	+15.96	+13.06	0.614	+26.0	+21.3	+6.4	+53.7	676	+554	+166	+1396	454	+136	+1114
4	28 13	-9.74	+18.18	0.701	-13.9	+25.9	+5.2	+17.2	193	-360	-72	-239	671	+135	+445
					+23.6	-3.9	+11.3	+31.0	2576	-200	+89	+2465	2436	+278	+2515

IV. Решение нормальных уравнений

I. $[aa] \delta x + [ab] \delta y + [al] = 0$,

I. 2576 $\delta x - 200 \delta y + 89 = 0$.

II. $[ab] \delta x + [bb] \delta y + [bl] = 0$.

II. $-200 \delta x + 2436 \delta y + 278 = 0$.

$-[aa] [bb]$ $-[ab] [ab]$	6275 40	$-[ab] [bl]$ $[bb] [al]$	-56 $+217$	$[ab] [al]$ $-[aa] [bl]$	-18 $+716$	$\delta x = -0.043$ $\delta y = -0.118$	$P_x = 2560$ $P_y = 2420$
D	6235	D_x	-273	D_y	-734		

V. Окончательные координаты пункта Р

$$x = x_0 + 0,16x = 5289,896 \text{ м}; y = y_0 + 0,16y = 4982,798 \text{ м}.$$

VI. Вычисление поправок v и управленческих дирекционных углов α

№	Вычисление v			«Измеренные» дирекционные углы α'	Управленческие дирекционные углы $\alpha = \alpha' + v$	Окончательно вычисленные дирекционные углы α	v
	$\alpha \delta x$	$\delta \delta y$	l				
1	+1,01	+2,81	-0,1	136° 05' 20,0"	136° 05' 23,7"	136° 05' 23,6"	13,8
2	-1,51	+3,22	-0,2	231 34 43,0	231 34 44,5	231 34 44,6	2,3
3	-1,14	-2,51	+0,4	309 17 49,0	309 34 51,8	309 17 51,9	7,6
4	+0,61	-3,06	+5,2	28 12 42,0	28 12 44,8	28 12 44,7	7,6
							31,3

VIII. Контроль вычисления поправок

[11]	[αl] δx	[δl] δy	[$\nu \nu$]
68,0	-3,9	-32,8	31,3

IX. Оценка точности

$$m_{\alpha} = \sqrt{\frac{31,3}{4-2}} = 3,9'';$$

$$m_x = \frac{3,9}{10 \sqrt{2560}} = 0,008 \text{ м};$$

$$m_y = \frac{3,9}{10 \sqrt{2420}} = 0,008 \text{ м}.$$

Вычислял П. П. Савельев

— по строкам и равенствам

$$a_1s_1 + a_2s_2 + a_3s_3 + a_4s_4 = [as] = + 2465,$$

$$b_1s_1 + b_2s_2 + b_3s_3 + b_4s_4 = [bs] = + 2515$$

— по столбцам.

В табличке IV решают нормальные уравнения по методу определителей (детерминантов), значения поправок δx и δy находят по формулам

$$\left. \begin{aligned} \delta x &= \frac{[ab][bl] - [al][bl]}{[aa][bb] - [ab][ab]} = \frac{D_x}{D}; \\ \delta y &= \frac{[ab][al] - [aa][bl]}{[aa][bb] - [ab][ab]} = \frac{D_y}{D} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.224})$$

и веса уравненных значений координат по формулам

$$\left. \begin{aligned} P_x &= \frac{D}{[bb]}; \\ P_y &= \frac{D}{[aa]}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.225})$$

Поправки будут получены в дециметрах, а веса будут иметь размерность секунда²/дм². Правильность решения контролируют подстановкой полученных значений поправок в нормальные уравнения.

3. Вычисляют уравненные координаты и углы. Поправки δx и δy (с учетом размерности) прибавляют к приближенным значениям x_0 и y_0 и получают вероятнейшие (уравненные) координаты пункта P .

В табличке VI из уравнений поправок (III.216) находят поправки v_i к «измеренным» значениям дирекционных углов (с округлением до 0,01"). Контролем правильности вычислений, начиная с составления коэффициентов нормальных уравнений, служит вторичное получение суммы $[vv]$ в табличке VIII по формуле

$$[vv] = [ll] + [al]\delta x + [bl]\delta y. \quad (\text{III.226})$$

Расхождения между двумя полученными значениями допускаются в пределах 2% от величины $[vv]$.

Уравненные (исправленные) «измеренные» дирекционные углы получают путем прибавления поправок v_i к измеренным значениям α'_i

$$\alpha_i = \alpha'_i + v_i. \quad (\text{III.227})$$

4. Производят заключительный контроль. По уравненным координатам пункта P (x и y) в табличке VII вычисляют вторично уравненные (окончательные) дирекционные углы α_i (с округлением до 0,1")

$$\lg \alpha_i = \frac{y - y_i}{x - x_i}, \quad (\text{III.228})$$

контролируя их вычислением расстояний s_i

$$s_i = \Delta y_i \operatorname{cosec} \alpha_i = \Delta x_i \sec \alpha_i. \quad (\text{III.229})$$

Заключительным контролем решения всей задачи является совпадение уравненных дирекционных углов α_i вычисленных по формулам (III.227) и (III.228). Расхождение не должно превышать $0,3''$.

6. Производят оценку точности полевых измерений, которая состоит в подсчете средней квадратической погрешности «измеренного» дирекционного угла

$$m_{\alpha'} = \sqrt{\frac{[vv]}{n-2}}, \quad (\text{III.230})$$

где n — число направлений.

Для оценки точности уравненных значений вычисляют средние квадратические погрешности абсциссы и ординаты

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \frac{m_{\alpha'}}{10 \sqrt{P_x}}; \\ m_y &= \frac{m_{\alpha'}}{10 \sqrt{P_y}}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.231})$$

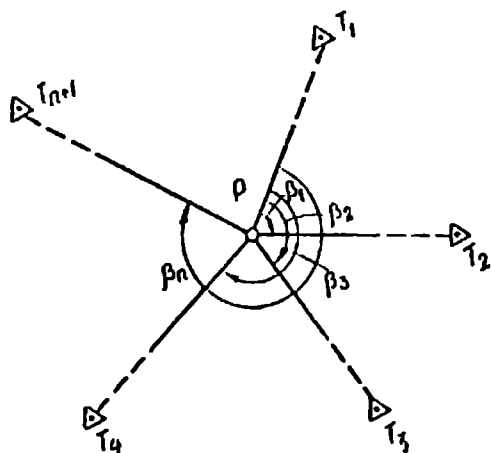


Рис. 95. Обратная многократная засечка

Средние квадратические погрешности m_x и m_y выражают в метрах, поэтому в знаменателе формул (III.231) берут коэффициент 10.

2. Определение координат пункта из обратной многократной засечки. Для определения положения пункта P (рис. 95) обратной засечкой необходимо на местности иметь три твердых пункта, а на пункте P произвести измерение углов от какого-либо направления, принятого за начальное, до каждого из направлений, например твердые пункты T_1, T_2, T_3 и углы β_1, β_2 . С целью контроля и повышения точности используют большее число пунктов $T_4, \dots, T_{n+1}$ и производят измерения большего числа углов $\beta_3, \dots, \beta_n$, в этом случае обратная засечка называется «многократной».

На определяемом пункте P можно производить и измерение направлений на твердые пункты, в этом случае положение точки P будет определяться несколько точнее, чем при измерении отдельных углов.

Измерение углов или направлений на определяемом пункте P производят оптическими теодолитами Т2, 2Т2 (или им равноточными) методами и числом приемов, указанными в задании III.1.

Вычислительную обработку результатов полевых измерений определения пункта методом обратной многократной засечки

осуществляют параметрическим способом (см. указания к примеру 1), производя уравнивание по углам, в случае измерения углов, или по направлениям, в случае измерения направлений.

Рассмотрим решение примеров, где и приведем необходимые формулы.

Пример 2. Определить координаты пункта P , полученного обратной многократной засечкой (рис. 96), и произвести оценку точности.

Координаты исходных пунктов и измеренные углы приведены в табл. 79.

Согласно теории параметрического способа уравнивания, выразим уравненные значения координат определяемого пункта

P (x и y) через приближенные значения x_0 и y_0 и поправки к ним δx и δy . Получим выражения вида (III.211).

Приближенные значения координат пункта P (x_0 и y_0) находят из решения однократной обратной засечки, а поправки к ним δx и δy определяют, производя уравнивательные вычисления.

а) Вычисление приближенных координат

из решения обратной однократной засечки. Для вычисления используют координаты трех исходных пунктов и два измеренных угла, наиболее благоприятных по величине. Возьмем пункты T_1 , T_2 , T_4 и углы β_1 и β_3 .

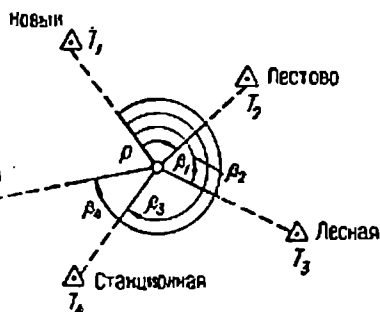


Рис. 96. Схема

Таблица 79

Исходные данные и измеренные величины

Исходные пункты	Координаты, м		Измеренные углы β
	x	y	
T_1 Новый	13 650,236	3 251,031	0° 00' 00,0"
T_2 Пестово	12 759,249	5 652,583	54 47 27,5
T_3 Лесная	10 254,930	7 661,397	144 36 03,8
T_4 Станционная	9 478,305	4 509,660	235 42 30,0
T_5 Совхозная	11 722,938	3 547,825	327 27 09,1

Вычисления располагают в табл. 80. По формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{(y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \beta_1 + (y_1 - y_3) \operatorname{ctg} \beta_2 + (x_3 - x_2)}{(x_2 - x_1) \operatorname{ctg} \beta_1 + (x_1 - x_3) \operatorname{ctg} \beta_2 - (y_3 - y_2)} \quad (\text{III.232})$$

Определение приближенных значений координат пункта P из решения обратной однократной засечки

Исходные пункты T_1 сипп. Новый
 T_2 ппр. Пестово
 T_3 ппр. Станционный

y_1 y_2 y_3 $y_2 - y_1$ $y_3 - y_2$ $y_3 - y_1$	+3251,031 +5652,583 +4509,660 +2401,552 -1142,923 -1258,829	x_1 x_2 x_3 $x_2 - x_1$ $x_3 - x_2$ $x_3 - x_1$	+13 650,236 +12 759,249 +9 478,305 -890,987 -3 280,944 +4 171,931	$(x_1 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_1$ $-(y_1 - y_3)$	+3 036,023 +1 258,629	$(x_1 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_3$ $-(y_1 - y_3)$	+1 420,823 +1 258,629
β_1 $\operatorname{ctg} \beta_1$ $(y_2 - y_1) \operatorname{ctg} \beta_1$ $(y_3 - y_2) \operatorname{ctg} \beta_2$ $+(x_3 - x_2)$	0,000 54° 47' 27,5" 0,705658 +1694,674 -858,314 -3280,944	β_2 $\operatorname{ctg} \beta_2$ $(x_2 - x_1) \operatorname{ctg} \beta_1$ $(x_3 - x_2) \operatorname{ctg} \beta_2$ $-(y_3 - y_2)$	0,000 235° 42' 30,0" 0,681941 -628,732 +2 845,011 +1 142,923	$x_0 - x_3$ y_3	+1 777,394 +1 638,042 +9 478,305	B $x_0 - x_1$ y_1	+2 749,452 -2 533,888 +13 650,236
$\operatorname{tg} \alpha_1$ $-\operatorname{tg} \alpha_3$	-2444,581 -0,727726 +0,357346	α_1 α_3	+3 359,202 323° 57' 20,0" 18 44 47,6	x_0 $(x_0 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_3$ y_0	+11 116,347 +585,348 +4 509,660	x_0 $(x_0 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_1$ y_1	+11 116,348 -1 843,976 +3 251,031
K	-1,085072	α_3	199 39 50,1	Контроль:			
				$y_2 - y_0$ $x_2 - x_0$	+557,575 +1 642,902	Окончательные значения:	
				$\operatorname{tg} \alpha_2$ α_2	+0,339384 18° 44' 47,3	α_1 α_2 α_3	323° 57' 20,0" 18 44 47,6 199 39 50,1

Вычислил *М. Т. Краев*

с учетом знаков числителя и знаменателя вычисляют тангенс дирекционного угла первого направления, по значению которого получают α_1 из таблиц тригонометрических функций. Контролем вычисления разностей абсцисс и ординат являются равенства

$$\left. \begin{aligned} (y_2 - y_1) + (y_3 - y_2) + (y_1 - y_3) &= 0; \\ (x_2 - x_1) + (x_3 - x_2) + (x_1 - x_3) &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.233})$$

Дирекционные углы второго и третьего направлений вычисляют по формулам

$$\alpha_2 = \alpha_1 + \beta_1, \quad (\text{III.234})$$

$$\alpha_3 = \alpha_1 + \beta_2. \quad (\text{III.235})$$

После этого из выражений

$$\left. \begin{aligned} x_0 - x_3 &= \frac{(x_1 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_1 - (y_1 - y_3)}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_3} = \frac{A}{K}; \\ x_0 - x_1 &= \frac{(x_1 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_3 - (y_1 - y_3)}{\operatorname{tg} \alpha_1 - \operatorname{tg} \alpha_3} = \frac{B}{K} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.236})$$

и

$$\left. \begin{aligned} y_0 - y_3 &= (x_0 - x_3) \operatorname{tg} \alpha_3; \\ y_0 - y_1 &= (x_0 - x_1) \operatorname{tg} \alpha_1 \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.237})$$

получают дважды координаты пункта P ; расхождение в значениях x_0 и y_0 не должны быть более 3 единиц последней значащей цифры.

Следует помнить в виду, что хотя абсциссы и ординаты по формулам (III.236) и (III.237) получают дважды, полного контроля решения задачи не будет. Можно, например, ошибиться при выписывании в табл. 80 измеренных углов β или их котангенсов, а дважды вычисленные координаты не будут различаться между собой.

Заключительный контроль решения состоит во вторичном получении дирекционного угла α_2 по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{y_2 - y_0}{x_2 - x_0}, \quad (\text{III.238})$$

который и принимается за окончательный. Угол α_2 , полученный по формуле (III.234), может отличаться от угла α_2 , полученного по формуле (III.238), на величину 180° и плюс или минус $0,3''$, так как знаки числителя и знаменателя в формуле (III.232) не определяют знаков $\sin \alpha_1$ и $\cos \alpha_1$. В этом случае значения α_1 и α_3 также должны быть изменены на 180° .

б) Уравнивание результатов измерений в обратной многократной засечке параметрическим способом (по измеренным углам). Перед вычислением составляют схему засечки по способу Болотова.

На листе бумаги строят координатную сетку и по координатам (например, в масштабе 1 : 50 000) наносят исходные триангуляционные пункты.

На восковке из точки, выбранной примерно в середине, проводят произвольное направление, от которого с помощью трапепортира откладывают измеренные углы $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ и протерчивают соответствующие направления. Восковку накладывают на координатную сетку с нанесенными исходными пунктами таким образом, чтобы каждое прочерченное на восковке направление прошло через соответствующий пункт. После этого точку P с восковки перекалывают на бумагу и по координатной сетке определяют ее координаты.

Координаты пункта P , полученные графически, используют для контроля, сравнивая их с полученными из решения однократной и многократной засечек. Расхождение в координатах не должно быть больше 0,2—0,3 мм $\times M$, где M — знаменатель численного масштаба.

Уравнительные вычисления ведут в следующей последовательности.

1. Составляют уравнения поправок, которые имеют вид

$$A_i \delta x + B_i \delta y + l_i = v_i; \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (\text{III.239})$$

Для вычисления коэффициентов A_i и B_i и свободных членов l_i этих уравнений необходимо иметь приближенные дирекционные углы $\alpha_{0,i}$ направлений с определяемого на данные пункты и соответствующие расстояния между ними $s_{0,i}$. Эти величины вычисляют в табличке I табл. 81 по формулам

$$\text{tg } \alpha_{0,i} = \frac{y_i - y_0}{x_i - x_0}, \quad (\text{III.240})$$

$$s_{0,i} = (y_i - y_0) \text{cosec } \alpha_{0,i} = (x_i - x_0) \sec \alpha_{0,i}. \quad (\text{III.241})$$

В формулах (III.240) и (III.241) x_0 и y_0 — приближенные координаты, полученные из решения обратной однократной засечки. Вычисления ведут с округлением до 0,1' и 0,001 м.

В табличке II получают свободные члены l_i уравнений поправок. Сначала по формуле

$$\beta_{0,i} = \alpha_{0,i+1} - \alpha_{0,i} \quad (\text{III.242})$$

вычисляют приближенные значения измеренных углов $\beta_{0,i}$, а затем по формуле

$$l_i = \beta_{0,i} - \beta_i \quad (\text{III.243})$$

свободные члены уравнений поправок. Величины свободных членов должны находиться в соответствии с точностью измерений.

Коэффициенты для уравнений поправок A_i и B_i вычисляют в левой части таблички III. Для этого по аргументам α_0 (округленным до 1') вычисляют по формулам (III.221) или выбирают

Уравнивание результатов измерений в обратной многократной засечке
параметрическим способом (по измеренным углам)
Вычисление дирекционных углов и расстояний

Пункт T_i P	y_i y	x_i x	$\text{tg } \alpha_i$ α_i	$\rho_i = \Delta y_i \operatorname{cosec} \alpha_i$	$\rho_i = \Delta x_i \sec \alpha_i$
	$y_i - y = \Delta y_i$	$x_i - x = \Delta x_i$			

I. По приближенным координатам x_0, y_0

Новый P	+3251,031 +5095,008	+13 650,236 +11 116,348	-0,727726		
	-1843,977	+2533,888	323° 57' 20,0"	3133,817	3133,824
Пестово P	+5652,583 +5095,008	+12 759,249 +11 116,348	+0,339284		
	+557,575	+1 642,901	18° 44' 47,3"	1734,934	1734,939
Лесная P	+7661,397 +5095,008	+10 254,930 +11 116,348	-2,97926		
	+2566,389	-861,418	108° 33' 16,2"	2707,101	2707,104
Станционная P	+4509,660 +5095,008	+9 478,305 +11 116,348	+0,357345		
	-585,348	-1 638,043	199° 39' 50,8"	1739,490	1739,487
Совхозная P	+3547,825 +5095,008	+11 722,938 +11 116,348	-2,550623		
	-1547,183	+606,590	291° 24' 29,7"	1661,844	1661,838

VII. По уравненным координатам x, y

Пункт T_i P	$\frac{v_i}{n}$ $v_i - y = \Delta v_i$	$\frac{x_i}{x}$ $x_i - x = \Delta x_i$	$\begin{matrix} \text{tg } \alpha_i \\ \alpha_i \end{matrix}$	$s_i = \Delta v_i \operatorname{cosec} \alpha_i$	$s_i = \Delta x_i \sec \alpha_i$
Новый P	+3251,031 +5095,017	+13 650,236 +11 116,384	-0,727740		
	-1843,986	+2 533,852	323° 57' 18,4"	3133,797	3133,797
Пестово P	+5652,583 +5095,017	+12 759,249 +11 116,384	+0,339386		
	+557,566	+1 642,865	18° 44' 47,7"	1734,900	1734,903
Лесная P	+7661,397 +5095,017	+10 254,930 +11 116,384	-2,979125		
	+2566,380	+361,454	108° 33' 19,2"	2707,105	2707,102
Стапцонная P	+4509,660 +5095,017	+9 478,305 +11 116,384	+0,357343		
	-385,357	-1 638,079	199° 39' 50,4"	1739,529	1739,526
Совхозная P	+3547,825 +5095,017	+11 722,938 +11 116,384	-2,550790		
	+1547,192	+606,554	291° 24' 25,2"	1661,840	1661,837

II. Вычисление свободных членов уравнений поправок

№	Данные пункты T_i Название	Приближенные дирекционные углы $\alpha_{0,i}$	Вычисленные углы (при- ближенные) $\beta_{0,i} =$ $= \alpha_{0,i+1} - \alpha_{0,i}$	Намеренные углы β_i	$\iota_i = \beta_{0,i} - \beta_i$	ι_i
1	Новый	323° 57' 20,0"				
2	Пестово	18 44 47,3	54° 47' 27,3"	54° 47' 27,5"	-0,2"	0,04
3	Лесная	108 33 16,2	144 35 56,2	144 36 03,8	-7,2	57,76
4	Стап- цон- ная	199 39 50,8	235 42 30,8	235 42 30,0	+0,8	0,64
5	Совхоз- ная	291 24 29,7	327 27 09,7	327 27 09,1	+0,6 [II]	0,36 =58 80

Продолжение табл. 81

III. Вычисление коэффициентов уравнений поправок и нормальных уравнений

№ пункта	α_n'	(a)	(b)	a, км	a	b	A	B	I
1	323°57'	+12.14	+16.68	3.13	-3.87	-5.32	+7.70	-5.96	-0.20
2	18 45	-6.62	+19.53	1.73	+3.83	-11.23	+11.09	+7.74	-7.60
3	108 33	-19.55	-0.56	2.71	+7.22	+2.42	-0.12	+16.49	+0.80
4	198 40	+6.94	-19.42	1.74	-3.99	+11.17	-7.69	+0.79	+0.60
5	291 24	+19.20	+7.52	1.66	-11.56	-4.53			
							+10.98	+19.06	-6.40

№ пункта	a	AA	AB	Al	As	BB	Bl	Bs
1	+1.54	+59.3	-45.9	-1.5	+11.9	+35.4	+1.2	-9.2
2	+11.23	+123.0	+85.8	-84.3	+124.4	+59.9	-58.8	+87.0
3	+17.17	0.0	-2.0	-0.1	-2.1	+272.0	+13.2	+283.1
4	-6.30	+59.1	-6.1	-4.6	+48.4	+0.6	+0.5	-5.0
	+23.64	+241.4	+31.9	-90.3	+182.6	+367.9	-43.9	+355.5

IV Решение нормальных уравнений

I. $[AA] \delta x + [AB] \delta y + [Al] = 0$,
 II. $[AB] \delta x + [BB] \delta y + [Bl] = 0$.

I. $+241.4\delta x + 31.9\delta y - 90.3 = 0$,
 II. $+31.9\delta x - 367.9\delta y - 43.9 = 0$.

$[AA]$ $[BB]$	+88841	$-[AB]$ $[Bl]$	$[AB]$ $[Al]$	$[AB]$ $[Al]$	$[AA]$ $[Bl]$	$\delta x = +0.362$	$P_x = 239$
$-[AB]$ $[AB]$	+1013	$[BB]$ $[Al]$	-33221	$[AA]$ $[Bl]$	-10598	$\delta y = +0.088$	$P_y = 385$
D	+87794	D_x	+31821	D_y	+7717		

V. Окончательные координаты пункта P.

$$x = x_0 + 0,18x = +1116,384, \quad y = y_0 + 0,18y = +5095,017.$$

VI. Вычисление поправок и уравниваемых углов β

№ пункта	Вычисление v			Уравненные (исправленные) углы $\beta_i = \beta_i + v_i$	Окончательные вычисленные дирекционные углы α_i	Уравненные (окончательно вычисленные) углы $\beta_i = \alpha_i - \alpha_1$	σ^2
	$A \delta x$	$B \delta y$	l	v			
1	+2,79	-0,52	-0,2	+2,07	323° 57' 18,4"	54° 47' 29,3"	4,41
2	+4,01	+0,68	-7,6	-2,92	18 44 47,7	144 36 00,8	8,40
3	-0,04	+1,45	+0,8	+2,21	108 33 19,2	235 42 32,0	4,84
4	-2,78	+0,07	+0,6	-2,11	199 39 50,4	327 27 06,8	4,41
5					291 24 25,2	[σ^2]	=22,1

VIII. Контроль вычисления поправок

[II]	[AI] δx	[BI] δy	[σ]
+58,80	-32,69	-3,86	+22,2

IX. Оценка точности

$$m_p = \sqrt{\frac{22,1}{2}} = 3,3'';$$

$$m_x = \frac{3,3}{10 \sqrt{239}} = 0,021 \text{ м};$$

$$m_y = \frac{3,3}{10 \sqrt{385}} = 0,017 \text{ м}.$$

Вычислял И. Т. Краев

из таблиц (прил. 7) величины $(a)_i$ и $(b)_i$ (см. пример 1), затем по формулам

$$\left. \begin{aligned} a_i &= -\frac{(a)_i}{s_{0,i}}; \\ b_i &= -\frac{(b)_i}{s_{0,i}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.244})$$

вычисляют величины a_i и b_i , а по последним из выражений

$$\left. \begin{aligned} A_i &= a_{i+1} - a_i; \\ B_i &= b_{i+1} - b_i \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.245})$$

получают коэффициенты уравнений поправок. Здесь же вычисляют контрольные суммы

$$s_i = A_i + B_i + l_i \quad (\text{III.246})$$

и составляют контрольные равенства по столбцу

$$[s] = s_1 + s_2 + s_3 + s_4 = 23,64$$

и по строке

$$[s] = [A] + [B] + [l] = 23,64.$$

2. Составляют и решают нормальные уравнения. Два нормальных уравнения при уравнивании обратной многократной засечки имеют вид

$$\left. \begin{aligned} [AA] \delta x + [AB] \delta y + [Al] &= 0; \\ [AB] \delta x + [BB] \delta y + [Bl] &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.247})$$

Коэффициенты и свободные члены нормальных уравнений вычисляют в правой части таблички III, контролируя их с помощью равенств

$$\left. \begin{aligned} A_1 s_1 + A_2 s_2 + A_3 s_3 + A_4 s_4 &= [As]; \\ [AA] + [AB] + [Al] &= [As] \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.248})$$

и

$$\left. \begin{aligned} B_1 s_1 + B_2 s_2 + B_3 s_3 + B_4 s_4 &= [Bs]; \\ [AB] + [BB] + [Bl] &= [Bs]. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.249})$$

В табличке IV решают нормальные уравнения по методу определителей (детерминантов). Из выражений

$$\left. \begin{aligned} \delta x &= \frac{[Bl][AB] - [Al][BB]}{[AA][BB] - [AB][AB]} = \frac{D_x}{D}; \\ \delta y &= \frac{[Al][AB] - [Bl][AA]}{[AA][BB] - [AB][AB]} = \frac{D_y}{D} \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.250})$$

находят (с округлением до 0,01 м) поправки δx и δy к приближенным координатам x_0 и y_0 , а из выражений

$$P_x = \frac{D}{[BB]}; \quad P_y = \frac{D}{[AA]} \quad (\text{III.251})$$

веса уравненных координат; последние будут иметь размерность секунда²/дм². Правильность решения контролируется подстановкой полученных значений δx и δy в нормальные уравнения.

3. Вычисляют уравненные значения координат и углов. Поправки δx и δy (с учетом размерности) прибавляют к приближенным значениям x_0 и y_0 и получают окончательные (уравненные) координаты пункта P .

В табличке VI вычисляют по (III.239) поправки к измеренным значениям углов с округлением до $0,01''$ и контролируют их вторичным получением суммы $[vv]$ по формуле

$$[vv] = [Al]\delta x + [Bl]\delta y + [ll] \quad (\text{III.252})$$

в табличке VIII. Расхождение допускается в пределах 2% от величины $[vv]$.

Уравненные (исправленные) углы получают путем прибавления поправки v_i к измеренным значениям β'_i

$$\beta_i = \beta'_i + v_i. \quad (\text{III.253})$$

4. Производят заключительный контроль решения всей задачи, который состоит во вторичном получении уравненных (окончательных) измеренных углов β_i по формуле

$$\beta_i = \alpha_{i+1} - \alpha_1. \quad (\text{III.254})$$

Окончательные значения дирекционных углов α_i для вычислений по формуле (III.254) получают по уравненным координатам x и y в табличке VII. Вычисляют их по формуле (III.240), контролируя вычислением расстояний s по формулам (III.241). При этом в формулах (III.240) и (III.241) x_0 и y_0 следует заменить на x и y .

Расхождения в величинах β_i , полученных по формулам (III.253) и (III.254), допускаются не более $\pm 0,3''$.

5. Производят оценку точности полевых измерений, которая состоит в вычислении средней квадратической погрешности измеренного угла m_β ,

$$m_\beta = \sqrt{\frac{[vv]}{n-2}}, \quad (\text{III.255})$$

где n — число углов.

Оценка точности уравненных значений координат производится по формулам

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \frac{m_\beta}{10 \sqrt{P_x}}; \\ m_y &= \frac{m_\beta}{10 \sqrt{P_y}}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.256})$$

Относительно размерности величин m_x и m_y см. пояснения к формулам (III.231).

Пример 3. По известным координатам пяти исходных пунктов и измеренным направлениям r_1, r_2, r_3, r_4 и r_5 (рис. 97), приведенным в табл. 82, получить координаты пункта P и оценить их точность.

а) Вычисление приближенных координат из решения обратной однократной засечки. Для вычисления используют координаты трех исходных пунктов и два, наиболее благоприятных по величине, угла, вычисленных по направлениям. Пояснения к решению

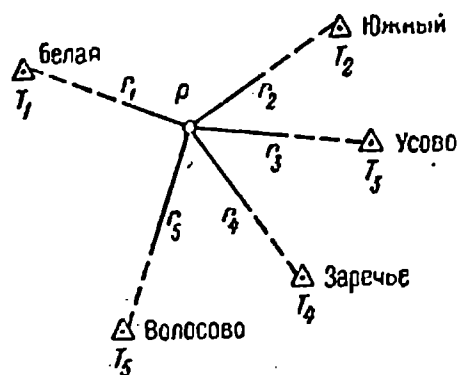


Рис. 97

обратной однократной засечки приведены в примере 2; для данного примера это решение не приводится. Приближенные значения координат пункта P , полученные из решения, оказались следующие: $x_0 = 4520,686$ м и $y_0 = 4053,230$ м.

б) Уравнивание результатов измерений в обратной многократной засечке параметрическим спосо-

бом (по измеренным направлениям). Перед вычислением составляют схему засечки по способу Болотова (см. пояснения к примеру 2).

Уравнительные вычисления ведут в строго определенной последовательности (табл. 83).

1. Составляют приведенные уравнения поправок. Уравнения поправок при уравнивании обратной многократной засечки по направлениям имеют вид

$$a_i \delta x + b_i \delta y + \delta z + l_i = v_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (\text{III.257})$$

где δz — поправка к приближенному значению дирекционного угла направления нулевого радиуса лямба z_0 .

Исходные данные и измеренные величины

Таблица 82

Исходные пункты	Координаты, м		Измеренные направления
	x	y	
T_1 Белая	4688,312	3564,988	0° 0' 02,0"
T_2 Южный	5435,012	5688,312	131 50 19,0
T_3 Усово	4121,410	6586,912	170 00 24,5
T_4 Заречье	2550,314	5656,844	211 54 42,0
T_5 Волосово	3101,400	3686,398	265 32 42,3

Эти уравнения, согласно теории приводятся к такому же виду, какой имеют уравнения поправок при уравнивании по углам, после исключения из них неизвестного δz . В этом случае уравнения поправок в виде (III.239) называются приведенными или редуцированными.

Коэффициенты приведенных уравнений поправок получают из выражений

$$\left. \begin{aligned} A_i &= a_i - \frac{[a]}{n}; \\ B_i &= b_i - \frac{[b]}{n}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.258})$$

где a_i и b_i — величины, вычисляемые по формулам (III.244); n — число направлений.

Свободные члены приведенных уравнений поправок вычисляют по формулам

$$l_i = \alpha_{0,i} - r'_i - z_0, \quad (\text{III.259})$$

где

$$z_0 = \frac{[\alpha_0 - r']}{n}. \quad (\text{III.260})$$

Здесь $\alpha_{0,i}$ — приближенный дирекционный угол направления с определяемой точки на исходную;

r'_i — измеренное направление;

z_0 — приближенный дирекционный угол направления нулевого радиуса лимба;

n — число направлений.

Вычисления располагают на листах, разграфленных в форме, аналогичной табл. 81.

В табличке I (см. табл. 81) по формулам (III.240) и (III.241) получают приближенные дирекционные углы направления $\alpha_{0,i}$ с определяемого пункта на исходные с округлением до 0,1" и соответствующие расстояния до 0,001 м (для данного примера это вычисление не приведено).

В табличке II по формуле (III.260) находят приближенное значение дирекционного угла направления нулевого радиуса лимба z_0 и по формуле (III.259) получают свободные члены приведенных уравнений поправок. Контролем вычисления служит равенство $[l] = 0$.

В левой части таблички III вычисляют коэффициенты A_i и B_i приведенных уравнений поправок (III.258). Для этого по аргументам α_0 (округленным до 1') вычисляют по формулам (III.221) или выбирают из таблиц (прил. 7) величины $(a)_i$ и $(b)_i$ (см. пример 1) и по формулам (III.244) вычисляют величины a_i и b_i . Из выражений (III.258) получают коэффициенты приведенных уравнений поправок. Значения $\frac{[a]}{n}$ и $\frac{[b]}{n}$ записывают в графах для величин a и b внизу под чертой. Здесь же вычисляют суммы по формуле (III.246).

Таблица 83
Уравнивание результатов измерений в обратной многократной засечке параметрическим способом
(по измеренным направлениям)

II. Вычисление свободных членов приведенных уравнений поправок

Исходные пункты T_i		Приближенные дирекционные углы α_0, l	Измеренные направления r'_i	$\alpha_0, l - r'_i$	$l_i = \alpha_0, l - r'_i - z_0$	$l_i \quad l_i$
№	Название					
1	Белая	288° 56' 55,0"	0° 0' 02,0"	288° 56' 53,0"	+1,3"	1,69
2	Южный	60 47 11,0	131 50 19,0	288 56 52,0	+0,3	0,09
3	Усово	98 57 19,8	170 00 24,5	288 56 55,1	+3,4	11,56
4	Зарочье	140 51 32,8	211 54 42,0	288 56 50,8	-0,9	0,81
5	Волосово	194 39 30,0	265 32 42,3	288 56 47,7	-4,0	16,00
				$z_0 = 288 \quad 56 \quad 51,7$	+0,1	30,15

III. Вычисление коэффициентов приведенных уравнений поправок в нормальных уравнений

№ п/п	α_0	(a)	(b)	s, км	α	b	A	B	l	s	AA	AB	Al	As	BB	Bl	Bs
1	288° 57'	+19,51	+6,70	0,516	-37,81	-12,99	-34,08	-13,55	+1,3	-46,33	1161	+462	-44	+1579	184	-18	+628
2	60 47	-18,00	+10,07	1,873	+9,61	-5,38	+13,34	-5,94	+0,3	+7,70	178	-79	+4	+103	35	-2	-46
3	98 57	-20,37	-3,21	2,565	+7,95	+1,25	+11,68	+0,69	+3,4	+15,77	136	+8	+40	+184	0	+2	+11
4	140 52	-13,02	-16,00	2,540	+5,13	+6,30	+8,86	+5,74	-0,9	+13,70	78	+51	-8	+121	33	-5	+79
5	194 29	+5,16	-19,97	1,466	-3,52	+13,62	+0,21	+13,06	-4,0	+9,27	0	+3	-1	+2	171	-52	+121
					-3,73	+0,56	+0,01	0,0	+0,1	+0,41	1553	+445	-9	+1989	423	-75	+793

V. Окончательные координаты пункта P:
 $x = 4520,686 - 0,1 \cdot 0,08 = 4520,680$; $y = 4053,230 + 0,1 \cdot 0,24 = 4053,254$

VI. Вычисление поправок v в уравненных направлений r

№ пункта	Вычисление v			Уравненные (исправленные) направления $r_i = r'_i + v_i$	Окончательно вычисленные дирекционные углы α_i	$\alpha_i - r_i$	Уравненные (окончательно вычисленные) направления $r_i = \alpha_i - z$	v_i
	$\Delta \delta x$	$\Delta \delta y$	l					
1	+2,18	-3,30	+1,3	0° 0' 02,2"	288° 56' 54,4"	288° 56' 52,2"	0° 00' 02,2"	0,03
2	-0,85	-1,45	+0,3	131 50 17,0	60 47 09,3	288 56 52,3	131 50 17,1	4,00
3	-0,75	+0,17	+3,4	170 00 27,3	98 57 19,4	288 56 52,1	170 00 27,2	7,95
4	-0,57	+1,41	-0,9	211 54 41,9	140 51 34,1	288 56 52,2	211 54 41,9	0,00
5	-0,01	+3,20	-4,0	265 32 41,5	194 29 33,5	288 56 52,0	265 32 41,3	0,66
				$z = 288^\circ 56' 52,2''$				12,64

VIII. Контроль вычисления поправок

[u]	[A] δx	[B] δy	[v]
+30,15	+0,58	-18,38	+12,85

IX. Оценка точности

$$m_{\text{углр}} = \sqrt{\frac{12,64}{5-3}} = 2,0'';$$

$$m_x = \frac{2,04}{10 \sqrt{1084}} = 0,006 \text{ м};$$

$$m_y = \frac{2,04}{10 \sqrt{295}} = 0,012 \text{ м}.$$

Контролем вычисления коэффициентов A , B и величин s являются равенства $[A] = 0$; $[B] = 0$; $[s] = 0$.

2. Составляют и решают нормальные уравнения. Нормальные уравнения при уравнивании обратной многократной засечки по направлениям имеют такой же вид, какой и при уравнивании по углам (см. пример 2).

Решение их производят так же, как это указано в примере 2.

3. Вычисляют уравненные значения координат и направлений. Уравненные (окончательные) координаты x и y получают по формуле (III.241).

В табличке VI вычисляют по формуле (III.239) поправки к измеренным значениям направлений с округлением до $0,01''$ и контролируют их вторичным получением суммы $[v^2]$ по формуле (III.252) в табличке VIII. Расхождение допускается в пределах 2% от величины $[v^2]$.

Уравненные направления получают путем прибавления поправок v_i к измеренным значениям r'_i

$$r_i = r'_i + v_i. \quad (\text{III.261})$$

4. Производят заключительный контроль решения всей задачи, который состоит во вторичном получении уравненных (окончательных) направлений r_i по формуле

$$r_i = \alpha_i - z, \quad (\text{III.262})$$

где

$$z = \frac{[\alpha - r]}{n}. \quad (\text{III.263})$$

Здесь α_i — окончательное значение дирекционного угла направления с определяемой на данную точку;

z — окончательное значение дирекционного угла направления нулевого радиуса лимба;

n — число направлений.

Значения $\text{tg } \alpha_i$ получают по формуле (III.240), а s_i по (III.241). Вычисления выполняют аналогично приведенным в примере 2 (см. табличку VII табл. 81).

Расхождения в величинах r_i , полученных по формулам (III.261) и (III.262), допускаются не более $\pm 0,3''$.

5. Производят оценку точности. Среднюю квадратическую погрешность измеренного направления вычисляют по формуле

$$m_r = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-3}}, \quad (\text{III.264})$$

где n — число направлений.

Средние квадратические погрешности координат получают по формулам

$$\left. \begin{aligned} m_x &= \frac{m_r}{10 \sqrt{P_x}}; \\ m_y &= \frac{m_r}{10 \sqrt{P_y}}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.265})$$

Относительно размерности величин m_x и m_y см. пояснения к формулам (III.231).

3. Определение координат двух пунктов по двум данным (задача Ганзена). Для определения положения пунктов P и Q (рис. 98) относительно имеющихся пунктов триангуляции или полигонометрии высшего класса T_1 и T_2 необходимо на определяемых пунктах произвести измерения углов $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ и β_4 . В целях контроля необходимо иметь еще пункт T_3 и измерить угол β_5 .

Для обеспечения необходимой точности нахождения координат искомых точек углы во всех четырех треугольниках не должны быть очень острыми, в соответствии с чем наимыгоднейшим вариантом будет тот, при котором фигура, образованная двумя данными и двумя искомыми точками, будет близка к квадрату.

Измерения углов на определяемых пунктах выполняют оптическим теодолитом Т2 (или ему равноточными) методами и числом приемов, указанным в задании III.1.

Для вычисления координат точек, определенных задачей Ганзена, предложено много формул. Наиболее удобные и позволяющие, кроме того, производить контроль, предложены С. А. Коробковым.

Решение задачи начинают с вычисления дирекционного угла (PQ) по формуле

$$\text{tg}(PQ) = \frac{(y_2 - y_1) K_1 + (x_2 - x_1) K_2}{(x_2 - x_1) K_1 - (y_2 - y_1) K_2} = \frac{m}{n}, \quad (\text{III.266})$$

где x_1, y_1 и x_2, y_2 — координаты исходных пунктов T_1 и T_2 .
 K_1 и K_2 — величины, вычисляемые по формулам

$$K_1 = \text{ctg } \beta_2 \text{ ctg } \beta_3 - \text{ctg } \beta_1 \text{ ctg } \beta_4, \quad (\text{III.267})$$

$$K_2 = (\text{ctg } \beta_4 - \text{ctg } \beta_3) - (\text{ctg } \beta_2 - \text{ctg } \beta_1). \quad (\text{III.268})$$

Здесь $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ — углы, измеренные при определяемых точках P и Q .

Затем вычисляют координаты точек P и Q способом прямой однократной засечки по формулам Ф. Гаусса (III.212)–(III.215).

Пример 4. Определить координаты пунктов P и Q по координатам T_1 и T_2 (см. рис. 98). Исходные данные и измеренные величины приведены в табл. 84.

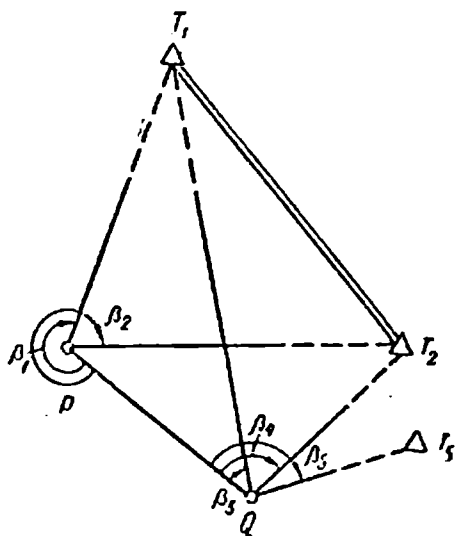


Рис. 98. Определение координат двух пунктов по двум данным

Исходные данные и измеренные величины

Название пункта	Координаты, м		Угол	Измеренное значение углов
	x	y		
T_1	5147,413	5281,093	β_1	255° 16' 33,0"
T_2	3143,517	7341,543	β_2	323 17 19,0
T_3	2352,116	7900,225	β_3	43 14 15,0
			β_4	100 52 16,0
			β_5	134 24 45,0

Вычисления производят в следующем порядке.

1. Вычисляют в табл. 85 в табличке I (порядок действия в которой обозначен цифрами) дирекционный угол стороны PQ по формуле (III.266) с определением величин K_1 и K_2 по формулам (III.267) и (III.268). Для этого сначала в строки 1 и 2 выписывают координаты пунктов T_1 и T_2 , а в строки 5—8 — измеренные углы β_1 , β_2 , β_3 и β_4 . А далее производят действия, указанные числами 9—22; результаты вычислений записывают в соответствующие строки. Дирекционный угол (PQ) получают с округлением до 0,1".

Контролируют вычисление дирекционного угла (PQ) получением величины разности дирекционных углов φ по формулам

$$\varphi = (T_1 T_2) - (PQ) \quad (\text{III.269})$$

и

$$\operatorname{tg} \varphi = -\frac{K_2}{K_1}. \quad (\text{III.270})$$

Дирекционный угол ($T_1 T_2$) определяют из решения обратной геодезической задачи по координатам пунктов T_1 и T_2

$$\operatorname{tg} (T_1 T_2) = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}. \quad (\text{III.271})$$

затем подставляют его в формулу (III.269).

Расхождение в величинах φ , полученных по формулам (III.269) и (III.270), не должны выходить за пределы ошибок округлений (не более 0,3").

2. В табличке II производят вычисление дирекционных углов (PT_1), (PT_2) и (QT_1), (QT_2) по формуле

$$\alpha_{\text{опр}} = \alpha_{\text{вск}} + \beta_i \quad (\text{III.272})$$

I. Вычисление дирекционного угла (PQ)

T_1	1	x_1	5147.413	5	β_1	255° 16' 33.0"	1	y_1	5281.093
T_2	2	x_2	3143.517	6	β_2	323 17 19.0	2	y_2	7341.543
	3	$x_3 - x_1$	-2003.896	7	β_3	43 14 15.0	4	$y_2 - y_1$	2060.450
	16	$\text{ctg } \beta_1 \text{ ctg } \beta_4$	-0.050469	9	$\text{ctg } \beta_1$	+0.262796	13	$\text{ctg } \beta_3 - \text{ctg } \beta_1$	-1.603842
	17	$\text{ctg } \beta_2 \text{ ctg } \beta_3$	-1.426197	10	$\text{ctg } \beta_2$	-1.341046	14	$\text{ctg } \beta_4 - \text{ctg } \beta_3$	-1.255543
	18	K_1	-1.375728	11	$\text{ctg } \beta_3$	+1.063496	15	K_2	+0.348299
	20	m	-3532.573	12	$\text{ctg } \beta_4$	-0.192047	19	n	+2039.163
				21	$\text{tg } (PQ) = \frac{m}{n}$	-1.732364			
				22	(PQ)	119° 59' 43.8"			

Контроль

23	$\text{tg } (T_1 T_2)$	-1.028222	25	$(T_1 T_2) - (PQ)$	14° 12' 26.1"
24	$(T_1 T_2)$	134° 12' 09.9"	26	$\text{tg } \varphi = -\frac{K_2}{K_1}$	+ 0.253174
			27	φ	14° 12' 26.2"

II. Вычисление дирекционных углов (PT_1) , (PT_2) , (QT_1) , (QT_2)

(PQ) β_1	119° 59' 43.8" 255 16 33.0	(PQ) β_3	119° 59' 43.8" 323 17 19.0
(PT_1)	15 16 16.8	(PT_2)	83 17 02.8
(QP) β_3	299 59 43.8 43 14 15.0	(QP) β_4	299 59 43.8 100 52 16.0
(QT_1)	343 13 58.8	(QT_2)	40 51 59.8

III. Определение координат пункта P из решения прямой однократной засечки

y_2	7341.543	(T_1P)	195° 16' 16.8"	$y_2 - y_1$	+ 2060.450
y_1	5281.093	(T_2P)	263 17 02.8	$-(x_2 - x_1) \operatorname{tg}(T_2P)$	+ 17017.628
$y_2 - y_1$	+2060.450	$\operatorname{tg}(T_1P)$	+ 273031	A	+ 19078.078
x_2	3143.517	$-\operatorname{tg}(T_2P)$	+ 8.492271	$x_P - x_1$	+ 2321.147
x_1	5147.413	$K = \operatorname{tg}(T_1P) - \operatorname{tg}(T_2P)$	- 8.219240	x_1	+ 5147.413
$x_2 - x_1$	-2003.896			x_P	+ 2826.264
				$(x_P - x_1) \operatorname{tg}(T_1P)$	- 633.744
				y_1	+ 5281.093
				y_P	+ 4647.348

IV. Определение координат пункта Q из решения прямой однократной засечки

y_2	7341,543	$(T_1 Q)$	163° 13' 58,8"	$y_2 - y_1$	+ 2060,450
y_1	5281,093	$(T_2 Q)$	220 51 59,8	$-(x_2 - x_1) \operatorname{tg}(T_2 Q)$	+ 1733,785
$y_2 - y_1$	+ 2060,450	$\operatorname{tg}(T_1 Q)$	- 0,301289	A	+ 3794,235
x_2	3143,517	$-\operatorname{tg}(T_2 Q)$	+ 0,865207	$x_Q - x_1$	- 3252,677
x_1	5147,413	$K = \operatorname{tg}(T_1 Q) - \operatorname{tg}(T_2 Q)$	- 1,166496	x_1	+ 5147,413
$x_2 - x_1$	- 2003,896			x_Q	+ 1894,736
				$(x_Q - x_1) \operatorname{tg}(T_1 Q)$	+ 970,996
				y_1	+ 5281,093
				y_Q	+ 6261,089

К о н т р о л ь

$$\operatorname{tg}(PQ) = \frac{+ 1613,741}{- 931,528} = - 1,732362$$

V. Заключительный контроль

Обозначения	T_1	T_2	Обозначения	T_1	T_2
y_1	5281,093	7900,225	$x_1 - x_Q$	+ 3252,677	+ 457,380
y_Q	6261,091	6261,091	$\operatorname{tg}(QT_1)$	- 0,301290	+ 3,583746
			(QT_1)	343° 13' 59"	72° 24' 32"
$y_1 - y_Q$	- 979,998	+ 1639,134	$\beta_2 - \beta_3$	91 10 50	QT_3
x_1	5147,413	2352,116		74° 24' 20"	
x_Q	1894,736	1894,736		(QT_3)	
				Вычисляла Н. А. Брошкина	

согласно которой, а также с учетом схематического чертежа (см. рис. 98), искомые дирекционные углы будут равны

$$\left. \begin{aligned} (PT_1) &= (PQ) + \beta_1; \\ (PT_2) &= (PQ) + \beta_2, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.273})$$

$$\left. \begin{aligned} (QT_1) &= (QP) + \beta_3; \\ (QT_2) &= (QP) + \beta_4. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.274})$$

3. В табличках III и IV определяют способом прямой однократной засечки по формулам Ф. Гаусса по исходным пунктам T_1, T_2 и дирекционным углам, вычисленным по (III.273) и (III.274), пункты P и Q .

Формулы (III.212)—(III.215) применительно к данной задаче примут вид

$$\left. \begin{aligned} x_P - x_1 &= \frac{(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \operatorname{tg}(T_2P)}{\operatorname{tg}(T_1P) - \operatorname{tg}(T_2P)} = \frac{A}{K}; \\ y_P - y_1 &= (x_P - x_1) \operatorname{tg}(T_1P); \\ x_P &= x_1 + (x_P - x_1); \\ y_P &= y_1 + (y_P - y_1), \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.275})$$

$$\left. \begin{aligned} x_Q - x_1 &= \frac{(y_2 - y_1) - (x_2 - x_1) \operatorname{tg}(T_2Q)}{\operatorname{tg}(T_1Q) - \operatorname{tg}(T_2Q)} = \frac{A}{K}; \\ y_Q - y_1 &= (x_Q - x_1) \operatorname{tg}(T_1Q); \\ x_Q &= x_1 + (x_Q - x_1); \\ y_Q &= y_1 + (y_Q - y_1). \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.276})$$

Контроль вычислений координат точек P и Q состоит во вторичном получении величины $\operatorname{tg}(PQ)$ по формуле

$$\operatorname{tg}(PQ) = \frac{y_Q - y_P}{x_Q - x_P}, \quad (\text{III.277})$$

которую сравнивают с ее величиной, полученной по формуле (III.266). Расхождение не должно быть более трех единиц в шестой значащей цифре.

4. Производят заключительный контроль (табличка V, табл. 85) решения задачи, который состоит в вычислении дирекционного угла (QT_3) дважды по формулам

$$(QT_3) = (QT_1) + (\beta_5 - \beta_3), \quad (\text{III.278})$$

$$\operatorname{tg}(QT_3) = \frac{y_3 - y_Q}{x_3 - x_Q}. \quad (\text{III.279})$$

Дирекционный угол направления (QT_1) получают из решения обратной геодезической задачи по координатам пунктов T_1 и Q

$$\operatorname{tg}(QT_1) = \frac{y_1 - y_Q}{x_1 - x_Q} \quad (\text{III.280})$$

и подставляют его значение в формулу (III.278).

Эти вычисления выполняют в табличке V. Дирекционный угол (QT_3) вычисляют с округлением до $1''$; расхождения в значениях дирекционного угла (QT_3) должны находиться в пределах точности вычислений и измерений.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Задание выполняет каждый студент; координаты пункта получают методом, указанным преподавателем.

ЗАДАНИЕ III.10 УРАВНИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ ХОДАХ

I. Задача: произвести уравнивание по методу наименьших квадратов результатов полевых измерений, полученных при проложении полигонометрического хода и вычислять координаты его вершин; произвести оценку точности уравненных элементов хода.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962; § 124—126.

Большаков В. Д., Гайдаев П. А. Теория математической обработки геодезических измерений. М., «Недра», 1977, § 58, 62, 63, 68.

III. Пособия и принадлежности: настольная электронная клавишная вычислительная машина или арифмометр, счеты, логарифмическая линейка, шестизначные таблицы тригонометрических функций, транспортир, масштабная линейка, измеритель, бланки для вычислений, плотная бумага, чертежные принадлежности, тушь, карандаш, ручка.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) уравнивание полигонометрического хода любой формы коррелятным способом;
- 2) уравнивание полигонометрического хода любой формы двухгрупповым способом;
- 3) уравнивание полигонометрического хода вытянутой формы трехгрупповым способом.

При проложении полигонометрических ходов производят измерения не только необходимых для вычисления координат пунктов, но и некоторое число избыточных величин, находящихся в определенных математических соотношениях с величинами, необходимыми для вычисления данного хода.

Наличие избыточных измерений, как уже указывалось в главе II (задании II.4), приводит к необходимости производить уравнивание измеренных величин.

Уравнивание полигонометрических ходов производят по правилам метода наименьших квадратов и делят на:

1) строгие методы уравнивания, когда поправки находят под условием

$$[p_{\beta}v_{\beta}^2] + [p_s v_s^2] = \min; \quad (\text{III.281})$$

2) нестрогие методы (раздельные), когда поправки к измеренным углам и приращениям координат находят раздельно, пренебрегая их взаимной зависимостью (например, распределяя невязки f_x и f_y прямо пропорционально длинам сторон; см. задание III.8).

Выбор того или иного метода уравнивания определяется строгостью требований, предъявляемых к окончательным значениям координат.

Строгое уравнивание по методу наименьших квадратов можно производить или параметрическим, или коррелятным способами, или их комбинациями. Выбор способа уравнивания зависит от количества вычислительной работы, которая в большей степени зависит от числа нормальных уравнений, подлежащих решению.

При уравнивании полигонометрических ходов с использованием настольных вычислительных машин применяют коррелятный способ, предпочитая его параметрическому, ввиду того что число нормальных уравнений при коррелятном способе намного меньше. Однако количество вычислительной работы и в этом способе остается значительным. Поэтому целесообразно использовать все возможные упрощения, вытекающие как из самого способа (применение двухгруппового, трехгруппового способа уравнивания), так и из особенностей данного хода: его прямолинейности, примерного равенства сторон, того или иного соотношения между точностью угловых и линейных измерений и т. п.

1. Уравнивание полигонометрического хода любой формы коррелятным способом. Уравнивание начинают с подсчета числа условий, возникающих в ходе, которое определяют по формуле

$$r = n' - k, \quad (\text{III.282})$$

где n' — число всех измерений;

k — число неизвестных (число необходимых измерений).

Число всех измерений в полигонометрическом ходе равно сумме n сторон и $n + 1$ углов, т. е. $n' = 2n + 1$. Число неизвестных координат k равно числу всех вершин хода без двух опорных, имеющих координаты, умноженному на два (каждая вершина имеет абсциссу x и ординату y)

$$k = (n + 1 - 2) \cdot 2 = 2n - 2.$$

Тогда, согласно формуле (III.282),

$$r = 2n + 1 - 2n + 2 = 3.$$

Следовательно, число условий в полигонометрическом ходе не зависит от числа пунктов и всегда равно трем.

По числу условий составляют три условных уравнения: одно угловое (или азимутальное) и два координатных, которые имеют вид

$$[v_\beta] + f_\beta = 0. \quad (\text{III.283})$$

$$[v_s \cos \alpha] - \frac{1}{\rho} [v_\beta (y_{n+1} - y)] + f'_x = 0, \quad (\text{III.284})$$

$$[v_s \sin \alpha] + \frac{1}{\rho} [v_\beta (x_{n+1} - x)] + f'_y = 0. \quad (\text{III.285})$$

В них v_β , v_s — поправки в измеренные углы и линии;
 f'_x , f'_y — невязки в суммах приращений абсцисс и ординат при вычислении хода без предварительного уравнивания углов;
 $x_{n+1} - x_i$, $y_{n+1} - y_i$ — разности абсцисс и ординат точек хода конечной и с номером i , где $i = 1, 2, \dots$

Наиболее надежное значение поправок v_β и v_s получают из решения задачи под условием (III.281).

Вес измеренного угла и линии определяют по формулам

$$p_{\beta_i} = \frac{C}{m_{\beta_i}^2}, \quad (\text{III.286})$$

$$p_{s_i} = \frac{C}{m_{s_i}^2}, \quad (\text{III.287})$$

где C — постоянная величина, выбираемая вычислителем с таким расчетом, чтобы придать формулам (III.286) и (III.287) удобный для вычислений вид.

При измерении линий топографическими (малыми) светодальномерами величину C принимают равной m_β^2 , тогда

$$p_\beta = 1, \quad (\text{III.288})$$

$$p_{s_i} = \frac{m_\beta^2}{m_{s_i}^2}. \quad (\text{III.289})$$

В случае, если линии в ходе измерялись светодальномерами типа СТ или СМ-3, а уклоны линий от их средней величины не превосходило пределов, указанных в табл. 65 (см. задание III.7), веса линий можно принять практически одинаковыми, т. е.

$$p_{s_i} = p_s = \frac{m_\beta^2}{m_{s_{cp}}^2} = \text{const.} \quad (\text{III.290})$$

При измерении линий мерными проволоками величину C принимают равной μ^2 , тогда

$$p_{\beta} = \frac{\mu^2}{m_{\beta}^2} = P = \text{const}, \quad (\text{III.291})$$

$$p_{s_l} = \frac{1}{s_l}. \quad (\text{III.292})$$

Здесь μ — коэффициент случайного влияния.

При измерении линий параллактическим методом вес стороны определяют по формуле

$$p_{s_l} = \frac{C \varphi_l^2}{m_{\varphi}^2 s_l^2}, \quad (\text{III.293})$$

где φ — величина параллактического угла;

m_{φ} — средняя квадратическая погрешность параллактического угла.

Приняв $C = m_{\varphi}^2$, получим

$$p_{\beta} = \frac{m_{\varphi}^2}{m_{\beta}^2} = p = \text{const}, \quad (\text{III.294})$$

$$p_{s_l} = \frac{\varphi_l^2}{s_l^2}. \quad (\text{III.295})$$

Если учесть, что величина параллактического угла колеблется в довольно узких пределах, то отношение $\frac{m_{\varphi}}{\varphi}$ можно будет считать постоянным. Обозначив $\frac{m_{\varphi}}{\varphi} = v$ и приняв $C = v^2$, получают формулы для вычисления весов углов и линий в виде

$$p_{\beta} = \frac{v^2}{m_{\beta}^2} = p = \text{const}, \quad (\text{III.296})$$

$$p_{s_l} = \frac{1}{s_l^2}. \quad (\text{III.297})$$

По условным уравнениям (III.283)—(III.285) составляют таблицу коэффициентов условных уравнений (табл. 86). В графу 1 этой таблицы выписывают $n + 1$ — поправок в углы и n — поправок в линии; в графу 2 — обратные веса измеренных углов и линий $q_{\beta} = \frac{1}{p_{\beta}}$ и $q_s = \frac{1}{p_s}$, которые вычисляют в соответствии с формулами для весов, указанными выше; в графы 3, 4 и 5 — коэффициенты условных уравнений при поправках, которые обозначают в первом уравнении через a_i , во втором — через b_i , в третьем — через c_i .

Далее в этой же таблице по коэффициентам условных уравнений составляют таблицу коэффициентов нормальных уравнений коррелат, общий вид которых представим как

$$\left. \begin{aligned} [qaa]k_1 + [qab]k_2 + [qac]k_3 + f_p &= 0; \\ [qab]k_1 + [qbb]k_2 + [qbc]k_3 + f'_x &= 0; \\ [qac]k_1 + [qbc]k_2 + [qcc]k_3 + f'_y &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.298})$$

Выражения для коэффициентов нормальных уравнений коррелат $[qbb]$, $[qbc]$... должны включать в себя и сумму произведений коэффициентов при поправках в углы и сумму произведений коэффициентов при поправках в линии, поэтому они состоят из двух слагаемых и имеют вид, представленный в табл. 86.

Нормальные уравнения коррелат решают методом последовательного исключения неизвестных (или другим способом) и находят коррелаты k_1 , k_2 и k_3 , по которым получают поправки в измеренные углы и линии по формулам

$$v_{\beta_i} = q_{\beta} \left\{ k_1 - \frac{1}{\rho} (y_{n+1} - y_i) k_2 + \frac{1}{\rho} (x_{n+1} - x_i) k_3 \right\}, \quad (\text{III.299})$$

$$v_{s_i} = q_{s_i} (\cos \alpha_i k_2 + \sin \alpha_i k_3). \quad (\text{III.300})$$

Дальнейший ход вычислений можно производить двумя путями.

Первый путь. Поправки v_{β} и v_s ввести в измеренные значения углов и линий; по исправленным углам вычислить дирекционные углы, а затем по дирекционным углам и исправленным линиям — исправленные приращения координат $\Delta x_{\text{испр}}$, $\Delta y_{\text{испр}}$.

Заключительным контролем будут служить равенства

$$\left. \begin{aligned} [\Delta x_{\text{испр}}] &= x_k - x_n; \\ [\Delta y_{\text{испр}}] &= y_k - y_n. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.301})$$

Второй путь. Вычислить поправки в приращения координат $v_{\Delta x}$ и $v_{\Delta y}$ по формулам

$$\left. \begin{aligned} v_{\Delta x_i} &= v_{s_i} \cos \alpha_i - \frac{v_{\alpha_i}}{\rho} \Delta y_i; \\ v_{\Delta y_i} &= v_{s_i} \sin \alpha_i + \frac{v_{\alpha_i}}{\rho} \Delta x_i. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.302})$$

где

$$v_{\alpha_i} = \sum_1^l v_{\beta}. \quad (\text{III.303})$$

Заключительным контролем при этом будут являться равенства

$$\left. \begin{aligned} [v_{\Delta x}] &= -f'_x; \\ [v_{\Delta y}] &= -f'_y. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.304})$$

Общий вид таблицы коэффициентов условных и нормальных

Поправки	$q = \frac{1}{\rho}$	a]	b]	c]	F_β	F_s
1	2	3	4	5	6	7
v_{β_1}	q_β	+1	$-\frac{1}{\rho} (y_{n+1} - y_1)$	$+\frac{1}{\rho} (x_{n+1} - x_1)$	+1	
v_{β_2}	q_β	+1	$-\frac{1}{\rho} (y_{n+1} - y_2)$	$+\frac{1}{\rho} (x_{n+1} - x_2)$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
v_{β_i}	q_β	+1	$-\frac{1}{\rho} (y_{n+1} - y_i)$	$+\frac{1}{\rho} (x_{n+1} - x_i)$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		
$v_{\beta_{n+1}}$	q_β	+1	$-\frac{1}{\rho} (y_{n+1} - y_{n+1})$	$+\frac{1}{\rho} (x_{n+1} - x_{n+1})$		
v_{s_1}	q_{s_1}		+cos α_1	+sin α_1		+1
v_{s_2}	q_{s_2}		+cos α_2	+sin α_2		
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$		
v_{s_i}	q_{s_i}		+cos α_i	+sin α_i		
$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$		
v_{s_n}	q_{s_n}		+cos α_n	+sin α_n		
Σ		Σ_a	Σ_b	Σ_c	ΣF_β	ΣF_s
W		f_β	f'_x	f'_y		
[qa		$q_\beta (n+1)$	$-\frac{q_\beta}{\rho} [(y_{n+1} - y)]$	$+\frac{q_\beta}{\rho} [(x_{n+1} - x)]$	q_β	0

уравнений коррелят при уравнивании полигонометрического хода

F_{α}	F_x	F_y	s'	v	$p\sigma^2$
8	9	10	11	12	13
+1	$-\frac{1}{\rho} (y_{l+1} - y_1)$	$+\frac{1}{\rho} (x_{l+1} - x_1)$	s'_{β_1}	v_{β_1}	$p_{\beta} v_{\beta_1}^2$
+1	$-\frac{1}{\rho} (y_{i+1} - y_2)$	$+\frac{1}{\rho} (x_{l+1} - x_2)$	s'_{β_2}	v_{β_2}	$p_{\beta} v_{\beta_2}^2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
+1	$-\frac{1}{\rho} (y_{l+1} - y_i)$	$+\frac{1}{\rho} (x_{l+1} - x_l)$	s'_{β_i}	v_{β_i}	$p_{\beta} v_{\beta_i}^2$
			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
			$s'_{\beta_{n+1}}$	$v_{\beta_{n+1}}$	$p_{\beta} v_{\beta_{n+1}}^2$
	$+\cos \alpha_1$	$+\sin \alpha_1$	s'_{s_1}	v_{s_1}	$p_{s_1} v_{s_1}^2$
	$+\cos \alpha_2$	$+\sin \alpha_2$	s'_{s_2}	v_{s_2}	$p_{s_2} v_{s_2}^2$
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
	$+\cos \alpha_l$	$+\sin \alpha_l$	s'_{s_l}	v_{s_l}	$p_{s_l} v_{s_l}^2$
			$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
			s'_{s_n}	v_{s_n}	$p_{s_n} v_{s_n}^2$
$\sum F_{\alpha}$	$\sum F_x$	$\sum F_y$			
$l q_{\beta}$	$-\frac{q_{\beta}}{\rho} [(y_{l+1} - y)]_1^l$	$+\frac{q_{\beta}}{\rho} [(x_{l+1} - x)]_1^l$	$[qas']$		

Поправка	$q = \frac{1}{\rho}$	a]	b]	c]	$F_\beta]$	$F_s]$
1	2	3	4	5	6	7
$[qb$			$+\frac{q_\beta}{\rho^2} [(y_{n+1} - y)^2] +$ $+ [q_s \cos^2 \alpha]$	$-\frac{q_\beta}{\rho^2} [(y_{n+1} - y)(x_{n+1} - x)] +$ $+ [q_s \cos \alpha \sin \alpha]$	$+\frac{q_\beta}{\rho} (y_{n+1} - y_l)$	$+ q_s \cos \alpha_l$
$[qc$				$+\frac{q_\beta}{\rho^2} [(x_{n+1} - x)^2] +$ $+ [q_s \sin^2 \alpha]$	$+\frac{q_\beta}{\rho} (x_{n+1} - x_l)$	$+ q_s \sin \alpha_l$
$[qF_\beta$					q_β	
$[qF_s$						q_{s_i}
$[qF_c$						
$[qF_x$						
$[qF_y$						

F_{α}	F_x	F_y	s'	v	pv'
8	9	10	11	12	13
$-\frac{q_{\beta}}{\rho} [(y_{n+1} - y)]_1^t$	$+\frac{q_{\beta}}{\rho^2} [(y_{n+1} - y) \times (y_{i+1} - y)]_1^t + [q_s \cos^2 \alpha]_1^t$	$-\frac{q_{\beta}}{\rho^2} [(y_{n+1} - y) \times (x_{i+1} - x)]_1^t + [q_s \cos \alpha \sin \alpha]_1^t$	$[qbs']$		
$+\frac{q_{\beta}}{\rho} [(x_{n+1} - x)]_1^t$	$-\frac{q_{\beta}}{\rho^2} [(x_{n+1} - x) \times (y_{i+1} - y)]_1^t + [q_s \sin \alpha \cos \alpha]_1^t$	$+\frac{q_{\beta}}{\rho^2} [(x_{n+1} - x) \times (x_{i+1} - x)]_1^t + [q_s \sin^2 \alpha]_1^t$	$[qcs']$		
tq_{β}					
	$+\frac{q_{\beta}}{\rho^2} [(y_{i+1} - y)^2]_1^t + [q_s \cos^2 \alpha]_1^t$				
		$+\frac{q_{\beta}}{\rho^2} [(x_{i+1} - x)^2]_1^t + [q_s \sin^2 \alpha]_1^t$			

Первый путь вычислений перед вторым имеет то преимущество, что он позволяет проконтролировать невязки f'_x и f'_y .

Уравненные (окончательные) координаты x и y получают по формулам

$$\left. \begin{aligned} x_{i+1} &= x_i + \Delta x_{i_{\text{испр}}}; \\ y_{i+1} &= y_i + \Delta y_{i_{\text{испр}}}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.305})$$

Оценка точности уравненных элементов полигонометрического хода состоит в вычислении средних квадратических погрешностей углов β , дирекционных углов α , длин сторон s , абсцисс x и ординат y .

В общем случае любую функцию уравненных значений углов и линий полигонометрического хода можно представить в виде

$$F = F_0 + F'_1 v_{\beta_1} + F'_2 v_{\beta_2} + \dots + F'_{n+1} v_{\beta_{n+1}} + \\ + F''_1 v_{s_1} + F''_2 v_{s_2} + \dots + F''_n v_{s_n}, \quad (\text{III.306})$$

где F_0 — начальное значение функции, вычисленное по измеренным значениям углов и линий;

F' и F'' — коэффициенты соответственно при угловых и линейных поправках.

Для оценки точности уравненных элементов хода: линии, угла, дирекционного угла, абсциссы и ординаты с номером i составляют в соответствии с формулой (III.306) выражения для приращения функций

$$\Delta F_{s_i} = v_{s_i}, \quad (\text{III.307})$$

$$\Delta F_{\beta_i} = v_{\beta_i}, \quad (\text{III.308})$$

$$\Delta F_{\alpha_i} = \sum_1^i v_{\beta_i}, \quad (\text{III.309})$$

$$\Delta F_{x_i} = [v_s \cos \alpha]_1^i - \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (y_{i+1} - y)]_1^i, \quad (\text{III.310})$$

$$\Delta F_{y_i} = [v_s \sin \alpha]_1^i + \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (x_{i+1} - x)]_1^i. \quad (\text{III.311})$$

Обратный вес функции, согласно формуле метода наименьших квадратов, будет

$$\frac{1}{P_F} = [qFF \cdot 3] = [qFF] - \frac{[qaF]^2}{[qaa]} - \frac{[qbF \cdot 1]^2}{[qbb \cdot 1]} - \frac{[qcF \cdot 2]^2}{[qcc \cdot 2]} \quad (\text{III.312})$$

Обратные веса составленных функций вычисляют по формуле (III.312) в схеме решения нормальных уравнений в дополнительных столбцах. Величины $[qaF]$, $[qbF]$, $[qcF]$ и $[qFF]$ получают в таблице коэффициентов нормальных уравнений. Для этого предварительно вписывают в строки столбцов F_s , F_{β} , F_{α} , F_x

в F_y таблицы коэффициентов условных уравнений соответствующие коэффициенты из выражений (III.307)—(III.311) для приращения функций (см. табл. 86).

Среднюю квадратическую погрешность функции находят по формуле

$$m_F = \mu \sqrt{\frac{1}{P_F}}. \quad (\text{III.313})$$

Среднюю квадратическую погрешность единицы веса μ можно получить, применяя к данному ходу общую формулу метода наименьших квадратов, которая в данном случае примет вид

$$\mu = \sqrt{\frac{[p_\beta v_\beta^2] + [p_s v_s^2]}{r}}. \quad (\text{III.314})$$

Но лучше найти ее по невязкам ряда ходов вытянутой формы (см. задание III.8), так как одного хода совершенно недостаточно для ее надежного определения.

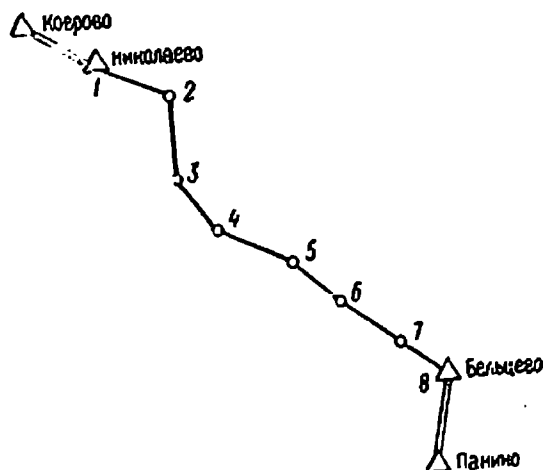


Рис. 99

Следует отметить, что выполнение полной оценки точности всех уравненных элементов хода без применения ЭВМ — дело весьма трудоемкое; практически достаточно знать точность только дирекционных углов и координат для наиболее слабого места хода (примерно его середины).

Пример 1. Произвести уравнивание коррелятным способом полигонометрического хода, проложенного между пунктами Николаево и Бельцево (рис. 99), и вычислить средние квадратические погрешности уравненных значений четвертого дирекционного угла и координат пункта 5. Исходные дирекционные углы и координаты твердых пунктов приведены в табл. 87. Измеренные углы поворота β (левые), длины линий s , измеренные светодальномером СТ-65, и точность полевых измерений приведены в табл. 88.

Решение производят в табл. 89 в определенной последовательности.

Исходные данные

Дирекционные углы		Координаты, м			
Коврово— Николаево α_n	Бельцево— Панино α_k	Николаево		Бельцево	
		x	y	x	y
113° 28' 37"	159° 14' 10"	10 901,025	7050,400	9619,164	9076,842

Таблица 88

Измеренные величины

№ пункта	Углы поворота (левые) β	Длины линий s , м	Точность полезных измерений
Николаево 1	181° 05' 47,0"		$m_\beta = 2,0''$
2	247 51 08,1	552,007	$m_s = (15 + 3s_{ср}, \text{ км}) \text{ мм} =$
3	156 32 34,9	565,338	$= (15 + 3 \cdot 0,42) \text{ мм} =$
4	139 20 10,9	339,025	$= 16,3 \text{ мм}$
5	157 18 32,0	400,408	
6	170 06 59,2	356,831	
7	179 59 40,8	372,263	
Бельцево 8	253 30 32,2	348,716	

1. Выполняют предварительные вычисления в графах 1—9 (табл. 89) в порядке, описанном в задании III.8.

После вычисления связей f'_x и f'_y (по неуравненным за угловую невязку углам) получают координаты x и y (графы 8—9), которые контролируют равенствами

$$x_{к_{\text{выч}}} - x_k = f'_x;$$

$$y_{к_{\text{выч}}} - y_k = f'_y,$$

где $x_{к_{\text{выч}}}$, $y_{к_{\text{выч}}}$ — вычисленные координаты конечной точки хода;
 x_k , y_k — твердые координаты конечной точки хода.

2. Составляют по формулам (III.283)—(III.285) три условных уравнения. При этом берут: поправки v_s , разности координат $y_{n+1} - y_i$, $x_{n+1} - x_i$ и невязки f'_x , f'_y в сантиметрах, а далее для удобства записи величину $\frac{1}{\rho}$ увеличивают в 100 000 раз, а разности координат $y_{n+1} - y_i$ и $x_{n+1} - x_i$ уменьшают в это же число раз, т. е. выражают их в километрах. Тогда условные уравнения, с вычисленными свободными членами, запишутся как

$$[v_\beta] - 8'' = 0;$$

$$[\cos \alpha v, \text{ см}] - 0,485 [(y_8 - y), \text{ км } v_\beta] - 2,2 \text{ см} = 0;$$

$$[\sin \alpha v, \text{ см}] + 0,485 [(x_8 - x), \text{ км } v_\beta] - 5,8 \text{ см} = 0.$$

Ведомость предварительных вычислений и результатов уравнивания полигонометрического хода любой формы коррелятным способом

№ пунктов	Углы поворота β (левые)	Дирекцион- ные углы α	Длины линий s, m	$\cos \alpha$ $\sin \alpha$	Приращение координат, м		Вычисленные координаты, м		$x_{n+1} - x_{KM}$	$y_{n+1} - y_{KM}$
					Δx	Δy	x	y		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Кирово Инно- ласово 1	-1,4 181° 05' 47,0"	113° 28' 37,0"								
2	-0,4 247 51 08,1	114 34 24,0	+5 552,007	-0,415858 +0,909430	+1 -229,557	+6 +502,012	10 901,025	7050,400	-1,282	+2,026
3	+0,2 156 32 34,9	182 25 32,1	-21 565,338	-0,999104 -0,042322	+20 -564,831	+6 -23,926	10 671,468	7552,412	-1,053	+1,525
4	+0,7 139 20 10,9	158 58 07,0	-14 339,025	-0,933384 +0,358380	+13 -316,440	-2 +121,669	10 106,637	7528,486	-0,487	+1,549
5	+1,4 157 18 32,1	118 18 17,9	+4 400,408	-0,474165 +0,880436	0 -189,859	+4 +352,534	9 790,197	7650,155	-0,171	+1,427
6	+2,0 170 06 59,2	95 36 50,0	+12 356,831	-0,097824 +0,995204	-2 -34,907	+12 +355,119	9 600,338	8002,689	+0,019	+1,074
7	+2,5 179 59 40,8	85 43 49,2	+16 372,263	+0,074452 +0,997225	-3 +27,716	+16 +371,230	9 565,431	8357,808	+0,054	+0,720
Бельце- во 8	+3,0 253 30 32,0	85 43 30,0	+16 348,716	+0,074544 +0,997218	-7 +25,995	+16 +347,746	9 593,147	8729,038	+0,026	+0,348
Питино		159 14 02,0					9 619,142	9076,784		
Σ	1485° 45' 25,0"	159° 14' 10,0"	2934,588	Σ	-1281,883	+2026,384	9 619,164	9076,842		
f_{β}	-8,0"	-8,0"	2997,796	$f_x =$	-0,022	$f_y = -0,058$	-0,022	-0,058		
преж/в	$\pm 14,1"$	преж/в	= 0,063	$f_s =$	0,062	$\frac{f_s}{[s]} = \frac{1}{48\ 000}$				

№ пунктов	Уравненные координаты					
	$-0,485$ Δy , км	$+0,485$ Δx , км	$\rho_{\Delta x}$, см	$\rho_{\Delta y}$, см	x	y
12	13	14	15	16	17	18
Николаево 1					10 901,025	7050,400
2	-0,24	-0,11	+0,13	+0,57	10 671,469	7552,418
3	+0,01	-0,27	+2,06	+0,57	10 106,658	7528,498
4	-0,06	-0,15	+1,35	-0,24	9 790,231	7650,165
5	-0,17	-0,09	-0,04	+0,47	9 600,372	8002,703
6	-0,17	-0,02	-0,20	+1,23	9 565,463	8357,834
7	-0,18	+0,01	-0,33	+1,59	9 593,176	8729,080
Бельцево 8	-0,17	+0,01	-0,73	+1,60	9 619,164	9076,842
			$\Sigma +2,24$	+5,79		

Выполнила Володина Т. П.

Чтобы упростить дальнейшие вычисления, приводят нормальные уравнения коррелят к равноточному виду, а для этого умножают коэффициенты коррелятных уравнений поправкам, которые располагаются в таблице коэффициентов условных уравнений по строкам, на корни квадратные из соответствующих обратных весов $\sqrt{q_\beta} = 1$ и $\sqrt{q_s} = m_s/m_\beta$. В результате этого условные уравнения преобразуются

$$[\nu_\beta] - 8'' = 0;$$

$$\frac{m_s}{m_\beta} [\cos \alpha \nu, \text{ см}] - 0,485 [(y_s - y), \text{ км } \nu_\beta] - 2,2 \text{ см} = 0;$$

$$\frac{m_s}{m_\beta} [\sin \alpha \nu, \text{ см}] + 0,485 [(x_s - x), \text{ км } \nu_\beta] - 5,8 \text{ см} = 0.$$

3. По полученным уравнениям составляют таблицу коэффициентов условных уравнений (верхняя часть табл. 90), при этом коэффициенты при поправках в преобразованных условных уравнениях обозначают буквами: в первом a_i , во втором b_i и третьем c_i .

Величину $\sqrt{q_s} = m_s/m_\beta$ вычисляют с 2—3 значащими цифрами и записывают в графу 9 табл. 90.

Разности координат $y_s - y_i$ и $x_s - x_i$ (до 0,001) вычисляют в графах 10—11 табл. 89.

Вычисление коэффициентов преобразованных условных уравнений можно выполнить на логарифмической линейке (с округлением до 0,01).

4. Составляют в соответствии с формулами (III.309)—(III.311) приращения весовых функций для оценки точности уравненных значений дирекционного угла четвертого направления и координат вершины пункта 5

$$\Delta F_{\alpha_4} = [\nu_\beta]_1^4;$$

$$\Delta F_{x_5} = [\cos \alpha \nu_s, \text{ см}]_1^5 - 0,485 [(y_s - y), \text{ км } \nu_\beta]_1^5;$$

$$\Delta F_{y_5} = [\sin \alpha \nu_s, \text{ см}]_1^5 + 0,485 [(x_s - x), \text{ км } \nu_\beta]_1^5.$$

Полученные выражения также преобразуют, умножая коэффициенты на корни квадратные из соответствующих обратных весов.

$$\Delta F_{\alpha_4} = [\nu_\beta]_1^4;$$

$$\Delta F_{x_5} = \frac{m_s}{m_\beta} [\cos \alpha \nu_s, \text{ см}]_1^5 - 0,485 [(y_s - y), \text{ км } \nu_\beta]_1^5;$$

$$\Delta F_{y_5} = \frac{m_s}{m_\beta} [\sin \alpha \nu_s, \text{ см}]_1^5 + 0,485 [(x_s - x), \text{ км } \nu_\beta]_1^5.$$

Коэффициенты преобразованных выражений для приращения весовых функций (вычисленных до 0,01) вписывают в графы 5—7 табл. 90.

Таблица коэффициентов условных уравнений
и нормальных уравнений коррелят

Поп- равка	a]	b]	c]	$F_{\alpha}]$	$F_x]$	$F_y]$	s'	$\sqrt{q}$	v	$pv = v : (\sqrt{q})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
v_{β_1}	+1.00	-0.98	-0.62	+1.00	-0.46	-0.63	-0.69	1.00	-1.38	-1.38
v_{β_2}	+1.00	-0.74	-0.51	+1.00	-0.22	-0.52	+0.01	1.00	-0.40	-0.40
v_{β_3}	+1.00	-0.75	-0.24	+1.00	-0.23	-0.25	+0.53	1.00	+0.16	+0.16
v_{β_4}	+1.00	-0.69	-0.08	+1.00	-0.17	-0.09	+0.97	1.00	+0.70	+0.70
v_{β_5}	+1.00	-0.52	+0.01				+0.49	1.00	+1.42	+1.42
v_{β_6}	+1.00	-0.35	+0.03				+0.68	1.00	+2.00	+2.00
v_{β_7}	+1.00	-0.17	+0.01				+0.84	1.00	+2.50	+2.50
v_{β_8}	+1.00						+1.00	1.00	+3.01	+3.01
v_{s_1}		-0.34	+0.74		-0.34	+0.74	+0.80	0.815	+0.46	+0.69
v_{s_2}		-0.80	-0.04		-0.80	-0.04	-1.68	0.815	-2.09	-3.14
v_{s_3}		-0.75	+0.30		-0.75	+0.30	-0.90	0.815	-1.38	-2.02
v_{s_4}		-0.34	+0.72		-0.34	+0.72	+0.76	0.815	+0.43	+0.64
v_{s_5}		-0.07	+0.80				+0.75	0.815	+1.25	+1.88
v_{s_6}		+0.05	+0.81				+0.86	0.815	+1.57	+2.34
v_{s_7}		+0.05	+0.80				+0.85	0.815	+1.55	+2.32
Σ	+8.00	-6.40	+2.73	+4.00	-3.31	+0.23	+5.25		$[pv^2] = 43.41$	
W	-8.00	-2.20	-5.80							
k	+3.008	+3.093	+2.192							
$\{a$	+8.00	-4.20	-1.40	+4.00	-1.08	-1.49	+3.38	$s = s' + W$		
$\{b$		+4.41	+0.54	-3.16	+2.34	+0.56	+0.49	-4.17		
$\{c$			+3.81	-1.45	-0.23	+1.88	+3.15	-1.71		
$\{F_{\alpha}$				+4.00				-2.65		
$\{F_x$					+1.76				Вычисляла Т. П. Володина	
$\{F_y$						+1.89				

Контролируют составление таблицы коэффициентов условных уравнений, вычислившем сумм по строкам (s) и по столбцам (Σ).

5. Вычисляют (с округлением до 0,01) коэффициенты нормальных уравнений коррелят (нижняя часть табл. 90).

6. Решают нормальные уравнения коррелят методом последовательного исключения неизвестных по сокращенной схеме вычислений (табл. 91). Найденные корреляты (с округлением до 0,001) проверяют подстановкой их значений в суммарное уравнение, коэффициенты и свободный член которого образуют суммированием коэффициентов и свободных членов нормальных уравнений.

Решение нормальных уравнений коррелят

k_1	k_2	k_3	W	P_{α}	P_x	P_y	z	Контроль
-8,00 -1 (-0,1250)	-4,20	-1,40	-8,00	+4,00	-1,08	-1,49	-4,17	-4,17
	+0,525	+0,175	+1,000	-0,500	+0,135	+0,186	+0,521	+0,521
	+4,41	+0,54	-2,20	-3,16	+2,34	+0,56	-1,71	-1,71
	+2,21	-0,20	-6,40	-1,06	+1,77	-0,22	-3,90	-3,90
	-1 (-0,4525)	+0,090	+2,896	+0,480	-0,801	+0,100	+1,765	-1,765
+3,008		+3,81	-5,80	-1,45	-0,23	+1,88	-2,65	-2,65
		+3,55	-7,78	-0,85	-0,26	+1,60	-3,73	-3,73
		-1 (-0,2817)	+2,192	+0,239	+0,073	-0,451	+1,051	+1,051
		+2,192	-	+4,00	+1,76	+1,89		
			-43,58 -[$p v^2$] -43,58 [kW]	+1,29 $+\frac{1}{P_{\alpha}}$	+0,17 $+\frac{1}{P_x}$	+0,87 $+\frac{1}{P_y}$		

Оценка точности

$$\mu = m_{\beta} = \sqrt{\frac{43,4}{3}} = 3,8'';$$

$$m_{\alpha_{4-5}} = 3,8 \sqrt{1,29} = 4,3'';$$

$$m_{x_3} = 3,8 \sqrt{0,17} = 1,57 \text{ см};$$

$$m_{y_6} = 3,8 \sqrt{0,87} = 3,5 \text{ см}.$$

$$m_{\mu} = \frac{3,8}{\sqrt{6}} = 1,55'';$$

$$m_{\alpha_{4-5}} = 1,55 \sqrt{1,29} = 1,75'';$$

$$m_{x_3} = 1,55 \sqrt{0,17} = 0,64 \text{ см};$$

$$m_{y_6} = 1,55 \sqrt{0,87} = 1,45 \text{ см}.$$

Вычисления Т. П. Володина

В нашем примере это будет

$$+ 2,40k_1 + 0,22k_2 + 1,29k_3 - 16,00 = 0$$

или

$$+ 9,64 + 0,96 + 5,39 - 16,00 = 0,01.$$

7. Вычисляют поправки в углы и линии по формулам (III.299)—(III.300), которые с учетом выполненных выше преобразований примут вид

$$v_{\beta_i} = k_1 - \frac{1}{\rho} (y_{n+1} - y_i) k_2 + \frac{1}{\rho} (x_{n+1} - x_i) k_3;$$

$$v_{s_i} = \sqrt{q_s} (\sqrt{q_s} \cos \alpha_i k_2 + \sqrt{q_s} \sin \alpha_i k_3).$$

С учетом обозначений коэффициентов преобразованных условных уравнений в таблице коэффициентов условных уравнений выражения для поправок можно записать и так

$$v_{\beta_i} = a_i k_1 + b_i k_2 + c_i k_3;$$

$$v_{s_i} = \sqrt{q_s} (b_i k_2 + c_i k_3).$$

Контролируют вычисления равенствами

$$[v_{\beta}] = -f_{\beta};$$

$$[pvv] = -(k_1 f_{\beta} + k_2 f_x + k_3 f_y) = -[kW].$$

Поправки v_{β} (с округлением до $0,1''$) и v_s (с округлением до $0,1$ см) выписывают в графы 2 и 4 табл. 89 над соответствующими значениями измеренных углов и линий. Поправки в дирекционные углы вычисляют по формуле (III.303) и вписывают их в графу 3 табл. 89.

8. Получают по формулам (III.302) в графах 13—16 поправки в приращения координат. Контролем вычислений служат равенства (III.304). Расхождения не должны превышать $0,5\sqrt{n}$ — единиц последнего знака, где n — число слагаемых. Эти расхождения устраняются путем округления последнего знака (до 1 мм).

9. Вычисляют по исправленным приращениям уравненные координаты, которые записывают в 17 и 18 графы.

10. Производят оценку точности уравненных значений четвертого дирекционного угла и координат вершины пункта 5. Значение обратных весов составленных приращений функций получают по формуле (III.312) в дополнительных столбцах; F_a , F_x и F_y схемы решения нормальных уравнений. Средние квадратические погрешности указанных уравненных элементов вычисляют по формуле (III.313), для которой величину μ (в данном случае равную m_{β}) получают по формуле (III.314). Надежность

вычисленных средних квадратических погрешностей устанавливают по формулам

$$m_{\mu} = \frac{\mu}{\sqrt{2r}},$$

$$m_{m_{\beta, \alpha}} = m_{\mu} \sqrt{\frac{1}{P_{\beta, \alpha}}}.$$

2. Уравнивание полигонометрического хода любой формы двухгрупповым способом. Три условных уравнения разделяют на две группы. В первую группу входит угловое условное уравнение, составленное по формуле (III.283), и во вторую — два координатных условных уравнения, составленных по формулам (III.284) и (III.285). Первое уравнение решают отдельно и находят из него первичные поправки в углы

$$v_{\beta_i} = -\frac{f_{\beta}}{n+1}. \quad (\text{III.315})$$

По исправленным за первичную поправку углам вычисляют преобразованные свободные члены — невязки f_x и f_y — условных уравнений второй группы.

Далее переносят начало координат в центр тяжести вершин хода с координатами

$$\left. \begin{aligned} x_n &= \frac{\sum_{i=1}^{n+1} x'}{n+1}; \\ y_n &= \frac{\sum_{i=1}^{n+1} y'}{n+1}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.316})$$

где x' и y' — условные координаты пунктов хода.

Относительно нового начала вычисляют координаты вершин хода ξ_i и η_i , называемые центральными

$$\left. \begin{aligned} \xi_i &= x'_i - x_n; \\ \eta_i &= y'_i - y_n. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.317})$$

За счет свойства центральных координат (являющихся отклонениями от среднего арифметического)

$$\left. \begin{aligned} [\xi] &= 0; \\ [\eta] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.318})$$

преобразуются коэффициенты условных уравнений второй группы, в результате чего условные уравнения (III.283)—(III.285) примут вид

$$[v_{\beta}] = 0, \quad (\text{III.319})$$

$$\left. \begin{aligned} [v_{\beta} \cos \alpha] + \frac{1}{\rho} [v_{\beta} \eta] + f_x &= 0; \\ [v_{\beta} \sin \alpha] - \frac{1}{\rho} [v_{\beta} \xi] + f_y &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.320})$$

Здесь v_{β_i} — вторичная поправка в измеренные углы.

По условным уравнениям (III.320) составляют два нормальных уравнения коррелат, коэффициенты которых обозначают буквами A, B, C

$$\frac{q_B}{\rho^2} [\eta^2] + [q_s \cos^2 \alpha] = A, \quad (\text{III.321})$$

$$\frac{q_B}{\rho^2} [\xi^2] + [q_s \sin^2 \alpha] = B, \quad (\text{III.322})$$

$$-\frac{q_B}{\rho^2} [\xi\eta] + [q_s \sin \alpha \cos \alpha] = C. \quad (\text{III.323})$$

С учетом обозначения коэффициентов нормальные уравнения коррелат примут вид

$$\left. \begin{aligned} Ak_2 + Ck_3 + f_x &= 0; \\ Ck_2 + Bk_3 + f_y &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.324})$$

Уравнения (III.324) решают методом определителей, получая коррелаты k_2 и k_3 из выражений

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= \frac{1}{N} (Cf_y - Bf_x); \\ k_3 &= \frac{1}{N} (Cf_x - Af_y), \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.325})$$

где

$$N = AB - C^2. \quad (\text{III.326})$$

По коррелатам k_2 и k_3 вычисляют вторичные поправки в углы ν_{B_i} и поправки в линии ν_s ,

$$\nu_{B_i} = \frac{q_B}{\rho} (\eta_i k_2 - \xi_i k_3), \quad (\text{III.327})$$

$$\nu_s = q_s (\cos \alpha_i k_2 + \sin \alpha_i k_3). \quad (\text{III.328})$$

Поправки в приращения координат вычисляют по формулам (III.302). Веса измеренных углов и линий в двухгрупповом методе уравнивания находят по тем же формулам, что и в корреляционном способе уравнивания.

Среднюю квадратическую погрешность единицы веса μ вычисляют по формуле (III.314), которая в этом способе примет вид

$$\mu = \sqrt{\frac{[p_B \nu_B^2] + [p_B \nu_B^2] + [p_s \nu_s^2]}{3}}. \quad (\text{III.329})$$

Среднюю квадратическую погрешность уравненных элементов хода вычисляют по формуле (III.313). Обратные веса приращений функций для (III.313) находят из выражения (III.312), которое при подстановке в него коэффициентов нормальных урав-

пей коррелят A, B, C соответствующих $[qbb], [qcc]$ и $[qbc]$ примет вид

$$\frac{1}{P_F} = [qFF] - \frac{[qaF]^2}{q_B(n+1)} - \frac{[qbfF]^2}{A} - \frac{\left\{ [qcF] - \frac{C}{A} [qbfF] \right\}^2}{B - \frac{C^2}{A}}. \quad (\text{III.330})$$

Величины $[qFF], [qaF], [qbfF]$ и $[qcF]$ вычисляются в табл. 92, затем подставляются в формулу (III.330).

Пример 2. Произвести уравнивание двухгрупповым способом полигонометрического хода, изображенного на рис. 95. Найти средние квадратические погрешности уравненных значений четвертого дирекционного угла и координат пункта 5. Исходные и измеренные данные взяты из примера 1.

При решении придерживаются строго определенной последовательности.

1. Вычисляют угловую невязку f_β , по которой по формуле (III.315) находят первичные поправки в углы. По исправленным за первичную поправку углам производят предварительные вычисления в порядке, указанном в задании III.8, и получают невязки $f_x, f_s, \text{прех} f_s$ и $f_s/[s]$.

2. Вычисляют коэффициенты нормальных уравнений коррелят второй группы. Уравнительные вычисления начинают непосредственно с получения этих коэффициентов, так как необходимость в вычислении коэффициентов условных уравнений отпадает.

Выражения для коэффициентов нормальных уравнений коррелят (III.321)—(III.323) с учетом формул для вычисления обратных весов q_β и q_s примут вид

$$A = \frac{1}{\rho^2} [\eta^2] + \frac{m_s^2}{m_\beta^2} [\cos^2 \alpha],$$

$$B = \frac{1}{\rho^2} [\xi^2] + \frac{m_s^2}{m_\beta^2} [\sin^2 \alpha],$$

$$C = -\frac{1}{\rho^2} [\eta\xi] + \frac{m_s^2}{m_\beta^2} [\cos \alpha \sin \alpha]$$

или с учетом размерности величин η, ξ и m_s

$$A = 0,235 [\eta^2, \text{км}^2] + \frac{m_s^2, \text{см}^2}{m_\beta^2} [\cos^2 \alpha],$$

$$B = 0,235 [\xi^2, \text{км}^2] + \frac{m_s^2, \text{см}^2}{m_\beta^2} [\sin^2 \alpha],$$

$$C = -0,235 [\eta\xi, \text{км}^2] + \frac{m_s^2, \text{см}^2}{m_\beta^2} [\cos \alpha \sin \alpha].$$

Таблица величин, необходимых для вычисления обратного веса функций уравненных элементов
полигонометрического хода при двухгрупповом способе уравнивания

Наимено- вание элементов	Угол β_i	Дирекционный угол α_i	Сторона s_i	Абсцисса x_i	Ордината y_i
$[qFF]$	q_β	$i q_\beta$	q_{si}	$\frac{q_\beta}{\rho^2} [(y_{i+1} - y)^2]_i^i + [q_s \cos^2 \alpha]_i^i$	$\frac{q_\beta}{\rho^2} [x_{i+1} - x]^2]_i^i + [q_s \sin^2 \alpha]_i^i$
$[q_a F]$	q_β	$i q_\beta$	0	$-\frac{q_\beta}{\rho} [(y_{i+1} - y)]_i^i$	$\frac{q_\beta}{\rho} [(x_{i+1} - x)]_i^i$
$[q_b F]$	$\frac{q_\beta}{\rho} \eta_i$	$\frac{q_\beta}{\rho} [\eta]_i^i$	$q_{si} \cos \alpha_i$	$-\frac{q_\beta}{\rho^2} [(y_{i+1} - y) \eta]_i^i + [q_s \cos^2 \alpha]_i^i$	$\frac{q_\beta}{\rho^2} [(x_{i+1} - x) \eta]_i^i + q_s \sin \alpha \cos \alpha]_i^i$
$[q_c F]$	$-\frac{q_\beta}{\rho} \xi_i$	$-\frac{q_\beta}{\rho} [\xi]_i^i$	$q_{si} \sin \alpha_i$	$\frac{q_\beta}{\rho^2} [(y_{i+1} - y) \xi]_i^i + [q_s \sin \alpha \cos \alpha]_i^i$	$-\frac{q_\beta}{\rho^2} [(x_{i+1} - x) \xi]_i^i + [q_s \sin^2 \alpha]_i^i$

Для удобства вычислений в формулах коэффициентов нормальных уравнений величину $\frac{1}{\rho^2}$ получают увеличенной в 10^{10} раз, а величины η_i^2 и ξ_i^2 — уменьшенными в это же число раз (в км²).

Для получения центральных координат ξ и η вычисляют по формулам (III.316) координаты центра тяжести x_u и y_u . Условные координаты x' и y' для формул (III.316) находят в графах 11 и 12 табл. 93, приняв за начало координат первую точку хода. Центральные координаты вычисляют по формулам (III.317) и записывают в графах 13 и 14. Величины x' , y' , x_u , y_u , ξ и η находят с округлением до 0,001 км. Контрольные равенства (III.318) должны выполняться в пределах 0,5- n единиц последнего знака, где n — число слагаемых.

В графах 14—20 (с округлением до 0,001) вычисляют величины, входящие в формулы коэффициентов нормальных уравнений коррелят. Контрольными равенствами при этом являются

$$[(\eta + \xi)^2] = [\eta^2] + [\xi^2] + 2[\eta\xi],$$

$$\cos^2 \alpha_i + \sin^2 \alpha_i = 1.$$

Эти равенства должны выполняться в пределах точности вычислений.

В нижней части табл. 93 находят вторично величину $[D_{u,i}^2]$ по формуле

$$[D_{u,i}^2] = [\xi^2] + [\eta^2]$$

и сравнивают ее с величиной, полученной графически в предварительных вычислениях. Расхождение должно быть не более 5 мм· M , где M — знаменатель масштаба схемы графического построения.

В верхней части табл. 93 вычисляют (с 3—4 значащими цифрами) коэффициенты A , B , C нормальных уравнений коррелят. Обратный вес измеренной стороны $q_s = m_s^2/m_{\beta}^2$ и величину $1/\rho^2$ находят с тремя значащими цифрами.

3. Решают нормальные уравнения коррелят (III.324) методом определителей, получая корреляты k_2 и k_3 (с 3—4 значащими цифрами) из выражений (III.325)—(III.326). Значения k_2 и k_3 проверяют подстановкой их в нормальные уравнения коррелят.

4. Получают вторичные поправки в углы, поправки в дирекционные углы (до 0,1"), поправки в линии (до 0,01 см) по формулам (III.327)—(III.328) в графах 21—27 табл. 93. При этом для удобства вычислений величину $1/\rho$ берут увеличенной в 100 000 раз, а величины η и ξ соответственно уменьшенными в это же число раз (в км). Контролем вычисления поправок служат равенства (III.319) и

$$[v_s] = q_s [\cos \alpha] k_2 + [\sin \alpha] k_3.$$

Ведомость уравнивания полигонометрического хода любой формы групповым коррелятным способом
(при измерении линий светодальномером)

№ пунктов	Углы поворота (левые)	Дирекционные углы α	Длины сторон s , м	$\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}$	Приращения координат, м			Координаты, м	
					Δx	Δy	Δz	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коврово									
Николаево 1	+1,0 181° 05' 47,0"	113° 28' 37,0" -2,3	+5 552,007	-0,415862 +0,909428	+4 -229,558	+7 +502,011	10 901,029	7050,400	
2	+1,0 247 51 08,1	114 34 25,0 -3,6	-20 565,338	-0,999103 -0,042332	+19 -564,831	+17 -23,931	10 671,471	7552,418	
3	+1,0 156 32 34,9	182 25 34,1 -4,4	-13 339,025	-0,933389 +0,358866	+14 -318,442	+2 +121,664	10 106,659	7528,498	
4	+1,0 139 20 10,9	158 58,10,0 -4,7	+4 400,408	-0,474182 +0,880427	+6 -189,866	+8 +352,530	9 790,231	7650,164	
5	+1,0 157 19 32,1	118 18 21,9 -4,3	+12 356,831	-0,097848 +0,995208	+7 -34,913	+13 +355,119	9 600,371	8002,702	
6	+1,0 170 06 59,2	95 36 55,0 -3,3	+16 372,263	+0,074422 +0,997227	+7 +27,705	+15 +371,231	9 565,465	8357,834	
7	+1,0 179 59 40,8	-1,9 85 43 37,0	+16 348,716	+0,074510 +0,997220	+4 +25,983	+15 +347,747	9 593,177	8729,080	
Бельцево 8	+1,0 253 30 32,0	85 43 37,0 159 14 10,0					9 619,164	9076,842	
Панно									
Σ	1485° 45' 25,0°	Σ	2934,588	Σ	-1281,924	+2026,371			
$f\beta$	-8,0°	$L =$	2997,796	f_x	= -0,061	$f_y = -0,071$			
пред $f\beta$	±14,1°	пред f_s	= 0,120	f_s	= 0,095	$\frac{1}{\Sigma s}$			

Условные координаты, км		ξ, км		η, км		ξ ²		ξ η		η ²		№ пункта		cos ² α		sin ² α		$\frac{1}{\rho} \cdot \eta \cdot h_i$		$\frac{1}{\rho} \cdot \xi \cdot h_i$					
α'		β'		12		13		14		15		16		17		18		19		20		21		22	
0	0	+0,920		-0,943		0,846		-0,868		0,889		Коврово Николаево 1 2 3 4 5 6 7 Бельцево 8 Папино		0,173		-0,378		-1,32		-0,97					
-0,230	+0,502	+0,690		-0,441		0,476		-0,305		0,194				0,998		+0,042		-0,62		-0,72					
-0,795	+0,478	+0,125		-0,465		0,016		-0,059		0,216				0,871		-0,335		-0,05		-0,13					
-1,111	+0,600	-0,191		-0,343		0,036		+0,066		0,118				0,225		-0,417		-0,50		+0,20					
-1,301	+0,952	-0,381		+0,009		0,145		-0,004		0,000				0,010		-0,098		+0,01		+0,40					
-1,336	+1,307	-0,416		+0,364		0,173		-0,152		0,132				0,006		+0,074		+0,51		+0,44					
-1,308	+1,678	-0,388		+0,735		0,150		-0,286		0,540				0,006		+0,074		+1,03		+0,41					
-1,282	+2,026	-0,362		+1,083		0,131		-0,392		1,173				0,006		+0,074		+1,51		+0,38					
Σ = -7,363 α _ц = -0,920		-0,003		+0,001		1,973		-2,000 [D ² _ц , l] = 5,235		3,262 5,235				2,289		-1,038		4,711							
		+7,543 β _ц = +0,943																							

$$\begin{aligned}
 m_s &= 16,3 \text{ км} \\
 m_\beta &= 2'' \\
 q_s &= 0,665 \\
 10^6 \frac{\rho}{\rho^2} &= 0,485 \\
 10^{10} \frac{\rho}{\rho^2} &= 0,235 \\
 A &= +2,29 \\
 B &= +3,59 \\
 C &= -0,23 \\
 AB &= 8,22 \\
 -C^2 &= 0,05 \\
 N &= 8,17 \\
 C I_{\mu} &= +1,63 \\
 -B I_{\nu} &= +21,90 \\
 C I_{\mu} - B I_{\nu} &= +23,53 \\
 k_3 &= 2,880 \\
 \frac{1}{\rho} k_2 &= +1,397 \\
 q_s k_2 &= +1,915 \\
 C I_x &= +1,40 \\
 A I_{\mu} &= +10,26 \\
 C I_x - A I_{\mu} &= +17,77 \\
 k_3 &= +2,162 \\
 \frac{1}{\rho} k_3 &= +1,049 \\
 q_s k_3 &= +1,438
 \end{aligned}$$

Поправки в углы v_β	Поправки в дирек- ционные углы v_α	α в сек s_α	β в сек s_β	Поправ- ки в линии v_s , см	$\frac{v_\alpha}{\rho}$	$v_s \cos \alpha$	$-\frac{v_\alpha \Delta v}{\rho}$	Поправка $\Delta x v_{\Delta x}$, см	$v_s \sin \alpha$	$+\frac{v_\alpha \Delta x}{\rho}$	Поправ- ки Δv $v_{\Delta v}$, см
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
-2,29	-2,29	-0,80	+1,31	+0,51	-1,11	-0,21	+0,56	+0,35	+0,46	+0,26	+0,72
-1,34	-3,63	-1,91	-0,06	-1,97	-1,76	+1,97	-0,04	+1,93	+0,08	+0,99	+1,08
-0,78	-4,41	-1,79	+0,52	-1,27	-2,14	+1,18	+0,26	+1,44	-0,46	+0,68	+0,22
-0,30	-4,71	-0,91	+1,27	+0,36	-2,28	-0,17	+0,80	+0,63	+0,32	+0,43	+0,75
+0,41	-4,30	-0,19	+1,43	+1,24	-2,09	-0,12	+0,74	+0,62	+1,23	+0,07	+1,30
+0,95	-3,35	+0,14	+1,43	+1,57	-1,62	+0,12	+0,60	+0,70	+1,57	-0,05	+1,52
+1,44	-1,91	+0,14	+1,43	+1,57	-0,93	+0,12	+0,32	+0,44	+1,57	-0,02	+1,55
+1,89											
-0,02								+6,11			+7,14

Вычисляла Т. П. Володина

5. Вычисляют поправки в приращения координат по формулам (III.302) в графах 28—34 табл. 93. Заключительным контролем вычислений служат равенства (III.304). Расхождения при этом не должны превышать величины, указанных в примере 1. Их устраняют путем округления последнего знака.

Поправки v_{β} , v_s , $v_{\Delta x}$ и $v_{\Delta y}$ вычисляют с помощью логарифмической линейки.

6. Находят по исправленным приращениям уравненные координаты и записывают в графы 8 и 9 табл. 93.

7. Вычисляют среднюю квадратическую погрешность единицы веса (в данном примере среднюю квадратическую погрешность измерения угла) по формуле (III.329).

8. Получают обратные веса для вычисления средних квадратических погрешностей четвертого дирекционного угла и координат 5-й вершины по формуле (III.330) в табл. 94. Алгоритмы $[qFF]$, $[qaF]$, $[qbfF]$ и $[qCF]$ составляют по выражениям, приведенным в табл. 92. Вычисление компонентов, входящих в алгоритмы, выполняют в таблице вспомогательных величин (табл. 95).

3. Уравнивание полигонометрического хода вытянутой формы трехгрупповым способом. Уравнивательные вычисления в вытянутом полигонометрическом ходе могут быть значительно упрощены за счет особенностей вытекающей из его формы.

Особенностью ходов такой формы с точки зрения уравнивания является возможность разделить действие погрешностей угловых измерений, создающих азимутальную и поперечную невязки, и погрешностей линейных измерений, создающих продольную невязку.

Переноса начало координат в центр тяжести и поворачивая оси координат так, чтобы ось абсцисс пошла по замыкающей хода, приходят к случаю трехгруппового уравнивания. При этом условные уравнения (III.320) примут вид

$$[v_s] + l = 0, \quad (\text{III.331})$$

$$-\frac{1}{\rho} [\xi' v_{\beta}] + u = 0. \quad (\text{III.332})$$

Составленные по ним нормальные уравнения коррелят будут

$$[q_s] k_2 + l = 0, \quad (\text{III.333})$$

$$\frac{q_{\beta}}{\rho^2} [\xi'^2] k_3 + u = 0. \quad (\text{III.334})$$

Уравнения (III.333), (III.334) не содержат общих неквадратичных коэффициентов, а это обстоятельство позволяет находить корреляты k_2 и k_3 , решая каждое из них в отдельности, вследствие чего процесс уравнивания упрощается.

Оценка точности уравненных элементов хода любой формы в двухгрупповом коррелятном способе

№ пун-кта	$[qaF]$	$[qbF]$	$[qcF]$	$-\frac{C}{A}[qbF]$	$-\frac{[qcF]}{A} - \frac{C}{A}[qbF]$	$[qFF]$	$-p\beta \frac{[qaF]}{n+1}$	$-\frac{[qbF]^2}{A}$	$-\frac{[qcF] - \frac{C}{A}[qbF]}{B - \frac{C^2}{A}}$	$\frac{1}{P'K}$	m_F	$m_{m.p}$
-----------	---------	---------	---------	---------------------	---------------------------------------	---------	-----------------------------	----------------------	---	-----------------	-------	-----------

Оценка точности уравненного дирекционного угла

4-5	+4,00	+1,06	+0,75	+0,11	+0,86	+4,00	-2,00	-0,49	-0,21	1,30	4,2"	1,72"
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	-------

Оценка точности уравненной абсциссы

5	-1,08	+1,85	-0,41	+0,18	-0,23	+1,83	-0,14	-1,50	0,00	0,20	1,65	0,67
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------

Оценка точности уравненной ординаты

5	-1,49	-0,25	+1,61	-0,02	+1,59	+1,88	-0,28	-0,02	-0,72	0,86	3,4	1,40
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-----	------

$$u = m_{\beta} = \sqrt{\frac{8 + 14,4 + 18,5}{3}} = 3,7''$$

$$m_{\mu} = \sqrt[3,7]{\frac{6}{6}} = 1,51''$$

Вычисляла Т. П. Володина

Вспомогательные вычисления

№ пунктов	$v_b - v$	$\alpha_s - \alpha$	$\cos^2 \alpha$	$\cos \alpha \sin \alpha$	$\sin^2 \alpha$
1	+0,953	-1,301			
2	+0,451	-1,071	0,173	-0,378	0,827
3	+0,475	-0,507	0,998	+0,042	0,002
4	+0,353	-0,190	0,871	-0,335	0,129
5	0	0	0,225	-0,417	0,775
	+2,232	-3,069	+2,267	-1,088	+1,733

Из уравнений (III.333), (III.334) находят

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= -\frac{l}{[q_s]}; \\ k_3 &= -\frac{u\rho^2}{q_B [s'^2]}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.335})$$

Через корреляты вычисляют вторичные поправки в углы v_B и поправки в линии v_s ,

$$v_{B_i} = \rho \frac{u}{[s'^2]} \xi'_i, \quad (\text{III.336})$$

$$v_{s_i} = -\frac{l}{[q_s]} q_{s_i}. \quad (\text{III.337})$$

Подставляя в формулу (III.337) выражения для обратных весов измеренных линий, получают поправки v_s для ходов, в которых линии измерялись определенным мерным прибором. Например, для светодальномерных ходов формула (III.337) примет вид

$$v_s = -\frac{l}{n}. \quad (\text{III.338})$$

При проведении уравнительных вычислений в вытянутом ходе практически поступают следующим образом. После вычисления невязок f_x, f_y и получения по ним величин l и u вычисляют непосредственно вторичные поправки в углы, в дирекционные углы и в линии, минуя процессы составления и условных уравнений и нормальных уравнений коррелат.

Уравнительные вычисления несколько упрощаются еще, если линии в вытянутом полигонометрическом ходе имеют одинако-

вую длину¹. В этом случае формула для вычисления вторичных поправок в углы (III.336) преобразуется к виду

$$\nu_{\beta}'' = -\frac{u}{L} \rho \frac{6(n+2-2i)}{(n+1)(n+2)}, \quad (\text{III.339})$$

а при обозначении

$$\Delta\theta = -\frac{u}{L} \quad (\text{III.340})$$

и

$$b_i = \frac{6(n+2-2i)}{(n+1)(n+2)} \quad (\text{III.341})$$

к виду

$$\nu_{\beta_i}'' = \Delta\theta \rho b_i. \quad (\text{III.342})$$

Поправки в дирекционные углы при одинаковых линиях определяют как

$$\nu_{\alpha_i} = \Delta\theta \rho a_i, \quad (\text{III.343})$$

где

$$a_i = \frac{6l(n+1-i)}{(n+1)(n+2)}, \quad (\text{III.344})$$

а поправки в приращения координат

$$\left. \begin{aligned} \nu_{\Delta x_i} &= v_{s_i} \cos \alpha_i - \Delta\theta a_i \Delta y_i; \\ \nu_{\Delta y_i} &= v_{s_i} \sin \alpha_i + \Delta\theta a_i \Delta x_i. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.345})$$

Заключительным контролем уравнивательных вычислений будут являться равенства (III.304). Однако этот контроль будет точно выполняться лишь для ходов, очень хорошо вытянутых.

Если же ход, удовлетворяющий критерию вытянутости, будет иметь значительное отклонение от прямой линии, могут возникнуть некоторые небольшие разногласия между $[\nu_{\Delta x}]$ и f_x и $[\nu_{\Delta y}]$ и f_y . Появляющиеся в связи с этим остаточные невязки могут быть распределены в приращения координат или поровну или пропорционально длинам линий. Это практически не повлияет на строгость уравнивания, так как остаточные невязки должны быть малы.

Имеется и другой путь устранения таких расхождений. Он состоит в заблаговременном (до уравнивания) перевычислении величин ν , и $\Delta\theta$ с таким расчетом, чтобы соблюдались равенства

¹ Практически колебания длин линий допустимы в весьма широких пределах (большие в 2—3 раза могут превосходить меньшие) при условии, что длинные или короткие стороны не сгруппированы в определенных частях хода.

(III.304). Формулы для вычисления перевычисленных величин при измерении линий светодальномерами запишем

$$\left. \begin{aligned} v'_s &= - \frac{f_x [a \Delta x] + f_y [a \Delta y]}{[\cos \alpha] [a \Delta x] + [\sin \alpha] [a \Delta y]}; \\ \Delta \theta' &= - \frac{f_y [\cos \alpha] - f_x [\sin \alpha]}{[\cos \alpha] [a \Delta x] + [\sin \alpha] [a \Delta y]}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{III.346})$$

Однако величинами v'_s и $\Delta \theta'$ можно пользоваться только в том случае, если они будут уклоняться от величин v_s и $\Delta \theta$ не более чем на 10%, что будет являться дополнительным критерием достаточной выпянутости хода.

Уравнительные вычисления с пересчитанными величинами производят по приведенным выше формулам, заменяя в них v_s на v'_s , $\Delta \theta$ на $\Delta \theta'$. При уравнивании светодальномерных ходов величина v'_s есть непосредственная поправка, которую вводят в длины линий.

Средние квадратические погрешности уравненных значений углов, дирекционных углов, линий, продольного и поперечного сдвига светодальномерного хода с примерно равными сторонами производят по формулам

$$m_{\beta_i} = m_{\beta} \sqrt{1 - \frac{1}{n+1} - \frac{3(n-2i+2)^2}{n(n+1)(n+2)}}, \quad (\text{III.347})$$

$$m_{\alpha_i} = m_{\beta} \sqrt{i - \frac{i^2}{n+1} - \frac{3i^2(n-i+1)^2}{n(n+1)(n+2)}}, \quad (\text{III.348})$$

$$m_{s_i} = m_s \sqrt{1 - \frac{1}{n}}, \quad (\text{III.349})$$

$$m_{t_{i+1}} = m_s \sqrt{i - \frac{i^2}{n}}, \quad (\text{III.350})$$

$$m_{u_{i+1}} = \frac{m_{\beta}}{\rho} s_{\text{ср}} \times \sqrt{\frac{i(i+1)(2i+1)}{6} - \frac{i^2(i+1)^2}{4(n+1)} - \frac{i^2(i+1)^2(3n-2i+2)^2}{12n(n+1)(n+2)}}, \quad (\text{III.351})$$

в которых m_{β} и m_s — средние квадратические погрешности измеренных углов и линий. Эти величины по материалам одного хода определяют из выражений

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ \frac{f_{\beta}}{n+1} + \frac{12}{n+3} \left(\frac{u}{L} \rho \right)^2 \right\}}, \quad (\text{III.352})$$

$$m_s = \frac{t}{\sqrt{n}}. \quad (\text{III.353})$$

Однако найденные значения будут весьма ненадежны, поэтому для получения m_B и m_s следует пользоваться формулами, приведенными в задаче III.8.

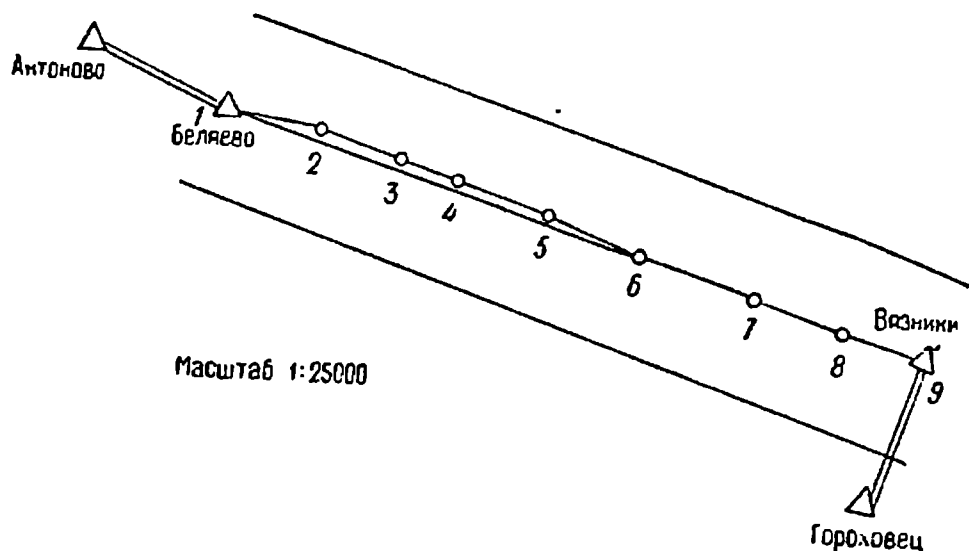


Рис. 100

Пример 3. Произвести уравнивание вытянутого полигонометрического хода (рис. 100) с примерно равными сторонами, проложенного между твердыми пунктами Антоново и Беляево трехгрупповым способом. Вычислить средние квадратические погрешности уравненных пятого дирекционного угла и продольного и поперечного сдвига 5-го пункта. Исходные данные приве-

Таблица 96

Исходные данные

Дирекционные углы		Координаты, м			
Антоново — Беляево α_n	Вязники — Гороховец α_k	Беляево		Вязники	
		x	y	x	y
108° 45' 05"	139° 59' 30"	6170,060	10 860,900	5171,206	14 162,643

Таблица 97

Измеренные величины

№ пункта	Углы поворота (левые) β	Длины сторон s , м	Точность полевых измерений
Беляево 1	180° 05' 06,2"		$m_B = 2''$ $m_s = (15 + 3 \cdot 0,43) =$ $= 16,3 \text{ мм}$
2	174 28 47,8	430,010	
3	179 33 18,0	428,535	
4	180 59 11,0	211,303	
5	181 16 38,1	450,000	
6	182 20 11,9	481,555	
7	183 50 41,3	580,998	
8	178 30 16,7	442,302	
Вязники 9	210 10 05,0	429,141	

депы в табл. 96; измеренные величины: углы и линии, измеренные светодальномером СТ-65, в табл. 97; точность полевых измерений вычислена в табл. 97.

Пример решают в табл. 98.

1. Производят исследование формы хода на критерии выпуклости (см. задание III.7), в результате которого находят величины: $\frac{[s]}{L} = 1,00$; $\alpha_0 = 5^\circ$ и $\eta_0 = 45$ м (см. рис. 100). Эти величины сравнивают с предельными значениями, вычисленными по формулам (III.100)—(III.102). По полученным результатам: $1,00 < 1,3$; $5^\circ < 30^\circ$ и $45 \text{ м} < 431 \text{ м}$, ход можно отнести к хорошо выпуклому.

2. Вычисляют угловую невязку f_β и пред f_β , а затем по формуле (III.315) находят первичные поправки в углы. По исправленным за первичную поправку углам производят предварительные вычисления в порядке, указанном в задании III.8, и получают невязки f_x , f_y , f_s , пред f_s и $\frac{f_s}{[s]}$. Вычисления записывают в графах 1—7 (табл. 98).

3. Определяют продольную и поперечные невязки t и u по формулам (III.160) и величину L по формуле (III.161). Невязки t и u для контроля следует определить вторично графическим путем (см. задание III.8).

4. Вычисляют вторичные поправки в углы, поправки в дирекционные углы и поправки в линии. Для этого сначала по формулам (III.338) и (III.340) находят величины v_s и $\Delta\theta$ (с тремя значащими цифрами), затем, чтобы предотвратить появление остаточных невязок при заключительном контроле, величины v'_s и $\Delta\theta'$ по формулам (III.346) и вычисляют далее отношения v_s/v'_s и $\Delta\theta/\Delta\theta'$, которые оказались равными единице, что свидетельствует об очень хорошей выпуклости хода. Это обстоятельство позволяет вычислить поправки v_β и v_α по формулам (III.342), (III.343) с величинами $\Delta\theta$, а не $\Delta\theta'$ и в длины линий ввести поправки v_s , а не v'_s .

Контролем вычисления поправок служат равенства (III.319) и $[v_s] = -t$.

5. Вычисляют поправки в приращения координат $v_{\Delta x}$ и $v_{\Delta y}$ по формулам (III.345). Заключительным контролем вычислений служат равенства (III.304).

6. Получают по исправленным приращениям уравненные значения координат.

7. Производят вычисления средних квадратических погрешностей уравненных значений пятого дирекционного угла, продольного и поперечного сдвига пятой вершины. Вычисления выполняют по формулам (III.348) и (III.350)—(III.351) и записывают в табл. 99. (Величины m_β и m_s вычислены по материалам данного хода по формулам (III.352)—(III.353).

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Задание выполняет каждый студент, уравнявая ходы методами, указанными преподавателем.

Ведомость уравнивания вытянутого светодальномерного полигонометрического хода
с примерно равными сторонами

Т а б л и ц а 98

№ пункта	Углы поворота (левые) β	Дирекционные углы α	Длины линий $S, \text{ м}$	$\cos \alpha$ $\sin \alpha$	Поправки координат, м		Координаты, м	
					Δx	Δy	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Автоново								
Беляево 1	+1,0 180° 05' 06,2"	108° 45' 05,0"		-0,322872 +0,946442	+4 -138,838	+7 +406,980	6170,060	10 860,900
2	+1,0 174 28 47,8	108 50 12,2	430,010	-0,230338 +0,973111	+10 -98,708	+8 +417,012	6031,226	11 267,897
3	+1,0 179 33 18,0	103 19 01,0	428,535	-0,222778 +0,974869	+6 -47,075	+6 +205,998	5932,528	11 684,907
4	+1,0 180 59 11,0	102 52 20,0	211,308	-0,239531 +0,970889	+15 -107,789	+9 +436,900	5885,459	11 890,911
5	+1,0 181 16 38,1	103 51 32,0	450,000	-0,261118 +0,965306	+15 -125,743	+10 +464,948	5777,685	12 327,820
6	+1,0 182 20 11,9	105 08 11,1	481,555	-0,300262 +0,953857	+17 -174,452	+11 +554,189	5651,957	12 792,678
7	+1,0 183 50 41,3	107 28 24,0	580,998	-0,363549 +0,931575	+9 -160,798	+9 +412,038	5477,522	13 346,878
8	+1,0 178 30 16,7	111 19 06,3	442,302	-0,339121 +0,940743	+4 -145,531	+7 +403,711	5316,733	13 753,925
Вязники 9	+1,0 210 10 05,0	109 49 24,0	429,141				5171,206	14 162,643
Гороховец								
$\Sigma \beta_{\text{изм}}$	1651° 14' 16,0"	$ \Sigma =$	3453,849	$\Sigma =$	-998,934	+3301,676		
$\Sigma \beta_{\text{теор}}$	1651 14 25,0	$L =$	3448	$f_x =$	-0,080	$f_y = -0,067$		
f_β	9,0"			$f_s =$	0,107	$\frac{1}{[s]} = \frac{1}{30\,000}$		
пред f_β	± 15,0"			пред $f_s =$	0,132			

№ пункта	аДх. м	аДу. м	Поправки линий v_s , мм	Поправки углов v_β	Поправки дирекци- онных углов v_α	$v_s \cos \alpha$	$-\Delta\theta a\Delta u$	Поправки $v_{\Delta x}$, мм	$v_s \sin \alpha$	$\Delta\theta a\Delta x$	Поправки $v_{\Delta y}$, мм
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Антоново Беляево 1											
2	-74	+217	+5,2	-3,0	-3,0	-1,7	+6,0	+4,3	+4,9	+2,1	+7,0
3	-92	+389	+5,3	-2,3	-5,3	-1,2	+10,8	+9,6	+5,1	+2,8	+7,9
4	-57	+246	+5,2	-1,5	-6,8	-1,2	+6,9	+5,7	+5,1	+1,6	+6,7
5	-144	+582	+5,3	-0,8	-7,6	-1,2	+16,2	+15,0	+5,1	+4,0	+9,1
6	-168	+600	+5,2	0	-7,6	-1,4	+16,6	+15,2	+5,0	+4,7	+9,7
7	-209	+665	+5,3	+0,8	-6,8	-1,6	+18,5	+16,9	+5,0	+5,8	+10,8
8	-150	+384	+5,2	+1,5	-5,3	-1,9	+10,7	+8,8	+4,9	+4,2	+9,1
Вязники 9 Гороховец	-78	+215	+5,3	+2,3	-3,0	-1,7	+6,0	+4,3	+4,9	+2,2	+7,1
Σ	-972	+3318	42	0,0				79,8			67,2

Вспомогательные вычисления

$$z = -0,042;$$

$$u = +0,096;$$

$$v_s = +52,5 \cdot 10^{-4}$$

$$v'_s = +52,4 \cdot 10^{-4};$$

$$\frac{v'_s}{v_s} = 1,00.$$

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta\theta'} = 1,01;$$

Вычисляла Т. П. Володина

Оценка точности уравненных элементов вытянутого
полигонометрического хода

№ пункта	m_β	$\sqrt{(\dots)}$	m_α	m_s , мм	$s_{\text{ср}}$	$\sqrt{1 - \frac{i^2}{n}}$	m_l	$\frac{m_\beta}{\rho}$	$\sqrt{(\dots)}$	m_u
5	4,7"	0,75	3,5"	14,8	432	1,37	0,020	$23 \cdot 10^6$	1,82	0,018

Вычисляла Т. П. Володина

ЗАДАНИЕ III. 11

УРАВНИТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ
В ПОЛИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

1. Задача: произвести уравнивание результатов полевых измерений, полученных при проложении системы полигонометрических ходов, и вычислить координаты пунктов; произвести оценку точности уравненных элементов.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н. Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962, § 130—133.

Большаков В. Д., Гайдаев П. А. Теория математической обработки геодезических измерений. М., «Недра», 1977, § 58, 63, 68, 69.

III. Пособия и принадлежности: настольная электронная клавишная вычислительная машина или арифмометр, счеты, логарифмическая линейка, шестизначные таблицы тригонометрических функций, транспортир, масштабная линейка, бланки для вычислений.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) уравнивание полигонометрической сети коррелятным способом;

2) уравнивание полигонометрической сети отдельными способами:

— эквивалентной замены,

— последовательных приближений.

Полигонометрические сети можно уравнивать, применяя способы:

1) строгие (по методу наименьших квадратов);

2) пестрые (раздельные способы уравнивания).

Строгое уравнивание выполняется под условием минимума суммы произведений квадратов поправок во все измеренные в сети величины на их веса. При этом все входящие в сеть ходы должны быть уравнены совместно.

При строгом уравнивании обычно применяют коррелятный способ, предпочитая его параметрическому, так как даже при большом числе измеренных величин (углов и линий) число условных уравнений в сети остается небольшим.

Для упрощения вычислений при наличии опорных дирекционных углов на узловых точках сети эффективно применить двухгрупповой коррелятный способ. При отсутствии опорных дирекционных углов применение группового уравнивания не дает существенных преимуществ, поэтому уравнивание таких сетей ведут коррелятным способом или коррелятным способом с дополнительными неизвестными.

При уравнивательных вычислениях используют ЭЦВМ, особенно при уравнивании больших полигонометрических сетей, когда число условных уравнений будет значительным.

При нестрогих раздельных способах уравнивания сначала уравнивают углы, потом (отдельно от углов и раздельно между собой) приращения абсцисс и ординат. При этом допускают следующие нарушения строгости уравнивания:

- условные уравнения решают не совместно;
- условные уравнения абсцисс и ординат решают под условием минимума суммы квадратов поправок не непосредственно измеренных (независимых) величин, а их функций, зависящих между собой.

Раздельное уравнивание можно производить: способом эквивалентной замены, способом последовательных приближений, способом полигонов и методом узлов В. В. Попова. Этими способами получают дирекционные углы узловых направлений и координаты узловых пунктов, а затем, используя их как исходные, уравнивают отдельные ходы также нестрогим способом, распределяя поправки в приращениях координат прямо пропорционально или числу линий (при измерении светодальномерами) или длинам линий (при измерении проволокой).

В раздельном способе уравнивания веса звеньев при определении узловых дирекционных углов принимают равными величинам, обратно пропорциональным числу измеренных углов в ходе

$$p_a = \frac{c}{n+1}, \quad (\text{III.354})$$

а веса при определении координат узловых точек — величинам, обратно пропорциональным числу сторон ходов при измерении линий светодальномерами

$$p_x = p_y = \frac{c}{n}. \quad (\text{III.355})$$

и обратно пропорциональным длинам ходов при других способах измерений линий

$$p_x = p_y = \frac{c}{[s]}. \quad (\text{III.356})$$

Подобный подсчет весов координат является приближенным, так как при этом не учитывается влияние угловых погрешностей, которое при значительном числе углов становится доминирующим.

Формулы (III.355)—(III.356) для подсчета весов могут быть применены в случае, когда в сети угловые измерения выполнены заведомо точнее линейных, и в случае, если уравниваются сети малой точности. При более строгом подсчете весов следует пользоваться формулой

$$p_x = p_y = \frac{c}{M^2}, \quad (\text{III.357})$$

где M — средняя квадратическая погрешность положения конечной точки хода, вычисляемая для различных ходов по формулам, приведенным в задаче III.6.

Уравнивание полигонометрических сетей 4 класса, согласно Инструкциям [14] и [15], следует производить строгим, а 1 и 2 разрядов — отдельными способами.

1. Уравнивание полигонометрической сети коррелятным способом. Уравнивание начинают с подсчета общего числа условий, возникающих в сети, которое определяют по формуле

$$r = (N + T - 1) 3 + Q, \quad (\text{III.358})$$

где N — число замкнутых полигонов;

T — число твердых исходных пунктов;

Q — число твердых дирекционных углов на узловых точках.

При этом число угловых (азимутальных) условий будет

$$r_a = N + T - 1 + Q, \quad (\text{III.359})$$

а число координатных

$$r_k = (N + T - 1) 2. \quad (\text{III.360})$$

Руководствуясь схемой сети, намечают полигоны, замкнутые или опирающиеся на исходные пункты. При этом необходимо следить за тем, чтобы ни один ход сети не остался не включенным в полигон и чтобы условия, возникающие в выбранных полигонах, были независимые. Поэтому намечают сначала все замкнутые полигоны, а затем разомкнутые, придерживаясь при этом правила: двигаться от уже использованного исходного пункта к пункту, включаемому впервые.

Все выбранные полигоны намечают на схеме, нумеруют, например римскими цифрами, а направления обхода показывают стрелкой.

По числу условий составляют для каждого намеченного полигона условные уравнения: азимутальные — вида (III.283) и координатные — вида (III.284)—(III.285). При этом в условные уравнения включают поправки углов и линий всех ходов, входящих в полигон. Свободные члены условных уравнений — невязки f_β , f_x и f_y — вычисляют для полигонов.

Условные уравнения для полигона с помером I , где $I = I, II, \dots, N$, в который входит i ходов, где $i = 3, 4, \dots, n$, будут иметь вид

$$[v_\beta]_1 + [v_\beta]_2 + \dots + [v_\beta]_i + f_{\beta I} = 0, \quad (\text{III.361})$$

$$\begin{aligned} & [v_s \cos \alpha]_1 + [v_s \cos \alpha]_2 + \dots + [v_s \cos \alpha]_i - \\ & - \frac{1}{\rho} [v_\beta (y_k - y)]_1 - \frac{1}{\rho} [v_\beta (y_k - y)]_2 - \\ & - \dots - \frac{1}{\rho} [v_\beta (y_k - y)]_i + f'_{xI} = 0, \end{aligned} \quad (\text{III.362})$$

$$\begin{aligned} & [v_s \sin \alpha]_1 + [v_s \sin \alpha]_2 + \dots + [v_s \sin \alpha]_i + \\ & + \frac{1}{\rho} [v_\beta (x_k - x)]_1 + \frac{1}{\rho} [v_\beta (x_k - x)]_2 + \\ & + \dots + \frac{1}{\rho} [v_\beta (x_k - x)]_i + f'_{yI} = 0. \end{aligned} \quad (\text{III.363})$$

Здесь x_k, y_k — координаты конечной точки полигона.

В случае наличия твердых дирекционных углов на узловых точках сети число условных уравнений согласно (III.359) увеличивается за счет того, что образуются дополнительные угловые условия для полигонов, образующихся между исходным и твердым дирекционным углами на узловой точке или между твердым дирекционным углами на узловых точках.

По условным уравнениям составляют таблицу коэффициентов условных уравнений, аналогично табл. 86 (задания III.10). Обратные веса измеренных углов и линий вычисляют в соответствии с формулами для весов, приведенных в задании III.10. Коэффициенты условных уравнений при поправках при записи в таблицу обозначают в первом уравнении через a_i , во втором через b_i и т. д.

По коэффициентам условных уравнений составляют нормальные уравнения коррелат, коэффициенты которых получают в соответствующей таблице.

По найденным из решения нормальных уравнений коррелатам, вычисляют поправки в углы и линии по формулам

$$v_{\beta i} = q_\beta (a_i k_1 + b_i k_2 + \dots + t_i k_r), \quad (\text{III.364})$$

$$v_{s i} = q_s (a_i k_1 + b_i k_2 + \dots + t_i k_r). \quad (\text{III.365})$$

Коэффициенты $a_i, b_i, \dots, t_i$ для формулы (III.364) берут из таблицы коэффициентов условных уравнений из i -строки для поправок в углы, для формулы (III.365) — из i -строки для поправок в линии.

Поправки в приращения координат $v_{\Delta x}$ и $v_{\Delta y}$ получают по формулам (III.302), с контролем по равенствам (III.304).

Уравненные координаты вычисляют по исправленным за поправки приращениям.

Оценку точности уравненных элементов сети производят так же, как и уравненных элементов хода (см. задание III.10).

Пример 1. Произвести уравнивание коррелятным способом полигонометрической сети, изображенной на рис. 101, и вычислить средние квадратические погрешности уравненных значений координат узлового пункта *N*.

Исходные данные приведены в табл. 100, а измеренные: углы поворота β , длины линий s , измеренные светодальномером СТ-65, и точность полевых измерений, — в табл. 101.

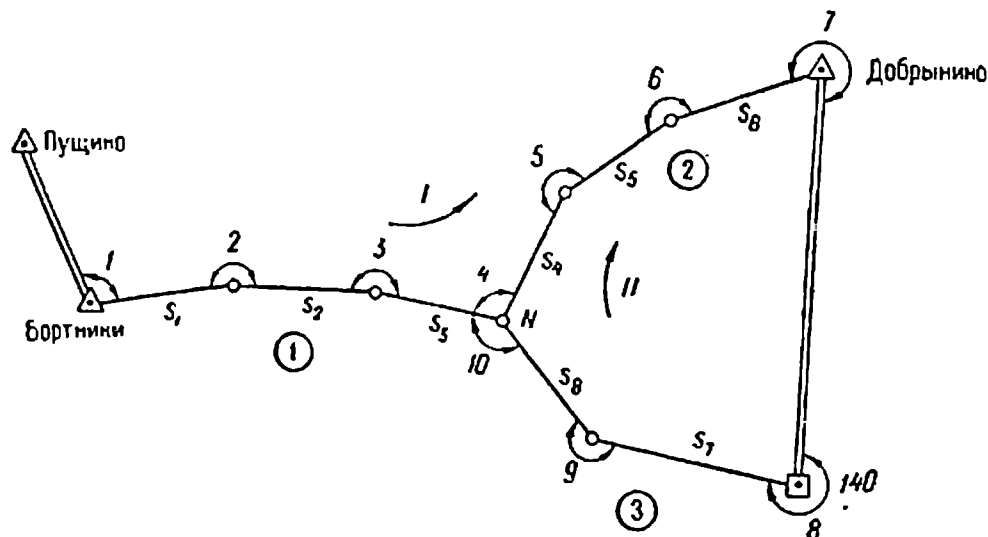


Рис. 101.

Решение производят в определенной последовательности.

1. Подсчитывают по формуле (III.358) число условий, возникающих в сети $r = (0 + 3 - 1) 3 + 0 = 6$, и намечают полигоны I и II.

2. Выполняют по каждому из намеченных полигонов предварительные вычисления и записывают их в графах 1—9 табл. 102 и 103. Вычисления производят в таком же порядке, как в примере 1 задания III.10.

3. Составляют для каждого полигона условные уравнения по формулам (III.361)—(III.363), которые для данной сети будут иметь вид.

I полигон

$$1) [v_{\beta}]_1 + [v_{\beta}]_2 + f_{\beta I} = 0;$$

$$2) [v_s \cos \alpha]_1 + [v_s \cos \alpha]_2 - \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (y_d - y)]_1 - \\ - \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (y_d - y)]_2 + f'_{x1} = 0;$$

$$3) [v_s \sin \alpha]_1 + [v_s \sin \alpha]_2 + \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (x_d - x)]_1 + \\ + \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (x_d - x)]_2 + f'_{y1} = 0.$$

Исходные данные

Дирекционные углы		Координаты, м	
Пуцпыно— Зортпыкп $\alpha_{\text{п}}$	Добрыпыно—140 $\alpha_{\text{к}}$	Бортпыкп	
		x	y
177° 49' 42,7"	184° 02' 20,0"	7523,324	10887,336

Продолжение табл. 100

Координаты, м			
Добрыпыно		140	
x	y	x	y
7963,097	14768,450	6208,300	13802,250

Таблица 101

Измеренные величины

№ пункта	Углы поворота (левые) β	Длины линий s, м	Точность полевых измерений
Бортпыкп 1	101° 35' 22,5"		$m_{\beta} = 2''$ $m_s = (15 + 3 \cdot s_{\text{ср}}, \text{км}) =$ $= (15 + 3 \times$ $\times 0,7) = 17 \text{ мм}$
2	183 40 16,1	742,625	
3	182 15 10,0	700,383	
4	118 22 33,7	650,575	
5	210 13 48,2	710,834	
6	189 36 24,5	750,002	
Добрыпыно 7	280 28 59,9	630,912	
140 (8)	291 41 05,2	—	
9	225 54 52,0	730,814	
10	242 04 48,9	680,331	

II полигон

$$4) [v_{\beta}]_1 + [v_{\beta}]_3 + f_{\beta \text{ II}} = 0;$$

$$5) [v_s \cos \alpha]_1 + [v_s \cos \alpha]_3 - \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (y_{\text{д}} - y)]_1 - \\ - \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (y_{\text{д}} - y)]_3 + f'_{x \text{ II}} = 0;$$

$$6) [v_s \sin \alpha]_1 + [v_s \sin \alpha]_3 + \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (x_{\text{д}} - x)]_1 + \\ + \frac{1}{\rho} [v_{\beta} (x_{\text{д}} - x)]_3 + f'_{y \text{ II}} = 0.$$

Ведомость предварительных вычислений и результатов уравнивания полигона I при уравнивании полигонометрической сети коррелятным способом (при измерении сторон светодальномером)

№ пункта	Углы поворота (левые) β	Дирекционные углы α	Длины линий S, N	$\cos \alpha$ $\sin \alpha$	Приращенные координат. м		Вычисленные координаты. м	
					Δx	Δy	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пуццо								
Бортники 1	-4,9 101° 35' 22,5"	177° 49' 42,7"	-1,5	-0,163637	-121,521	+732,629	7523,324	10 887,336
2	-2,4 183 40 16,1	99 25 05,2	742,625	+0,986540			7401,803	11 619,965
3	0 182 15 10,0	103 05 21,3	700,383	-0,226448	-158,614	+682,186	7243,189	12 302,151
4	+2,2 118 22 33,7	105 20 31,3	-7,1	-0,974019	-72,129	+627,390	7171,060	12 929,541
5	+2,4 210 13 48,2	43 43 05,0	650,575	+0,964363	+513,755	+491,264	7684,815	13 420,805
6	+2,5 189 36 24,5	73 56 53,2	-9,6	+0,722750	+207,382	+720,761	7892,197	14 141,566
Добрынно 7	+2,6 280 28 50,9	-0,2	750,002	+0,691110	+70,820	+626,925	7963,017	14 768,491
140		+2,4 184 02 17,6	630,912	+0,112251			7963,097	14 768,450
		184 02 20,0		+0,993680				
		$f\beta = -2,4''$	4,186 км				$f_x = -0,080$	$f_y = +0,041$
		пред $f\beta = \pm 13,2''$					$f_s = 0,089$	
							пред $f_s = 0,099$	
							$\frac{f_s}{[s]} = \frac{1}{47\,000}$	

$x_k - x_i$	$y_k - y_i$	№ пункта	$-0,485 \cdot \Delta y$ км	$+0,485 \cdot \Delta x$ км	$v_{\Delta x}$ см	$v_{\Delta y}$ см	Уравненные координаты, N	
							x	y
10	11	12	13	14	15	16	17	18
+0,440 +0,561 +0,720 +0,792 +0,278 +0,071	+3,881 +3,149 +2,466 +1,839 +1,348 +0,627	Пушино						
		Бортники 1	-0,355	-0,059	+1,75	+0,14	7523,324	10 887,336
		2	-0,331	-0,077	+2,52	+0,07	7401,820	11 619,966
		3	-0,304	-0,035	+2,40	-0,43	7243,231	12 302,153
		N 4	-0,238	+0,249	+0,73	-1,72	7171,126	12 929,539
		5	-0,350	+0,100	+0,68	-1,19	7684,888	13 420,786
		6	-0,304	+0,034	-0,05	-0,99	7892,277	14 141,535
		Добрынино 7					7963,097	14 768,450
		140			$\Sigma v_{\Delta x} + 8,03$ $f_x - 8,00$	$\Sigma v_{\Delta y} - 4,12$ $f_y + 4,10$		

Вычислял В. В. Кузин

Т а б л и ц а 103

Ведомость предварительных вычислений к результатам уравнивания полигона II при уравнивании полигонометрической сети коррелятным способом (при измерении сторон светодальномерами)

№ пункта	Углы поворота (левые) β	Дирекционные углы α	Длина линий s, m	$\cos \alpha$ $\sin \alpha$	Приращение координат, м		Координаты, м	
					Δx	Δy	x	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Добрынино								
140	8	184° 02' 20,0"	—6,4	+0,434031	+317,196	—658,389	6208,300	13 802,250
	9	295 43 25,2	730,814	—0,900898	+645,693	—214,316	6525,496	13 143,861
	10	341 38 17,2	680,331	—0,315018	+513,752	+491,267	7171,189	12 929,545
	5	43 43 06,1	—6,6	+0,722746	+207,378	+720,762	7684,941	13 420,812
	6	73 56 54,3	710,834	+0,691114	+70,817	+626,925	7892,319	14 141,574
	7	83 33 18,8	—9,6	+0,276503			7963,136	14 768,499
		184 02 18,7	750,002	+0,961013			7963,097	14 768,450
Добрынино			630,912	+0,112246				
140				+0,993680				
		184 02 20,0						
		$f_{\beta} = -1,3''$	3,503 км				$f_x = +0,039$	$f_y = +0,049$
		пред $f_{\beta} = \pm 12,2''$					$f_s = 0,064$	
							пред $f_s = 0,082$	
							$\frac{f_s}{[s]} = \frac{1}{55\,000}$	

x _K - y _l	y _K - y _l	№ пункта	-0,485·Δy. км	+0,485·Δx. м	v _{Δx} , см	v _{Δy} , с.	Уравненные координаты, м	
							x	y
10	11	12	13	14	15	16	17	18
+1,755	+0,966	Добрышно 140 (8)	+0,319	+0,154	-1,64	-0,07	6208,300	13 802,250
+1,438	+1,625	9	+0,104	+0,313	-4,62	-0,52	6525,479	13 143,860
+0,792	+1,839	N 10	-0,238	+0,249	+0,98	-1,99	7171,126	12 929,539
+0,278	+1,348	5	-0,350	+0,100	+1,07	-1,30	7684,888	13 420,786
+0,071	+0,627	6	-0,304	+0,034	+0,28	-1,02	7892,277	14 141,535
		Добрышно 7					7963,097	14 768,450
		140			Σv _{Δx} -3,93	Σv _{Δy} -4,90		
					f _x +3,90	f _y +4,90		

Вычислил В. В. Кузин

Примечание. В случае если бы на точке N был определен твердый дирекционный угол, азимутальных условий было бы три, $r_s = 0 + 3 - 1 + 1 = 3$, и они имели бы вид

$$[v_\beta]_1 + f_\beta = 0;$$

$$[v_\beta]_2 + f_\beta = 0;$$

$$[v_\beta]_3 + f_\beta = 0.$$

Для упрощения дальнейших вычислений (см. пояснения к примеру 1 задания III.10) умножают коэффициенты условных уравнений на корни квадратные из обратных весов $\sqrt{q_\beta} = 1$ и $\sqrt{q_s} = m_s/m_\beta = 0,85$. Тогда преобразованные условные уравнения (расписанные почленно) с учетом размерности входящих в них величин и вычисленных невязок запишутся так.

I полигон

$$1) \quad v_{\beta_1} + v_{\beta_2} + v_{\beta_3} + v_{\beta_4} + v_{\beta_5} + v_{\beta_6} + v_{\beta_7} - 2,4'' = 0;$$

$$2) \quad 0,850 \{v_s \cos \alpha_1 + v_s \cos \alpha_2 + v_s \cos \alpha_3 + v_s \cos \alpha_4 + v_s \cos \alpha_5 + v_s \cos \alpha_6\} - 0,485 \{(y_D - y_B)_{\text{км}} v_{\beta_1} + (y_D - y_2)_{\text{км}} v_{\beta_2} + (y_D - y_3)_{\text{км}} v_{\beta_3} + (y_D - y_N)_{\text{км}} v_{\beta_4} + (y_D - y_6)_{\text{км}} v_{\beta_5} + (y_D - y_0)_{\text{км}} v_{\beta_6}\} - 8,0 \text{ см} = 0;$$

$$3) \quad 0,850 \{v_s \sin \alpha_1 + v_s \sin \alpha_2 + v_s \sin \alpha_3 + v_s \sin \alpha_4 + v_s \sin \alpha_5 + v_s \sin \alpha_6\} + 0,485 \{(x_D - x_B)_{\text{км}} v_{\beta_1} + (x_D - x_2)_{\text{км}} v_{\beta_2} + (x_D - x_3)_{\text{км}} v_{\beta_3} + (x_D - x_N)_{\text{км}} v_{\beta_4} + (x_D - x_5)_{\text{км}} v_{\beta_5} + (x_D - x_0)_{\text{км}} v_{\beta_6}\} + 4,1 \text{ см} = 0.$$

II полигон

$$4) \quad v_{\beta_7} + v_{\beta_8} + v_{\beta_9} + v_{\beta_{10}} + v_{\beta_{11}} + v_{\beta_{12}} - 1,3'' = 0;$$

$$5) \quad 0,850 \{v_s \cos \alpha_7 + v_s \cos \alpha_8 + v_s \cos \alpha_9 + v_s \cos \alpha_{10} + v_s \cos \alpha_{11} + v_s \cos \alpha_{12}\} - 0,485 \{(y_D - y_{140}) v_{\beta_7} + (y_D - y_0) v_{\beta_8} + (y_D - y_N) v_{\beta_9} + (y_D - y_6) v_{\beta_{10}} + (y_D - y_5) v_{\beta_{11}} + (y_D - y_0) v_{\beta_{12}}\} + 3,9 \text{ см} = 0;$$

$$6) \quad 0,850 \{v_s \sin \alpha_7 + v_s \sin \alpha_8 + v_s \sin \alpha_9 + v_s \sin \alpha_{10} + v_s \sin \alpha_{11} + v_s \sin \alpha_{12}\} + 0,485 \{(x_D - x_{140}) v_{\beta_7} + (x_D - x_2) v_{\beta_8} + (x_D - x_N) v_{\beta_9} + (x_D - x_6) v_{\beta_{10}} + (x_D - x_5) v_{\beta_{11}} + (x_D - x_0) v_{\beta_{12}}\} + 4,9 \text{ см} = 0.$$

4. По полученным уравнениям составляют таблицу коэффициентов условных уравнений (верхняя часть табл. 104), при этом коэффициенты при поправках в преобразованных условных уравнениях обозначают буквами: в первом a_i , во втором b_i , ..., в шестом g_i .

Разности координат между конечной и i -точкой полигона ($x_k - x_i$) и ($y_k - y_i$) (выраженные в км) вычисляют в графах 10 и 11 табл. 102 и 103. Вычисление коэффициентов условных уравнений выполняют на логарифмической линейке (с округлением до 0,01).

5. Составляют в соответствии с (III.310)—(III.311) приращеня весовых функций для оценки точности уравненных значений координат узлового пункта N , которые также преобразовывают, умножая коэффициенты на корни квадратные из соответствующих обратных весов.

Весовые функции можно составить по любому из трех направлений: или от исходного пункта Бортники через 2 и 3 пункты, или от исходного пункта 140 через пункт 9, или от исходного пункта Добрынино через пункты 6 и 5.

Для сокращения вычислений обычно выбирают наиболее короткий путь.

В примере все направления имеют практически одинаковое число пунктов, поэтому, избрав первый путь, напишем

$$\begin{aligned}\Delta F_{x_N} &= 0,850 \{v_s, \cos \alpha_1 + v_s, \cos \alpha_2 + v_s, \cos \alpha_3\} - \\ &- 0,485 \{(y_N - y_B) v_B, + (y_N - y_2) v_B, + (y_N - y_3) v_B\}; \\ \Delta F_{y_N} &= 0,850 \{v_s, \sin \alpha_1 + v_s, \sin \alpha_2 + v_s, \sin \alpha_3\} + \\ &+ 0,485 \{(x_N - x_B) v_B, + (x_N - x_2) v_B, + (x_N - x_3) v_B\}.\end{aligned}$$

Коэффициенты весовых функций (до 0,01) вписывают в графы 8—9 табл. 104.

Контролируют составление таблицы коэффициентов условных уравнений вычислением сумм по строкам (s') и по столбцам (Σ).

6. Вычисляют (с округлением до 0,01) коэффициенты шести нормальных уравнений коррелат (нижняя часть табл. 104).

7. Решают нормальные уравнения коррелат методом последовательного исключения неизвестных по сокращенной схеме вычислений (табл. 105). Найденные значения коррелат (с округлением до 0,001) проверяют подстановкой их в суммарное уравнение, коэффициенты и свободный член которого образуют суммирование коэффициентов и свободных членов нормальных уравнений,

$$+4,13k_1 + 1,76k_2 + 6,51k_3 + 7,20k_4 - 0,44k_5 + 7,04k_6 + 1,20 = 0$$

или

$$+33,39 + 12,33 + 6,18 - 39,61 + 3,05 - 16,54 + 1,20 = 0.$$

8. Вычисляют поправки в углы и линии по формулам, которые с учетом выполненных преобразований примут вид

$$v_{B_i} = a_i k_1 + b_i k_2 + c_i k_3 + d_i k_4 + e_i k_5 + g_i k_6$$

$$v_{s_i} = \sqrt{q_s} (b_i k_2 + c_i k_3 + e_i k_5 + g_i k_6).$$

Таблица коэффициентов условных уравнений и нормальных уравнений коррелят

Поправки	a]	b]	c]	d]	e]	g]	F _x]	F _y]	s'	$\sqrt{q}$	v	$pv = v : (\sqrt{q})^2$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
v_{β_1}	+1,00	-1,88	+0,21				-0,99	-0,17	-1,83	1,00	-4,89	-4,89
v_{β_2}	+1,00	-1,53	+0,27				-0,63	-0,14	-1,03	1,00	-2,38	-2,38
v_{β_3}	+1,00	-1,20	+0,35				-0,30	-0,06	-0,21	1,00	0	0
v_{β_4}	+1,00	-0,89	+0,38						+0,49	1,00	+2,20	+2,20
v_{β_5}	+1,00	-0,65	+0,13	+1,00	-0,65	+0,13			+0,96	1,00	+2,34	+2,34
v_{β_6}	+1,00	-0,30	+0,03	+1,00	-0,30	+0,03			+1,46	1,00	+2,52	+2,52
v_{β_7}	+1,00			+1,00					+2,00	1,00	+2,58	+2,58
v_{β_8}				+1,00	-0,47	+0,85			+1,38	1,00	-4,24	-4,24
v_{β_9}				+1,00	-0,79	+0,70			+0,91	1,00	-1,67	-1,67
$v_{\beta_{10}}$				+1,00	-0,89	+0,38			+0,49	1,00	-0,23	-0,23
v_{ϵ_1}		-0,14	+0,84				-0,14	+0,84	+1,40	0,850	-0,15	
v_{ϵ_2}		-0,19	+0,83				-0,19	+0,83	+1,28	0,850	-0,50	

v_{s_0}	-0,23	+0,82				-0,23	+0,82	+1,18	0,850	-0,71
v_{s_1}	+0,61	+0,59			+0,61			+2,40	0,850	-0,66
v_{s_2}	+0,23	+0,82			+0,23			+2,10	0,850	-0,96
v_{s_3}	+0,10	+0,84			+0,10			+1,88	0,850	-0,99
v_{s_4}					+0,37			-0,40	0,850	-0,64
v_{s_5}					+0,81			+0,54	0,850	-4,23
Σ	+7,00	+6,11	+6,00	-0,98	+3,30	-2,48	+2,12	+15,00		[$p v^2$] = 103,28
w	-2,4	+4,1	-1,3	+3,9	+4,9					
k	+8,084	+0,950	-5,502	-6,926	-2,350					
$[a]$	+7,00	+1,37	+3,00	-0,95	+0,16	-1,92	-0,37	+1,84	-0,56	
$[b]$		-1,49	-0,95	+0,95	+0,54	+3,29	+0,15	+5,20	-2,80	
$[c]$		+4,19	+0,16	+0,54	+1,74	-0,95	+1,98	+7,54	+11,64	
$[d]$			+6,00	-3,10	+2,09			+7,20	+5,90	
$[e]$				+3,38	-1,26			-0,44	+3,46	
$[g]$					+3,77	+1,58		+7,04	+11,94	
$[F_x]$										
$[F_y]$							+2,12			

Вычислял В. В. Кузья

Решение нормальных уравнений коррелят

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	W	F_x	F_y	s	Контроль
+7,00 -1 (-0,14286)	-6,45 +0,9214 +9,16 +3,217 -1 (-0,31085)	+1,37 -0,1957 -1,49 -0,228 +0,0709 +4,19 +3,906 -1 (-0,25620)	+3,00 -0,4286 -0,95 +1,814 -0,5639 +0,16 -0,298 +0,0763 +6,00 +3,668 -1 (-0,27263)	-0,95 +0,1357 +0,95 +0,075 -0,0233 +0,54 +0,731 -0,1873 -3,10 -2,679 +0,7304 +3,38 +1,155 -1 (-0,86580)	+0,16 -0,0229 +0,54 +0,687 -0,2136 +1,74 +1,758 -0,4504 +2,09 +1,768 -0,4820 -1,26 -0,292 +0,2528 +3,77 +1,901 -1 (-0,52604) -2,350	-2,40 +0,3429 -7,00 -10,211 +3,1741 +4,10 +3,848 -0,9853 -1,30 +5,781 -1,5761 +3,90 +7,314 -6,3325 +4,90 +4,467 -2,3498 -102,60 - $[p v^2]$	-1,92 +0,2743 +3,29 +1,521 -0,4728 -0,95 -0,466 +0,1194 0,00 -0,071 +0,0194 0,00 -0,261 +0,2260 0,00 -0,103 +0,0542 1,58 +0,20 + $\frac{1}{P_x}$	-0,37 +0,0529 +0,15 -0,191 +0,0594 +1,98 +2,038 -0,5221 0,00 +0,422 -0,1150 0,00 -0,120 +0,1039 0,00 -1,102 +0,5797 +2,12 +0,24 + $\frac{1}{P_u}$	-0,56 +0,0800 -2,80 -3,316 +1,0308 +11,64 +11,515 -2,9501 +5,90 +8,889 -2,4234 +3,46 +7,796 -6,7498 +11,94 +5,162 -2,7154	-0,56 +0,0800 -2,80 -3,316 +1,0308 +11,64 +11,515 -2,9494 +5,90 +8,889 -2,4233 +3,46 +7,796 -6,7498 +11,94 +5,163 -2,7159	
+8,084	+7,006	+0,950	-5,502	-6,926							

Оценка точности

$$\mu = m_\beta = \sqrt{\frac{103,3}{6}} = 4,2''; \quad M_{xN} = 4,2 \sqrt{0,20} = 1,98 \text{ см}; \quad m_\mu = \frac{4,2}{\sqrt{12}} = 1,21''; \quad m_{M_{xN}} = 1,21 \sqrt{0,20} = 0,54 \text{ см};$$

$$M_{yN} = 4,2 \sqrt{0,24} = 2,1 \text{ см}; \quad m_{M_{yN}} = 1,21 \sqrt{0,24} = 0,59 \text{ см}.$$

Выполнил В. В. Кузин

Контролируют вычисления равенствами

$$\begin{aligned} [v_B]_I &= -f_{\beta_I}; \\ [pv^2] &= -[kW] = -(k_1 f_{\beta_I} + k_1 f'_{x_I} + k_3 f'_{y_I} + k_4 f_{\beta_{II}} + \\ &+ k_5 f'_{x_{II}} + k_6 f'_{y_{II}}). \end{aligned}$$

Поправки v_B (с округлением до $0,1''$) и v_s (с округлением до $0,1$ см) выписывают в графы 2 и 4 табл. 102 и 103 над соответствующими значениями измеренных углов и линий. Поправки в дирекционные углы вычисляют по формуле (III.303) и вписывают их в графу 3 табл. 102 и 103.

9. Получают по формулам (III.302) в графах 15 и 16 поправки в приращения координат. Контролем вычислений служат равенства (III.304), которые должны выполняться по каждому полигону. Расхождение не должны превышать пределов, указанных в примере 1 задания III.10.

10. Вычисляют по исправленным приращениям уравненные координаты, которые записывают в 17 и 18 графы табл. 102 и 103.

11. Производят оценку точности. Среднюю квадратическую погрешность единицы веса (в данном примере равную m_B) вычисляют по формуле (III.314); средние квадратические погрешности уравненных координат узлового пункта N — по формуле (III.313). Значения обратных весов для вычисления по формуле (III.313) получают по формуле (III.312) в дополнительных столбцах F_u и F_v схемы решения нормальных уравнений (табл. 105). Погрешности самих погрешностей вычисляют по тем же формулам, что и в примере 1 задания III.10.

2. Уравнивание полигонометрической сети раздельным способом — способом эквивалентной замены. Сущность этого способа изложена в главе II, в задании II.4 «Уравнивательные вычисления при нивелировании III класса». Поэтому рассмотрим уравнивание полигонометрической сети непосредственно на примере.

Пример 2. Произвести уравнивание полигонометрической сети 1 разряда, опирающейся на пункты триангуляции (рис. 102), и оценку точности окончательных значений дирекционных углов узловых направлений и координат узловых точек. Исходные данные: дирекционные углы и координаты исходных пунктов и измеренные величины: углы поворота и длины линий, измеренные проволокой, приведены непосредственно в ведомостях вычислений (табл. 106). Для вычисления предельной угловой невязки величина m_B принята равной $5''$.

Решение примера приведено в табл. 106—110.

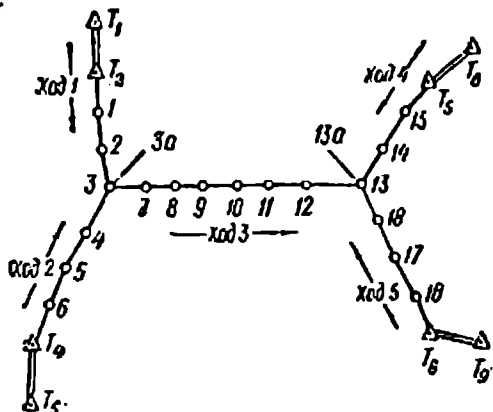


Рис. 102

Ведомость вычисления полигонометрических ходов

№ пункта	Углы поворота (левые) β	Дирекционные углы α	Длина линий s , м	$\cos \alpha$ $\sin \alpha$	Приращения координат, м		Координаты, м	
					Δx	Δy	x	y
T_1				Ход 1				
T_2	$201^\circ 10' 36''$	$152^\circ 37' 19''$		0,994148	+19	+23	+50 120,781	+40 505,855
1	+1	173 47 55	532,312	0,108024	+582,428	+110,734		
2	176 36 12	170 24 08	385,505	0,986002	+12	+16	+49 538,372	+40 616,612
3	+1	149 28 56	456,023	0,166731	-380,109	+64,276	+49 158,275	+40 680,904
3a	92 46 15	52 39 21		0,764750	+11	+20		
				0,644328	-348,744	+293,828	+48 809,542	+40 974,752
$\sum f_\beta$	620 01 59		1373,840		-1311,281	+468,838		
прог f_β	-3				$f_x = -0,042$	$f_y = -0,059$		
	± 20				$f_s = \pm 0,072$	$\frac{f_s}{[s]} = \pm \frac{1}{19000}$		
T_3				Ход 2				
T_4	+1	48 29 17		0,558807	-17	-9	+47 976,857	+39 582,450
6	187 32 18	56 01 36	514,859	0,829297	+287,707	+426,971	+48 264,547	+40 009,412
5	+1	200 53 34	405,308	0,226316	-13	-7	+48 356,262	+40 404,197
4	+1	167 10 09	400,005	0,974054	+91,728	+394,792	+48 531,040	+40 763,984
	+1	158 48 35	309,638	0,436972	-13	-7		
	+2			0,899475	+174,791	+359,794		
				0,732553	-10	-6		
				0,680710	+278,512	+210,774		

3 3a	180 45 22	52 30 21	1629,810	Ход 3	+832,738 $f_x = +0,053$ $f_s = 0,060$	+1392,331 $f_y = +0,029$ $\frac{f_s}{[s]} = \frac{1}{27\ 000}$	+48 809,542	+40 974,752
3a	904 09 58	232° 39' 21"						
3	29° 06' 15"	81 45 37	346,512	0,143315	-1	+9	+40 809,542	+40 974,752
7	192 48 20	94 33 59	523,805	0,989677	+49,660	+342,935	+48 859,201	+41 317,696
8	152 47 43	67 21 44	527,024	0,079614	-41,702	+522,142	+48 817,499	+41 839,852
9	174 48 33	62 10 19	357,885	0,996825	+202,854	+486,420	+49 020,352	+42 326,286
10	184 41 51	66 52 12	313,435	0,384904	-1	+8	+49 187,419	+42 642,792
11	190 22 31	77 14 45	302,294	0,922957	+123,123	+288,240	+49 310,541	+42 931,040
12	185 11 29	82 26 16	555,673	0,922957	+66,737	+294,836	+49 377,277	+43 225,884
13	84 50 12	347 16 20		0,131603	-1	+14	+49 450,404	+43 777,733
13a				0,991303	+72,128	+551,840		
Σ	1194 36 54		2926,628					
f _β	-14				+640,868	+2802,910		
прел f _β	±28				$f_x = +0,006$ $f_s = 0,076$	$f_y = -0,076$ $\frac{f_s}{[s]} = \frac{1}{38\ 000}$		

T_8	197° 47' 27"	329 55 52	345,250	0,865424	—24	—14	+48 385,564	+44 500,561
16	149 16 16	299 12 07	302,201	0,501041	+298,788	—172,984	+48 684,328	+44 327,563
17	197 51 44	317 03 51	400,523	0,487889	+147,440	—263,793	+48 831,747	+44 063,758
18	220 37 14	357 41 04	325,745	0,872905	+293,230	—272,828	+49 124,948	+43 790,913
13	169 35 25	347 16 29		0,732117	+325,479	—13,161	+49 450,404	+43 777,738
13a				0,681479				
				0,999184				
				0,040403				
Σ	935 08 06		1373,719		+1064,937	—722,766		
f_β	+2				$f_x = -0,097$	$f_y = +0,057$		
нез f_β	± 22				$f_z = 0,412$	$\frac{f_z}{[s]} = \frac{1}{12\,000}$		

Вычисления А. М. Пеллес

Таблица 107

Уравнивание дирекционных углов узловых направлений
полигонометрической сети способом эквивалентной замены

№ хода	Число углов $n+1$	Вес дирек- ционных углов $p = \frac{10}{n+1}$	Вычисленные дирекцион- ные углы α'	ϵ	ϵp	Поправки ρ	Окончатель- ные дирек- ционные углы α	ρ''
3—3a								
1	4	2,5	52° 39' 18"	3	7,5	+3	52° 39' 21"	22
2	5	2,0	15	0	0	+6		72
1,2	2,2	4,5	52 39 17		7,5	+4		245
3	8	1,25				+14		
13—13a								
1,2+3	10,2	0,98	347 16 11	0	0	+18	347 16 29	
4	4	2,5	34	23	57,5	-5		62
5	5	2,0	31	20	40	-2		8
		5,48	347 16 29		97,5			409

Таблица 108

Вычисление веса

№ хода	Число углов $n+1$	Вес дирекционного угла узлового направления 3—3a
4	4	2,5
5	5	2,0
4,5	2,2	4,5
3	8	
4,5+3	10,2	0,98
1	4	2,5
2	5	2,0
		5,48

$$\mu = \sqrt{\frac{409}{3}} = 11,7''; \quad m_{\mu} = \frac{11,7}{\sqrt{6}} = 4,8'';$$

$$m_{\beta} = \frac{11,7}{\sqrt{10}} = 3,7'';$$

$$M_{\alpha_{3-3a}} = \frac{11,7}{\sqrt{5,48}} = 5,0'';$$

$$m_{M_{3-3a}} = \frac{4,8}{\sqrt{5,48}} = 2,0'';$$

$$M_{\alpha_{13-13a}} = \frac{11,7}{\sqrt{5,48}} = 5,0'';$$

$$m_{M_{13-13a}} = \frac{4,8}{\sqrt{5,48}} = 2,0''.$$

Вычислял А. М. Исаев

Т а б л и ц а 109

Уравнивание координат узловых точек полигонометрической сети способом эквивалентной замены

№ хода	Длина хода [с], км	$\text{Век } p_x = p_y = \frac{1}{n}$	Вычисленные x'	e	e_p	v_x	Окончатель- ные x	p_x^2	Вычисленные y'	e	e_p	v_y	Окончатель- ные y	p_y^2
			Узловая точка $З$	.			48 809,542		Узловая точка $З$				40 974,752	
1	1,374	0,73	+48 809,500	0	0	+42		1 282	+40 974,693	0	0	+59		2540
2	1,630	0,61	+ ,595	95	58	-53		1 705	,781	88	54	-29		503
1,2	0,745	1,34	+48 809,543		58	-1		12	+40 974,733		54	+19		1990
3	2,927	0,34				-6			Узловая точка $З$ +43 777,643	0		+95	43 777,738	
1,2 + 3	3,672	0,27	+49 450,411	91	25	-7	49 450,404	6 200	,721	78	69	+17		254
4	1,130	0,88	,320	0	0	+84		7 000	,795	152	100	-57		2370
5	1,374	0,73	,501	181	132	-97								
		1,88	49 450,404		157			16 199	43 777,738		179			7630

Выполнил А. М. Насинов

Вычисление веса

№ хода	[s], км	Вес координат точки 3 P_{x_3} и P_{y_3}
4	1,130	0,88
5	1,374	0,73
4,5	0,620	1,61
3	2,927	
4,5+3	3,547	0,28
1	1,374	0,73
2	1,630	0,61
		1,62

$$\mu_x = \sqrt{\frac{[pv_x^2]}{r}} = \sqrt{\frac{16199}{3}} = 0,073 \text{ м};$$

$$\mu_y = \sqrt{\frac{[pv_y^2]}{r}} = \sqrt{\frac{7630}{3}} = 0,050 \text{ м};$$

$$M_{x_3} = \frac{\mu_x}{\sqrt{P_{x_3}}} = \frac{0,073}{\sqrt{1,62}} = 0,051 \text{ м};$$

$$M_{y_3} = \frac{\mu_y}{\sqrt{P_{y_3}}} = \frac{0,050}{\sqrt{1,62}} = 0,040 \text{ м};$$

$$M_{x_{1,2}} = \frac{\mu_x}{\sqrt{P_{x_{1,2}}}} = \frac{0,073}{\sqrt{1,88}} = 0,053 \text{ м};$$

$$M_{y_{1,2}} = \frac{\mu_y}{\sqrt{P_{y_{1,2}}}} = \frac{0,050}{\sqrt{1,88}} = 0,036 \text{ м};$$

$$M_3 = \sqrt{(0,051)^2 + (0,040)^2} = 0,062 \text{ м};$$

$$M_{1,2} = \sqrt{(0,053)^2 + (0,036)^2} = 0,064 \text{ м}.$$

Вычислял А. М. Ивлиев

Вычисление начинают с подсчета суммы измеренных углов по каждому ходу, которую записывают в ведомости координат (табл. 106).

Далее способом эквивалентной замены уравнивают дирекционные углы узловых направлений 3—3а и 13—13а (см. табл. 107). При этом вес суммы углов хода или вес дирекционного угла, вычисленного по ходу, находят по формуле (III.354). За единицу веса здесь удобно принять 10 углов, т. е. $C = 10$.

Значение дирекционного угла узлового направления 3—3а получают дважды по ходам 1 и 2, вычисляя его по формуле

$$\alpha_i = \alpha_n + \sum_1^{n_{i+1}} \beta - 180^\circ (n_i + 1). \quad (\text{III.366})$$

Из полученных значений находят среднее весовое

$$\alpha = \alpha_0 + \frac{[\varepsilon p_\alpha]}{[p_\alpha]}. \quad (\text{III.367})$$

Вес дирекционного угла по эквивалентному ходу будет равен сумме весов по ходам, его составляющим, т. е. $p_{1,2} = p_1 + p_2$. Число углов в эквивалентном ходе 1,2 будет равно

$$(n+1)_{1,2} = \frac{C}{p_{1,2}}.$$

Окончательное, наиболее надежное значение дирекционного угла узлового направления $1\beta-1\beta_a$ получают как среднее весовое из значений, вычисленных по трем ходам: сложному ходу (1,2 + 5) и ходам 4 и 5 по формуле (III.367).

Поправки на ходы (1,2 + 3), 4 и 5 получают как разность между окончательным значением дирекционного угла $1\beta-1\beta_a$ и каждым полученным по ходам (1,2 + 3), 4 и 5. Поправка, приходящаяся на сложный ход (1,2 + 3), распределяется на ходы 1, 2 и 3 пропорционально числу углов в этих ходах.

Окончательное значение дирекционного угла узлового направления $\beta-\beta_a$ получают после введения поправки $v_{1,2}$ в предварительное значение, полученное по ходам 1 и 2. Поправки в ходы 1 и 2 получают путем вычитания из окончательного значения дирекционного угла направления $\beta-\beta_a$ значений этого же угла, вычисленных по ходам 1 и 2.

Убеждаются в допустимости поправок, сравнивая поправку по каждому ходу с предельной угловой невязкой, вычисленной по формуле (III.148).

Оценку точности уравненных значений дирекционных углов производят по формуле

$$M_i = \frac{\mu}{\sqrt{P_i}}. \quad (\text{III.368})$$

Среднюю квадратическую погрешность единицы веса μ для него находят как

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-k}}. \quad (\text{III.369})$$

Произведения pv_α^2 подсчитывают только для действительных ходов. Вес узлового направления $1\beta-1\beta_a$ берут из ведомости вычислений (см. табл. 107), а вес узлового направления $\beta-\beta_a$ вычисляют способом эквивалентной замены в табл. 108. Надежность величин μ и M определяют по формулам

$$m_\mu = \frac{\mu}{\sqrt{2(n-k)}}; \quad m_{M_i} = \frac{m_\mu}{\sqrt{P_i}}.$$

Поправки v_i , полученные на каждый ход, распределяют поровну на все измеренные его углы.

После этого в табл. 106 вычисляют дирекционные углы и приращення координат каждой стороны хода и подсчитывают сумму приращений.

Координаты узловых точек β и 1β находят из уравнивания сети способом эквивалентной замены (см. табл. 109) таким же порядком, как это было рассмотрено при уравнивании дирекционных углов.

Вес координат или суммы приращений координат по ходу получают по формуле (III.356), выражая S и $[s]$ в километрах.

Оценка точности производится по формулам (III.368) и (III.369), в которых v , μ , P и M соответственно будут v_x , μ_x , P_x , M_x и v_y , μ_y , P_y , M_y . Веса координат узловых точек $З$ получают способом эквивалентной замены (см. табл. 110). Среднюю квадратическую погрешность положения узлового пункта подсчитывают как

$$M = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} \quad (\text{III.370})$$

Уравнивание отдельных ходов между узловыми точками выполняют упрощенным способом (в примере не приводится).

3. Уравнивание полигонометрической сети раздельным способом — способом последовательных приближений. Сущность этого способа изложена в главе II, в задаче II.4 «Уравнивательные вычисления в привязывании III класса». Поэтому рассмотрим уравнивание полигонометрической сети непосредственно на примере.

Пример 3. Уравнять способом последовательных приближений полигонометрическую сеть (см. рис. 102) и произвести оценку точности. Исходные данные и измеренные величины приведены в примере 2.

Решение. Так же как в предыдущей задаче, способом последовательных приближений получают дирекционные углы и координаты только узловых направлений и узловых точек, а уравнивание отдельных ходов выполняют упрощенным способом.

Вычисления начинают с подсчета суммы измеренных углов по каждому ходу (см. пример 2, табл. 106).

Далее способом последовательных приближений уравнивают дирекционные углы узловых направлений $З—3а$ и $1З—13а$ (табл. 111). Сначала заполняют графы 1—6 табл. 111. По формуле (III.354) вычисляют веса суммы углов каждого хода и записывают в графу 7. В графе 8 вычисляют приведенные веса p' , которые необходимы для упрощения вычислений (см. пояснения к примеру 4 задачи II.4).

Первое приближение дирекционного угла $З—3а$ получают как среднее весовое из значений дирекционных углов, полученных по двум ходам 1 и 2.

Первое приближение дирекционного угла $1З—13а$ получают уже как среднее весовое из значений дирекционных углов, полученных по ходам 3, 4 и 5. Следует иметь в виду, что при вычислении дирекционного угла $\alpha_{1З—13а}$ по третьему ходу измеренные углы β по этому ходу будут правыми.

Второе приближение дирекционного угла $З—3а$ вычисляют как среднее весовое из значений, полученных по трем ходам 1, 2 и 3. Закачивают вычисления тогда, когда два последних приближения дирекционных углов будут отличаться в пределах точности вычислений (1—2").

Поправки v_{β} на каждый ход получают как разность между окончательным значением дирекционного угла и полученным по ходу. Контролируют их по формуле (II.23) или (II.24).

Уравнивание дирекционных углов узловых направлений полигонометрической сети способом последовательных приближений

Название узлового на- правления	Вехи №	Название исходных дирек- ционных углов	Опорные дирекционные углы α	Сумма углов (левых или правых) $\sum \beta$	Число углов $n+1$	$\frac{1+n}{2} = n$	$\frac{[f]}{n} = d$	Приближения			о	р	10^2
								I	II	III			
1	2	3	4	5	6	7	8	n	10	11	12	13	14
3-3a	1	T_1-T_2	$152^\circ 37' 19''$	$620^\circ 01' 59''$	4	2,5	0,43	$52^\circ 39' 18''$	$18''$	$18''$	$+3''$	$+7,5$	22
	2	T_3-T_4	$48^\circ 29' 17''$	$904^\circ 09' 58''$	5	2,0	0,35	15	15	15	$+6''$	$+12,0$	72
	3	$13a-13$		$1194^\circ 36' 54''$	8	1,25	0,22		35	35	$-14''$	$-17,5$	245
13-13a	3	$3a-3$				5,75	1,00	$52^\circ 39' 17''$	21	21		$+2,0$	
	4	T_6-T_6	$239^\circ 30' 12''$	$1194^\circ 36' 54''$	8	1,25	0,22	$437^\circ 16' 11''$	15	15	$+14''$	$+17,5$	—
	5	T_7-T_8	$312^\circ 08' 25''$	$827^\circ 46' 22''$	4	2,5	0,43	34	34	34	$-5''$	$-12,5$	62
				$935^\circ 08' 06''$	5	2,0	0,35	31	31	31	$-2''$	$-4,0$	8
						5,75	1,00	$347^\circ 16' 29''$	29	29		$+1,0$	409

$$\mu = \sqrt{\frac{409}{5-2}} = 11,7'';$$

$$m_\beta = \frac{11,7}{\sqrt{10}} = 3,7''$$

$$m_\mu = \frac{11,7}{\sqrt{6}} = 4,8'';$$

$$P_{\alpha_3-3a} = 5,75 - \frac{1,25^2}{5,75} = 5,48;$$

$$P_{\alpha_{13}-13a} = 5,75 - \frac{1,25^2}{5,75} = 5,48;$$

$$M_{\alpha_3-3a} = \frac{11,7}{\sqrt{5,48}} = 5,0'';$$

$$M_{\alpha_{13}-13a} = \frac{11,7}{\sqrt{5,48}} = 5,0''.$$

Вычислял А. М. Исаев

Оценку точности полевых измерений, уравниваемых значений и вычисление μ , m_μ , $M_{\alpha_3-\alpha_a}$ и $M_{\alpha_{13}-\alpha_a}$ выполняют согласно указаниям, приведенным в примере 2, веса уравниваемых дирекционных углов $P_{\alpha_3-\alpha_a}$ и $P_{\alpha_{13}-\alpha_a}$ вычисляют по приближенным формулам (II.39)—(II.40), заменяя в них веса превышений на веса дирекционных углов.

Убедившись в допустимости невязок по ходам, производят вычисление поправок на каждый угол хода, вычисление дирекционных углов и приращений координат (см. табл. 106).

А далее способом последовательных приближений уравнивают координаты узловых точек: абсциссы и ординаты отдельно, при этом веса суммы приращений координат по ходу получают по формуле (III.356). Оценку точности выполняют по тем же формулам, что и в примере 2. Веса уравниваемых координат вычисляют по приближенным формулам (II.39)—(II.40), заменяя в них веса превышений на веса координат. Ввиду простоты излагаемого способа дальнейшее числовое решение примера не приведено.

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Задание выполняет каждый студент, производя уравнивание сети способом, указанным преподавателем

Глава IV

ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ СЪЕМКА МАСШТАБА 1 : 5000

Топографические планы масштаба 1 : 5000 предназначаются для разработки генеральных планов городов и различных проектов (промышленных районов, транспортных путей, строительства, озеленения, благоустройства населенных пунктов и др.); для разведки полезных ископаемых; для составления маркшейдерских планов; для землеустройства колхозов и совхозов; для составления технических проектов орошения и осушения; для проектирования автодорог, воздушных линий электропередач; для проектирования железных и автомобильных дорог; для проектирования и строительства различного рода каналов и др.

Для решения конкретных задач отдельной отрасли или группы смежных отраслей народного хозяйства создаются специализированные топографические планы.

В основу разграфки планов масштабов 1 : 5000 для участков с площадью свыше 20 км² принимается лист карты масштаба 1 : 100 000, который делится на 256 частей. Номенклатура листа масштаба 1 : 5000 состоит из номенклатуры листа карты масштаба 1 : 100 000 с добавлением в скобках номера листа масштаба 1 : 5000. Например, N—39—114—(19), см. рис. 103.

Для топографических планов, создаваемых на участках площадью менее 20 км², применяется прямоугольная разграфка с размерами рамок 40 × 40 см.

В табл. 112 указаны применяемые высоты сечения рельефа.

Таблица 112

Характеристика рельефа участка съемки	Сечение рельефа, м
1. Равнинный с углами наклона до 2°	0,5 1,0
2. Всползающий с углами наклона до 4°	1,0; 2,0
3. Пересеченный с углами наклона до 6°	2,0; 5,0
4. Горный и предгорный	2,0; 5,0

Геодетической основой съемки масштаба 1 : 5000 служат:

- а) государственные геодезические сети; триангуляция и полигонометрия 1, 2, 3 и 4 классов; нивелирование I, II, III и IV классов. Средняя плотность пунктов государственной геодезической

сети должна быть доведена: один пункт триангуляции или полигонометрии на 20—30 км² и один репер на 10—15 км²;

б) геодезические сети сгущения: триангуляция (аналитические сети) 1 и 2 разрядов, полигонометрия 1 и 2 разрядов, техническое привелирование. Плотность геодезической основы в сетях сгущения должна быть доведена: городах, крупных населенных пунктах, на промплощадках — 4 пункта на 1 км²; на незастроенных территориях — 1 пункт на 1 км²;

в) геодезическое съемочное обоснование: плановые, высотные и планово-высотные съемочные сети или отдельные пункты-точки, а также точки фотограмметрического сгущения.

N-39-114

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256

Рис. 103. Номенклатура листа карты масштаба 1 : 5000

Предельные погрешности пунктов съемочного обоснования в плане 0,2 мм; по высоте 0,2*h*, где *h* — высота сечения рельефа.

В настоящее время топографическая съемка в масштабе 1 : 5000 производится следующими методами:

аэрофотогеодезическим (стереотопографическим, комбинированным).

мензульным, тахеометрическим,

фототеодолтным (для горных районов).

Основным аэрофотогеодезическим методом является стереотопографический. Комбинированный метод применяется главным образом при съемке равнинных закрытых (залесенных) районов, а также при съемках с сечением рельефа через 1 м.

Мензульная и тахеометрическая топографические съемки применяются при более крупных масштабах, а в указанном масштабе обычно при съемке незначительных по площади территорий.

При комбинированной съемке используют материалы аэрофотосъемки. При фотографировании пользуются центральной

проекции, но самолет не сохраняет постоянной высоты полета и меняет свое угловое положение, поэтому масштабы аэроснимков имеют различные значения не только от снимка к снимку, но и в пределах каждого снимка. Для приведения снимков к единому масштабу производят их трансформирование. Для этого каждый снимок должен иметь минимум четыре точки, плановое положение которых известно. Определение планового положения подавляющего большинства этих точек производится камеральным фотографическим путем на основании координат небольшого числа опознаков — контурных точек местности, опознанных на аэроснимках, определяемых по результатам обработки полевых геодезических измерений.

Геодезические работы, выполняемые для получения координат опознаков, носят название привязки плановых опознаков. Точность геодезических работ по привязке плановых опознаков должна быть такова, чтобы предельная погрешность в положении на плане не превышала 0,2 мм.

При привязке плановых опознаков применяются только аналитические методы создания съемочной сети.

Создание плановой съемочной сети при комбинированной съемке требует меньше затрат труда и времени по сравнению с созданием плановой съемочной сети при мензульной съемке.

Из трансформированных снимков составляются фотопланы, представляющие собой фотографическое изображение местности, приведенное к единому масштабу — масштабу съемки.

На фотоплане наряду с отображением многих временных предметов, не подлежащих изображению на карте, с излишней подробными изображениями контуров, которые должны быть обобщены на карте, — отсутствует ряд объектов, подлежащих съемке: лесные дороги, скрытые кронами деревьев, километровые столбы, линии связи и т. д.; отсутствуют цифровые и пояснительные данные, которыми сопровождаются топографические карты.

Процесс сравнения фотоплана с местностью и уточнение изображения контуров, подлежащих отображению на карте условными знаками с необходимыми пояснениями, называется дешифрированием фотоплана.

Дешифрирование фотопланов при комбинированной съемке проводится в полевых условиях. Для нанесения на фотоплан каких-либо новых объектов применяются или засечки (линейные и угловые), или методы мензульной съемки (геометрическая сеть, мензульные и буссольные ходы); при этом в качестве исходных пунктов используются объекты, опознанные на местности и на фотоплане. Полевое дешифрирование по сравнению с инструментальной съемкой контуров производится намного быстрее и более экономично. Съемка рельефа на фотопланах проводится в полевых условиях одновременно с дешифрированием.

Высотные съемочные сети создают, как правило, путем продолжения ходов технического нивелирования и высотных ходов.

При проложении высотных ходов производят геодезическое привязывание с измерением расстояний дальномером.

Съемка рельефа на фотоплане производится значительно легче и быстрее, чем при мензуральной съемке. Ознакомление с районом съемки по аэроснимкам с применением стереоскопа также способствует повышению качества изображения рельефа. Изображение на фотоплане гидрографической сети, оврагов, дорог, лесных массивов и других объектов помогает чтению рельефа.

При съемке рельефа на фотоплане имеется возможность определять высоты точек местности без применения рейки. В этом случае топограф наводит среднюю нить кипрегеля на основанию объектов, изображенных на фотоплане, измеряет углы наклона, а расстояния берет непосредственно с фотоплана.

При стереотопографической съемке работы по созданию плановой съемочной сети аналогичны работам при комбинированной съемке. Изображение рельефа местности при стереотопографической съемке производится по аэроснимкам в камеральных условиях при помощи специальных приборов.

Для этого необходимо, чтобы 4—5 точек каждого снимка имели известные высоты. Возможность получения высот с помощью специальных приборов в камеральных условиях позволяет значительно сократить число точек, высоты которых следует определять в полевых условиях геодезическим путем. Получение высоты опознака по результатам геодезических наблюдений носит название высотной привязки опознака. При привязке, как правило, применяют техническое нивелирование и высотные ходы. Точность определения высот опознаков устанавливается в зависимости от условий местности и от высоты сечения рельефа горизонталями. Предельная погрешность определения отметок опознаков $0,2 h$, где h — высота сечения горизонталей. Как правило, высотные и плановые опознаки совмещаются. Дешифрирование большей частью производится в полевых условиях по аэроснимкам в процессе работ по привязке плановых и высотных опознаков.

Стереотопографическая съемка требует наименьшего количества полевых работ по сравнению с другими методами съемок, в силу этого она и является в настоящее время основным методом создания топографических карт в масштабах 1 : 5000. Специфические вопросы комбинированной, стереотопографической и фототеодолитной съемок рассматриваются в курсе фотограмметрии.

ЗАДАНИЕ IV.1

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ НА ТЕМУ:

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЪЕМОЧНОЙ СЕТИ

ДЛЯ РАВИНИСТО-ПЕРЕСЕЧЕННЫХ И ВСХОДЯЩИХ РАЙОНОВ
ПРИ СТЕРЕОТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КАРТЫ
В МАСШТАБЕ 1 : 5000 С СЕЧЕНИЕМ РЕЛЬЕФА ЧЕРЕЗ 2 м»

1. Задача: углубление знаний по вопросам производства геодезических работ, связанных с топографической съемкой, и

практическое применение расчетных формул в стадии проектирования.

II. Литература: Чеботарев А. С., Селиханович В. Г., Соколов М. Н., Геодезия. Ч. II. М., Геодезиздат, 1962.

Селиханович В. Г., Логина Г. П. Задачник по геодезии. Ч. 2, М., «Недра», 1970.

Таблицы для вычисления прямоугольных координат углов рамок трапеций в проекции Гаусса — Крюгера на эллипсоиде Красовского. М., ГУГК, 1948.

Гиришберг М. А. Геодезия. Ч. 1, М., «Недра», 1967.

Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000, 1 : 500, М., «Недра», 1973.

III. Инструменты и принадлежности: учебная карта в масштабе 1 : 25 000, чертежные принадлежности, цветная тушь, транспортир, измеритель, логарифмическая линейка, лист кальки 50 × 50 см.

IV. Последовательность выполнения задания:

1) определение координат углов рамки трапеции масштаба 1 : 25 000 и построение схемы листов карт масштаба 1 : 5000 на заданную площадь с указанием их номенклатуры;

2) построение схемы участка;

3) проектирование светодальномерных полигонометрических ходов;

4) проектирование и привязка плановых и высотных опознаков;

5) оформление курсового проекта.

На карте масштаба 1 : 25 000 при выполнении проекта используется территория, ограниченная рамкой трапеции карты. В качестве плановой и высотной государственной геодезической основы даются три пункта триангуляции с условием взаимной видимости. Имеющиеся на карте иные пункты триангуляции и нивелирования следует считать утраченными и при проектировании не принимать во внимание.

Учебные карты, номенклатура их и исходные пункты выдаются преподавателем.

1. Определение координат углов рамки трапеции масштаба 1 : 25 000 и построение схемы листов карт масштаба 1 : 5000 на заданную площадь с указанием их номенклатуры. В тетради следует дать размером в 6—8 см схему трапеции масштаба 1 : 1 000 000 с разграфкой ее на листы карты масштаба 1 : 100 000. Лист карты масштаба 1 : 100 000 выделяется штриховкой. Далее составляется такого же размера отдельная схема карты масштаба 1 : 100 000 с указанием на ней трапеции карты масштаба 1 : 25 000 заданной номенклатуры. Затем отдельно составляется схема листа карты масштаба 1 : 25 000 заданной номенклатуры с географическими координатами углов рамки трапеции. Для углов рамки трапеции карты масштаба 1 : 25 000 определяются прямоугольные координаты с помощью специальных таблиц, указанных выше.

Следует помнить, что прямоугольные координаты в таблицах находятся по двум аргументам: географической широте угла рамки и разности долгот вершины угла рамки и осевого меридиана. Если долгота осевого меридиана меньше долготы вершины угла рамки трапеции, то ордината y имеет положительный знак, в противном случае ордината y будет отрицательной.

Для перехода к приведенным ординатам следует к найденному значению y прибавить + 500 км и впереди поставить номер зоны.

Из таблиц выписываются на схему размеры сторон и диагоналей трапеции, площадь ее, а также сближение меридианов как для отдельных углов рамки трапеции, так и среднее значение для трапеции в целом.

Знак сближения меридианов определяется знаком неприведенного значения ординаты. Для контроля выбранных из таблиц величин вычисляются значения сторон и диагоналей трапеции по формуле

$$S = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2}, \quad (\text{IV.1})$$

где x_a , y_a , x_b , y_b — координаты точек, между которыми определяется расстояние.

Для сравнения вычисленных значений с табличными необходимо учесть масштаб съемки. При этом расхождение не должно превышать 0,2 мм.

Составляется в произвольном масштабе схема листов карт масштаба 1 : 5000 (на площадь заданной трапеции масштаба 1 : 25 000), на которой указывается их номенклатура.

2. Построение схемы участка. На восковке, наложенной на карту масштаба 1 : 25 000, вычерчивается рамка трапеции этой карты с указанием номенклатуры, географических координат углов рамки. На схему наносятся исходные пункты планового и высотного обоснования.

3. Проектирование светодальномерных полигонометрических ходов. Для сгущения обоснования на площадях данных трапеций карт масштаба 1 : 5000 между заданными пунктами триангуляции намечаются два полигонометрических хода IV класса, которые будут использованы в качестве обоснования как для проектируемой стереотопографической съемки, так и для последующих съемок в масштабах 1 : 2000 и крупнее. Расчеты при проектировании выполняются только для одного наиболее длинного хода. Предельная относительная линейная невязка по ходу принимается равной 1 : 25 000.

Проектирование хода следует выполнять в последовательности и в соответствии с указаниями, изложенными в задании III.7 «Проложение полигонометрических ходов» (см. пункт 1 «Составление проекта проложения ходов»).

Учитывая назначение хода, длины линий не следует брать более 1 км. Средняя длина линии 0,5 км. Запроектированные

ходы папосятся на карту карандашом, а затем переносятся на схему тушью. На схеме обозначают все углы поворота ходов.

Для уточнения значений постоянных приемопередатчика и отражателей светодальномера следует запроектировать в районе работ устройство полевого компаратора (контрольного базиса) длиной 264—360 м, с измерением его мерной проволокой с относительной предельной погрешностью

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{50000}.$$

Расчетная часть состоит из следующих этапов.

1. Установление формы хода.

2. Определение предельной погрешности планового положения точки в самом слабом месте хода после его уравнивания.

3. Расчет влияния погрешностей при линейных измерениях.

Расчеты выполняют по формулам и в соответствии с указаниями, приведенными в задании III.7 «Проложение полигонометрических ходов» (см. пункт 2 «Расчетная часть при проектировании ходов»).

При расчетах точности измерения полевого компаратора следует исходить из условий, самых неблагоприятных, а именно из предположения, что источники погрешностей имеют систематический характер влияния на результаты измерений.

Учитывая это положение, при проектировании измерения базиса необходимо по формулам (III.131)—(III.137) рассчитать:

а) предельную погрешность компарирования мерного прибора;

б) предельную погрешность уложения мерного прибора в створе измеряемой линии;

в) предельную погрешность определения превышений одного конца мерного прибора относительно другого, принимая величину h равной 1 м;

г) предельную погрешность определения температуры мерного прибора.

Расчет провести для мерного прибора, изготовленного из стали и пивара.

Линейный коэффициент расширения принять:

сталь — 0,000012;

пивар — 0,0000005;

д) предельную погрешность в натяжении мерного прибора.

Диаметр проволоки, из которой изготовлены мерные приборы, равен 1,65 мм. Модуль упругости:

для стали $E = 20\,000$ кгс/м²;

для пивара $E = 16\,000$ кгс/м².

На основе расчетов, которые фиксируются в тетради, необходимо в конце этого раздела дать объяснительную записку по организации линейных измерений контрольного базиса. В объяснительной записке следует указать:

а) мерный прибор, который будет использован при измерении базиса;

б) точность, с какой необходимо компарировать этот прибор;
в) можно ли укладывать мерный прибор в створе линии «на глаз» или следует использовать для вешения теодолит;

г) точность, с какой следует определить превышение одного конца мерного прибора относительно другого его конца. Геодезический прибор, который следует использовать для определения превышений;

д) материал, из которого должен быть изготовлен мерный прибор, если погрешность измерения температуры его в полевых условиях может достигать величины $\pm 3^\circ$;

е) указать приборы, которыми будет производиться натяжение, если точность натяжения:

гири 20—50 г,

динамометра 150—300 г.

4. Расчет точности угловых измерений в полигонометрии и величины влияний отдельных источников погрешностей.

Исходя из заданной величины M для проектируемого хода по формулам (III.138), (III.139) следует рассчитать погрешность измеренного угла m_β .

Вычисленная величина средней квадратической погрешности измеренного угла m_β характеризует совместное влияние ряда источников на результат измерения.

Используя формулы (III.147)—(III.149), оценить точность установки марки над центрами знаков, точность центрирования теодолита, число приемов при измерении угла, считая, что углы в полигонометрическом ходе будут измеряться оптическими теодолитами Т2, 2Т2.

Определив величины линейных элементов центрирования и редукции, необходимо сделать вывод о методе центрирования теодолита и марок, считая, что средняя квадратическая погрешность центрирования пятиграммным отвесом равна 5 мм, оптическим центриром — 1 мм.

В объяснительной записке по угловым измерениям в полигонометрии необходимо указать:

- а) тип прибора, метод измерения углов и число приемов,
- б) методы центрирования марок и теодолита.

5. Расчет точности определения высот пунктов полигонометрического хода.

Высоты пунктов полигонометрического хода определяются из геометрического нивелирования IV класса.

Требуется подсчитать M_H — предельную ошибку в отметке пункта хода в самом слабом его месте (середине) после уравнивания. Для этого следует использовать формулу

$$\text{пред} f_h = \pm 20 \text{ мм} \sqrt{L}, \quad (\text{IV.2})$$

где L — длина хода в км,

принимая $\text{пред} f_h = 2M_H$, получаем $M_H = \frac{\text{пред} f_h}{2}$

4. Проектирование и привязка планово-высотных опознаков. При выборе плановых и высотных опознаков в курсовой работе следует учесть, что опознаки являются одновременно и плановыми, и высотными.

Аэрофотосъемка будет проводиться по заданным в проекте маршрутам, а планово-высотные опознаки для районов с малым наличием четких контуров будут маркироваться до начала летно-съемочных работ.

Аэрофотосъемка будет выполняться в масштабе 1 : 15 000 или 1 : 20 000 с продольным перекрытием аэроснимков — 80—90%, с поперечным перекрытием — 30%. Размер снимков 18 × 18 см. Составление схемы расположения опознаков следует начинать с показа на восковке для карты в масштабе 1 : 25 000 осей маршрутов залета (первый маршрут совмещается с северной или южной рамками трапеции) с указанием центров аэроснимков. Расстояние между центрами аэроснимков (базис фотографирования) на местности определяется по формуле

$$B = \frac{(100 - P)}{100} l m, \quad (IV.3)$$

где P — процент продольного перекрытия (80% или 90%),

l — размер аэроснимка (18 см),

m — знаменатель масштаба залета (1 : 15 000 или 1 : 20 000).

Расстояние между осями маршрутов на местности определяется по формуле

$$D = \frac{(100 - Q)}{100} l m, \quad (IV.4)$$

где Q — процент поперечного перекрытия (30%).

Центры снимков на осях маршрутов следует намечать с восточной или западной рамок трапеции карты масштаба 1 : 25 000, считая, что центры крайних снимков расположены на этих рамках.

На восковке выделяются зоны перекрытия маршрутов, в которых и должны быть намечены плановые и высотные опознаки. Для этого от осей маршрутов на восковке в масштабе 1 : 25 000 откладывают вверх и вниз расстояния, равные 9 см × 15 000, или 9 см × 20 000. Эти величины на местности соответствуют половине размера снимка. Перекрывающиеся площади и будут являться зонами перекрытия.

Планово-высотные опознаки располагаются в каждой зоне перекрытия маршрутов рядами поперек маршрутов (желательно по линиям центров аэроснимков) на расстоянии 4—5 км (рис. 104).

В том случае, если в зонах перекрытия нет хорошо опознаваемых пунктов, то их следует наметить, считая, что они будут маркированы.

В качестве опознаков должны выбираться четкие контуры (пересечения дорог, отдельные деревья и др.). По условиям задания для привязки опознаков должны быть обязательно исполь-

зованы следующие виды работ: полигонометрия первого или второго разряда, теодолитные ходы, проложенные между пунктами триангуляции и пунктами полигонометрии, а также многократные прямые или обратные засечки.

При проектировании многократных засечек в качестве исходных пунктов используются пункты триангуляции и один из пунктов намеченного полигонометрического хода 4-класса, не принимая во внимание рельеф местности, т. е. условно считая, что видимость обеспечена по всем намеченным направлениям.

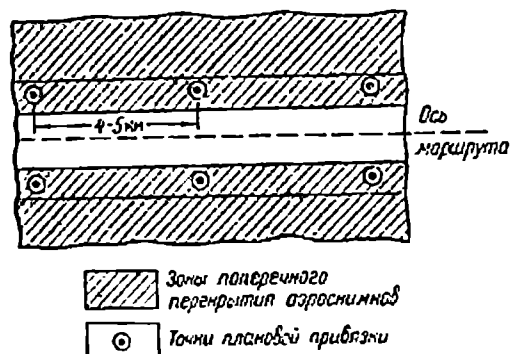


Рис. 104. Схема размещения планово-высотных опознаков

Если проектируются несколько односторонних по точности ходов, то расчеты точности производятся только для одного наиболее длинного хода. При проектировании нескольких засечек расчеты производятся только для одной. Проектируемые опознаки, ходы и направления засечек наносятся в условных знаках на схему трапеции. (Схема трапеции вычерчивается на восковке).

Следует рассчитать точность получения высот намеченных опознаков исходя из геодезического нивелирования или технического нивелирования.

Все расчеты точности определения координат опознаков должны производиться исходя из предельной ошибки на местности 1,0 м.

Следовательно, за среднюю квадратическую погрешность в положении опознаков следует принять величину 0,5 м.

Предельная погрешность определения высот опознаков 0,4 м (1/5 сечения), — а средняя квадратическая погрешность 0,2 м (1/10 сечения).

а) Расчет точности положения опознака, определенного из обратной или прямой многократной засечки. Плановое положение опознаков должно быть обязательно получено из обратной или прямой многократной засечки. На карте, а затем на схеме прочерчиваются запроектированные направления.

Число исходных пунктов должно быть при обратной засечке не менее четырех, при прямой — не менее трех.

Расчет средней квадратической погрешности в плановом положении определяемого пункта производится с учетом того, что точность измерения углов $m_{\beta} = 15''$.

Многократная обратная засечка. По карте или схеме при помощи транспортира определяют дирекцией-

ные углы направлений с определяемого пункта на исходные, а также измеряют расстояния до них. Погрешность в плановом положении пункта определяется по формуле

$$m_p = \frac{m_B}{10 \sqrt{P}}, \quad (\text{IV.5})$$

где

$$P = \frac{[AA][BB] - [AB][AB]}{[AA] + [BB]}.$$

Коэффициенты A и B получают по формуле (III.245) (см. задание III.9), необходимые для их вычисления величины $(a)_i$ и $(b)_i$ — по формуле (III.221) и a_i и b_i по (III.244).

В таблице 113 приводится образец вычислений.

Таблица 113

№ направ- ления	α	(a)	(b)	s , км	a	b	A	B
1	223° 02'	+14,08	-15,08	3,15	-4,47	+4,78	-2,17	-6,92
2	287 53	+19,63	+6,34	2,96	-6,64	-2,14	+3,66	-8,94
3	349 01	+3,94	+20,25	4,87	-0,81	-4,16	+7,63	-9,23
4	35 22	-11,94	+16,82	3,78	+3,16	-4,45		

$$\begin{aligned} [AA] &= 76,33 \\ [BB] &= 213,00 \\ [AB] &= -88,12 \end{aligned}$$

$$P = \frac{76,33 \cdot 213,00 - (-88,12 \cdot 88,12)}{76,33 + 213,00} = 29,4;$$

$$m_p = \frac{15''}{10 \sqrt{29,4}} = 0,28 \text{ м.}$$

Величину значения m_B первоначально следует принять при расчетах равной 15". Если $m_p > 0,5$ м величину m_B следует уменьшить и вычисление произвести заново.

В заключение следует указать метод измерения углов и считать число приемов n

$$n = \frac{m_v^2 + m_o^2}{m_B^2} \text{ способ круговых приемов,}$$

где n — число приемов;

m_o — погрешность отсчета.

При расчетах принять: $m_v = \frac{60''}{r}$; $r = 25^\times$; $m_o = 15''$.

Прямая многократная засечка. По карте или схеме с помощью транспортира определяют дирекционные углы направлений с твердых пунктов на определяемый и измеряют расстояния до него.

Среднюю квадратическую погрешность в положении определяемого пункта вычисляют по формуле (IV.5), где

$$P = \frac{[aa][bb] - [ab][ab]}{[aa] + [bb]}.$$

Коэффициенты a_i и b_i вычисляют по формуле (III.220), а $(a)_i$ и $(b)_i$ — по (III.221).

Вычисления должны быть представлены в схеме, аналогичной табл. 113.

Дальнейшие выводы и действия аналогичны выводам и действиям, приведенным выше, для многократной обратной засечки.

б) Расчет точности измерения вертикальных углов при передаче высот на пункт, определяемый из многократной обратной или прямой засечки. Превышение из геодезического нивелирования определяется по формуле

$$h = s \operatorname{tg} v + i - l + f, \quad (\text{IV.6})$$

где s — горизонтальное проложение,

v — угол наклона,

i — высота прибора,

f — поправка за кривизну Земли и рефракцию,

l — высота пункта взирования.

Среднюю квадратическую погрешность передачи высоты по одному направлению (при условии, что погрешностями в значениях s , i , l , f можно пренебречь) можно определить по формуле

$$m_H = \frac{sm_v}{\rho}, \quad (\text{IV.7})$$

а вес будет соответственно равен

$$P_H = \frac{\mu^2}{m_H^2} = \frac{\mu^2 \rho^2}{m_v^2 s^2}. \quad (\text{IV.8})$$

Так как за окончательное значение высоты определяемого пункта берется среднее весовое из значений высот, полученных по каждому направлению, то средняя квадратическая погрешность окончательной высоты будет

$$M_H = \frac{\mu}{\sqrt{P}}, \quad (\text{IV.9})$$

где P — вес высоты определяемого пункта; $P = [P_H]$.
С учетом обозначения P_H имеем

$$M_H^2 = \frac{m_v^2}{\rho^2 \left[\frac{1}{s^2} \right]}, \quad (\text{IV.10})$$

откуда

$$m_v = M_{HP} \sqrt{\left[\frac{1}{s^2} \right]}. \quad (IV.11)$$

Значения s берутся из материалов расчета точности многократной засечки. Значение M_H согласно теме проекта $\pm 0,4$ м. Вычислив значение m_v , необходимо сделать вывод о выборе прибора для измерения углов наклона.

в) Расчет точности полигонометрии 1 и 2 разрядов и теодолитных ходов. При проектировании ходов в качестве исходных используются: для полигонометрии 1 разряда пункты триангуляции и полигонометрии 4 класса; для полигонометрии 2 разряда пункты триангуляции, полигонометрии 4 класса и 1 разряда; для теодолитных ходов пункты триангуляции и полигонометрии.

Если намечено несколько ходов одного разряда, расчет приближенной точности производится для наиболее длинного хода: по формуле (III.107) — изогнутый ход и по формуле (III.111) — вытянутый ход.

Величины

$$[m_s^2] = n \left(\frac{s_{cp}}{10000} \right)^2; \quad m_p = 5''$$

— короткобазисная параллактическая полигонометрия 1 разряда.

$$[m_s^2] = n \left(\frac{s_{cp}}{5000} \right)^2; \quad m_p = 10''$$

— полигонометрия 2 разряда с проложением с помощью Редта.

Для теодолитных ходов при измерении линий оптическими дальномерами ДНР-06 (ДАР-100), ДН-08 (ДНТ-2)

$$[m_s^2] = n \left(\frac{s_{cp}}{2000} \right)^2; \quad m_p = 15 \div 30''.$$

В том случае, если окажется, что $M > 1,0$ м, т. е. больше предельной погрешности в положении планового опознака, следует или уменьшить величину m_p , или увеличить длины сторон хода и расчет произвести заново, или применить другой метод привязки.

В объяснительной записке нужно указать выбранный метод измерения углов поворота и представить расчет числа приемов.

Для уменьшения средней квадратической погрешности положения опознаков можно запроектировать еще один дополнительный ход к опознаку, чтобы образовать систему из трех ходов с узловой точкой.

В этом случае средняя квадратическая погрешность в положении планового опознака определяется формулой

$$M = \frac{1}{\sqrt{\left[\frac{1}{m^2} \right]_1}}. \quad (IV.12)$$

Величины m_1, m_2, m_3 — средние квадратические погрешности в положении конечных точек ходов определяются по формулам:

$$m^2 = [m_s^2] + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} L^2 \frac{n+1,5}{3}; \quad (\text{IV.13})$$

изогнутый ход

$$m^2 = [m_s^2] + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} [D_{n+1,i}^2], \quad (\text{IV.14})$$

где $[D_{n+1,i}^2]$ — сумма квадратов расстояний от конечной точки хода (узловой точки) до всех углов поворота хода (включая начальный исходный пункт).

Плановые описания могут быть включены узловыми пунктами в сеть с двумя и более узлами. В этом случае погрешности в плановом положении могут быть определены по формуле

$$M_i = \sqrt{\frac{c}{P_i}}; \quad (\text{IV.15})$$

где P_i — вес узлового пункта с номером i .

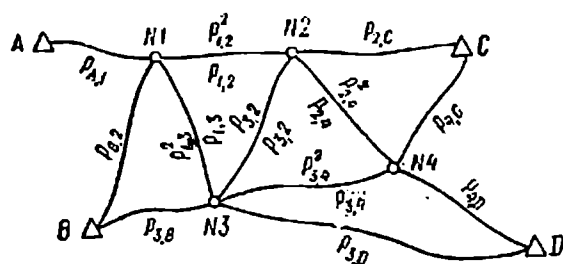


Рис. 105.

Веса P_i находят методом приближений по формулам (II.39) и (II.40) (см. задание II.4) и затем подставляют его значение в формулу (IV.15). С этой целью рекомендуется в тетради, на схеме, вычерченной в произвольном масштабе, вписать значение веса ходов, а также квадраты их значений (рис. 105).

Значение весов ходов и оценка точности производится по формулам

$$P_i = \frac{c}{m_i^2}; \quad (\text{IV.16})$$

$$m_i^2 = \left(\frac{[s]}{2T} \right)^2, \quad (\text{IV.17})$$

где $[s]$ — длина хода,

$T = 5000$ — полигонометрия 2 разряда,

$T = 2000$ — теодолитные ходы.

Для сети, изображенной на рис. 105, полагая отметки исходных пунктов безошибочными, получают веса узловых точек № 1, № 2, № 3 и № 4 в первом приближении по формуле (II.39)

$$P'_1 = [p]_1 - \frac{p_{1,2}^2}{[p]_2} - \frac{p_{1,3}^2}{[p]_3};$$

$$P'_2 = [p]_2 - \frac{p_{2,1}^2}{[p]_1} - \frac{p_{2,3}^2}{[p]_3} - \frac{p_{2,4}^2}{[p]_4};$$

$$P'_3 = [p]_3 - \frac{p_{3,1}^2}{[p]_1} - \frac{p_{3,2}^2}{[p]_2} - \frac{p_{3,4}^2}{[p]_4};$$

$$P'_4 = [p]_4 - \frac{p_{4,2}^2}{[p]_2} - \frac{p_{4,3}^2}{[p]_3}.$$

Окончательное значение весов находят по формуле (II.40)

$$P_1 = [p]_1 - \frac{p_{1,2}^2}{P'_2} - \frac{p_{1,3}^2}{P'_3};$$

$$P_2 = [p]_2 - \frac{p_{2,1}^2}{P'_1} - \frac{p_{2,3}^2}{P'_3} - \frac{p_{2,4}^2}{P'_4};$$

$$P_3 = [p]_3 - \frac{p_{3,1}^2}{P'_1} - \frac{p_{3,2}^2}{P'_2} - \frac{p_{3,4}^2}{P'_4};$$

$$P_4 = [p]_4 - \frac{p_{4,2}^2}{P'_2} - \frac{p_{4,3}^2}{P'_3}.$$

При вычислении P' и P связи с исходными пунктами не учитываются. В том случае, если $p_{ik} \geq P'_i$ и P'_k , значения P'_i и P'_k заменяются значениями $[p]$ соответствующего пункта.

Значение величины M_i не должно превышать 0,5 м согласно заданию.

г) **Высотная привязка опознаков.** Для равнинно-пересеченной местности при сечении рельса горизонтами через 2,0 м средняя квадратическая погрешность определения высоты опознака выражается величиной 0,2 м, а предельная — 0,4 м.

В качестве метода передачи высот следует использовать высотные ходы с применением тахеометра или кипрегеля, а также техническое нивелирование. Исходными пунктами могут служить пункты нивелирования, пункты триангуляции и полигонометрии. Запроектированные ходы в условном обозначении наносят на схему — восковку. Расчет точности производится для одного наиболее длинного высотного хода. Средняя квадратическая погрешность суммы превышений высотного хода (предельная погрешность в самом слабом месте хода — середине, после уравнивания) определяется по формуле

$$M_{\Sigma h} = k \sqrt{Ls}, \quad (\text{IV.18})$$

где k — коэффициент, зависящий от углов наклона местности,
 L — длина хода в км,

s — средняя длина сторон хода в км.

Значение k выбирается из табл. 114 по среднему значению γ для трассы хода. Значение γ определяется по карте с помощью масштаба заложения.

Предельная погрешность в самом слабом месте хода технического нивелирования равна $25 \text{ мм} \sqrt{L, \text{ км}}$.

Если окажется, что $M_{\Sigma h} \geq 0,4 \text{ м}$, то для определения высоты опознака следует использовать систему ходов. В качестве узловой точки следует наметить определяемый опознак. В этом случае высота опознака будет получена как среднее весовое значение из высот по каждому из трех ходов.

Таблица 114

Таблица значений k

ν	k
$0^\circ \leq \nu \leq 3^\circ$	0,15
$3^\circ < \nu \leq 6^\circ$	0,21
$\nu > 6^\circ$	0,31

Если система ходов представлена более сложной сетью (узловые пункты следует совмещать с высотными опознаками), то для вычисления средней квадратической погрешности отметок узлов следует пользоваться соотношением:

для высотных ходов

$$M_i, \text{ м} = \frac{m_v \sqrt{c}}{288 \sqrt{P_i}}; \quad (\text{IV.19})$$

для технического нивелирования

$$M_i, \text{ мм} = \frac{20 \sqrt{c}}{\sqrt{P_i}}. \quad (\text{IV.20})$$

Зная величину m_v , можно рассчитать точность ожидаемых результатов или по заданной величине M определить необходимую точность измерений углов наклона.

По условию задания $M_i \leq 0,2 \text{ м}$.

Вычисление веса P_i узловых точек производится по формулам (II.39) и (II.40).

Значение весов измеренных превышений по ходам определяется выражением:

для высотных ходов

$$P_{i_k} = \frac{c}{L_{км} s_{км}}; \quad (\text{IV.21})$$

для технического нивелирования

$$P_{i_k} = \frac{c}{L_{км}}, \quad (\text{IV.22})$$

где c — произвольно заданное число,

L — длина высотного хода, хода технического нивелирования,

s — средняя длина сторон хода.

После проведения расчетов в объяснительной записке указываются, какие методы и какие приборы следует применять при выполнении привязки высотных опознаков.

5. Оформление курсового проекта. Все расчеты, дополнительные построения и объяснительные записки должны быть представлены в одной тетради, озаглавленной «Курсовой проект по созданию съемочной сети при стереотопографической съемке в масштабе 1 : 5000 на площадь трапеции карты (номенклатура)». Записи должны быть разборчивыми, вычисления аккуратно выполненными. При расчетах нельзя допускать излишнюю точность вычислений. Конечные результаты должны быть получены с двумя значащими цифрами. Так, например, при расчетах достаточно принимать величину ρ'' равной $2,1'' \cdot 10^5$ и т. д.

Графические работы, связанные с проектом и представленные на схеме трапеции, должны быть выполнены тушью с пояснениями на полях схемы в принятых условных знаках (рис. 106).

ЗАДАНИЕ IV.2

КОМБИНИРОВАННАЯ СЪЕМКА

В МАСШТАБЕ 1 : 5000 С СЕЧЕНИЕМ РЕЛЬЕФА ЧЕРЕЗ 2 м

I. Задача: выполнить топографическую съемку на фотоплане участка местности 1,0—1,25 км² в расчете на бригаду (4 студента). В качестве исходной плановой геодезической основы использовать 2—3 геодезических пункта с известными координатами и высотами. Дальнейшее сгущение произвести созданием съемочного геодезического обоснования.

II. Литература: Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. М., «Недра», 1973.

Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 1000 и 1 : 500. М., «Недра», 1972.

III. Приборы и принадлежности: мензульный комплект с кипрегелем и bussолью, две рейки, топографический зонит, стальная лента со шпильками, рулетка, фотоплан на жесткой основе, лист кальки, карандаш, мягкая резинка, чертежные перья и ручки, журнал мензульной съемки, авторучка, тетрадь для вспомогательных вычислений, таблицы превышений, топор, деревянные колышки, журнал исследований и поверок.

IV. Последовательность выполнения задания:

- 1) поверка и исследования приборов;
- 2) создание съемочного геодезического обоснования;
- 3) производство съемки;
- 4) оформление и сдача материалов.

I. Поверки и исследования приборов.

П о в е р к и м е н з у л ы

1. Верхняя поверхность мензулы должна быть плоскостью.
2. Верхняя поверхность мензульной доски должна быть перпендикулярна к оси вращения мензулы.

Рекомендуемые условные знаки



Пункт триангуляции (красный цвет). Размер стороны 5 мм.



Пункт полигонометрии (черный цвет). Диаметр 2 мм.



Плано-высотный опознак (заливка красным цветом). Диаметр 3 мм.



Полигонометрический ход 4 кл. (черный цвет). Сплошная линия. Толщина линии 0,5 мм.



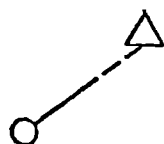
Полигонометрия 1 разряда (черный цвет). Толщина линии 0,2 мм.



Полигонометрия 2 разряда (красный цвет). Толщина линии 0,2 мм. Сплошная линия.



Прямая засечка (черный цвет). Толщина линии 0,1 мм.



Обратная засечка (черный цвет). Толщина линий 0,1 мм.



Высотный ход (синий цвет). Толщина линий 0,2 мм.



Техническое нивелирование (синий цвет). Толщина линии 0,2 мм. Сплошная линия.



Теодолитный ход (красный цвет). Толщина линии 0,2 мм.

Рис. 106

3. Мензула должна быть устойчива.

Методы выполнения проверок изложены в Практикуме по геодезии [24] см. задание VIII.1.

4. Проверка мензульной центрировочной вилки.

Горизонтируют планшет и намечают на нем точку, к которой прикладывают острие вилки. На местности под острием отвеса забивают колышек. Далее прикладывают острие вилки к той же точке, но с противоположной стороны планшета; если отвес не совпадает с колышком, то место крепления шнура следует передвинуть на половину величины расхождения между острием отвеса и колышком.

Проверки и исследования кипрегелей КБ-1, КА-2

1. Скошенный край линейки должен быть прямой линией.

2. Перемещение подвижной линейки должно быть параллельным.

3. Нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью.

4. Ось цилиндрического уровня на линейке кипрегеля должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

5. Визирная ось трубы должна быть перпендикулярна к оси вращения трубы.

6. Ось вращения трубы должна быть параллельна нижней плоскости линейки.

7. Вертикальная нить сетки должна находиться в коллимационной плоскости трубы, или правая грань посеребренной полоски (КА-2) должна занимать вертикальное положение.

8. Коллимационная плоскость трубы должна быть параллельна скошенному краю линейки кипрегеля.

9. Ось круглого уровня на основной линейке кипрегеля должна быть перпендикулярна к нижней плоскости линейки.

10. Место пуля вертикального круга должно быть постоянным и равняться 90° .

11. Ось реверсионного уровня на трубе или кожухе вертикального круга должна быть параллельна визирной оси трубы.

Методы выполнения условий 1—11 изложены в Практикуме по геодезии, см. задание VIII.1.

12. Вертикальный круг не должен иметь эксцентриситета. Отсутствие эксцентриситета проверяется измерением углов наклона отдельной линии в прямом и обратном направлениях. Расхождения не должны превышать $1-2'$.

13. Определение коэффициента винтового дальномера и кривых диаграмм. См. Практикум по геодезии, задание VIII.1.

Поле зрения трубы кипрегелей представлено на рис. 107.

Общая формула определения горизонтальных проложений

$$s = c(b - n),$$

(IV.23)

где c — коэффициент дальномера,
 b — отсчет по рейке с помощью кривой горизонтальных про-
 ложений,
 n — отсчет по рейке с помощью начальной основной окруж-
 ности.

Общая формула определения превышений

$$h = k(a - n) + l - n, \quad (IV.24)$$

где k — коэффициент кривой превышений (10, 20, 100).
 a — отсчет по рейке с помощью кривой превышений,

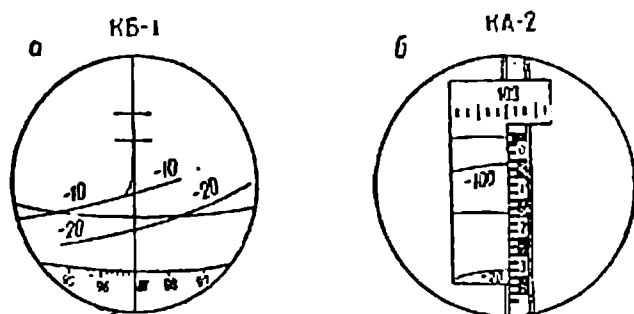


Рис. 107. Поле зрения трубы:

а — кипрегеля КБ-1; б — КА-2

n — отсчет по рейке с помощью начальной окружности
 (высота визирования),
 i — высота прибора.

П о в е р к и о р и е н т и р - б у с с о л и

1. Стрелка буссоли должна быть хорошо намагничена и обла-
 дать чувствительностью;
2. Стрелка буссоли должна быть уравновешена.
3. Магнитная стрелка не должна иметь эксцентриситета.
4. Нулевой диаметр кольца буссоли и боковое ребро коробки
 буссоли должны быть параллельными.

М е п з у л ь н ы е рейки должны удовлетворять следующим
 условиям: 1) иметь длину 3—4 м, 2) деления рейки должны быть
 сантиметровые или двухсантиметровые, 3) рейки должны снаб-
 жаться круглыми уровнями, 4) нуль рейки может быть визиу-
 м на высоте прибора (выдвижная рейка).

2. Создание съемочного геодезического обоснования. Съемоч-
 ным обоснованием служат точки основных и съемочных высотных
 ходов, а также уединенные точки. Цель их — определение высот
 точек стояния мензулы. Основные высотные ходы являются осно-
 вой для развития съемочных. Они должны опираться на пункты
 геометрического нивелирования. Предварительно составляется
 проект расположения основных ходов, при этом необходимо точки
 ходов совмещать с опознаваемыми контурами. Если контуры не-

посредственно опознать невозможно, проектируются мензульные ходы. Обязательно проводится рекогносцировка участка, в процессе которой уточняется положение точек хода, проводится закрепление их на местности кольями, вбитыми вровень с землей с условной формой окопки. На участке съемки бригадой должны быть проложены 1—2 хода с общей протяженностью 2—3 км. В случае, если точки опознать нельзя, помимо мензульных ходов можно использовать и другие методы их определения на плане.

Коротко рассмотрим несколько способов (подробное изложение способов дано в Практикуме по геодезии [24]).

а) Определение точки полярным методом. На ориентированном планшете прочерчивается направление на точку и откладывается горизонтальное проложение расстояния, измеренного инструментально.

б) Липейная засечка от трех четких контуров или точек, плановое положение которых определено.

в) Прямая засечка. На планшете [24] имеются две точки a и b , соответствующие двум точкам местности A и B . Необходимо получить положение точки D . Мензула устанавливается в одной из заданных точек (например A) и ориентируется по направлению AB . Липейка кипрегеля прикладывается к точке a и прочерчивается направление (a, d) на точку D . Затем мензула устанавливается в точке B ориентируется по направлению BA и прочерчивается направление bd через точку b на точку D . Пересечение направлений ad и bd даст положение определяемой точки D . Углы засечек не должны быть менее 30° .

г) Комбинированная засечка. На планшете имеются две точки a и b , соответствующие двум точкам местности A и B . Мензула устанавливается в точке A и после ориентирования по направлению AB прочерчивается направление (ad) на точку D . Затем мензула устанавливается в точке D и ориентируется по прочерченному направлению DA . Далее кипрегель прикладывается к точке b на планшете и наводится на точку B местности; прочерчивается направление db . Пересечение направлений ad и db даст положение точки D .

д) Обратная засечка (задача Потенота). Способ поворота мензулы. На планшете даны три точки a, b, c , соответствующие трем точкам местности A, B, C . Требуется определить положение четвертой точки D . Наилучшие условия решения тогда, когда точка D находится в треугольнике A, B, C . Мензула устанавливается в точке D .

Первый поворот. Вообразив, что мензула установлена в точке A , прикладываем кипрегель к направлению ab и поворачиваем мензулу до совмещения вертикальной линии сетки (Г-образной грани пластинки) с точкой B на местности. Приложив кипрегель к точке a , визируем на точку C и прочерчиваем направление.

Второй поворот. Вообразим, что стоим в точке *В*. Прикладываем кипрегель к направлению *ba* и поворотом мензулы наводим трубу кипрегеля на точку *А*. Через точку *b* на планшете визируем на точку *С* и прочерчиваем направление. Пересечение двух прочерченных направлений даст вспомогательную точку *m*. На направлении *mc* и будет расположена точка *d*.

Третий поворот. Прикладывают кипрегель к направлению *mc* и поворотом мензулы кипрегель наводится на точку *С* местности. В данный момент мензула будет ориентирована и положение точки *d* может быть получено обратными засечками с пунктов *А*, *В*.

е) Обратная засечка (способ приближений). Мензула устанавливается в точке *D* и ориентируется по буссоли. Прикладывая кипрегель к точкам *a*, *b*, *c* на планшете, последовательно кипрегель наводят на пункты местности *А*, *В*, *С* и прочерчивают направления. Если образовался треугольник погрешности, то в нем намечается точка на расстояниях от прочерченных направлений, пропорциональных расстояниям искомой точки *D* от трех данных. Затем планшет ориентируется по намеченной точке по какому-либо данному пункту и вновь выполняется обратная засечка. Действия продолжают до момента пересечений этих трех направлений в одной точке.

ж) Обратная засечка (способ Болотова). Мензула устанавливается в точке *D*. На восковке, прикрепленной к планшету, намечается точка *d*, из нее прочерчиваются направления с помощью кипрегеля на пункты *А*, *В*, *С*. Далее, поворачивая восковку, добиваются такого положения, при котором через точки *a*, *b*, *c* на планшете пройдут соответствующие направления на восковке. Точка *d* перекалывается на планшет. Теперь при необходимости мензула может быть ориентирована по любому из направлений *da*, *db*, *dc*.

з) В районах с малым количеством контуров целесообразно использовать геометрическую сеть. Отметки пунктов, получаемых способами в, г, д, е, ж, з, вычисляются из тригонометрического нивелирования, причем горизонтальные проложения расстояний могут быть получены с планшета.

Отметки точек высотных ходов при сечении рельефа горизонталями через 2 м определяются из тригонометрического нивелирования, теодолитом, кипрегелем. Углы наклона измеряют одним приемом при двух положениях круга в прямом и обратном направлении, а при работе кипрегелем дважды определяют превышения при «круге лево». Расстояния между точками измеряют пугным дальномером. Расстояния от прибора до рейки при измерении кипрегелем не должны превышать 150—200 м. При расстояниях, больших 200 м, измерение производится по частям. Не следует стороны хода брать более 500 м. Если углы наклона линий меньше 5°, то основной высотный ход можно прокладывать через точку, каждое превышение в этом случае определяется дважды на две

высоты рейки. Расхождение между прямым и обратным превышением для линий менее 250 м допускается до 10 см, и 4 см на каждые 100 м при больших расстояниях. Длина хода допускается до 6 км. Невязки в основных высотных ходах не должны превышать 0,3 м. Высоты основных высотных ходов уравниваются в журнале путем распределения невязок пропорционально длинам сторон. Отметки точек хода вычисляются до сантиметров.

Дальнейшее сгущение производится проложением съемочных ходов. Наибольшая длина съемочного хода 3 км. Невязки не должны превышать 0,6 м. Съемочные ходы независимо от невязки должны уравниваться в журнале, аналогично основным ходом. Плановые невязки при подходе к исходным пунктам или четким контурам в высотных ходах, как основных, так и съемочных, не должны быть более 1 мм. Невязка в плане распределяется методом параллельных линий. Подлежат исправлению при распределении невязок только высоты и плановое положение точек хода. Отметки и положение пикетов не изменяются. При недопустимых невязках работа переделывается.

Методика работ и последовательность действий при проложении съемочного хода аналогична действиям при проложении основного высотного хода. В каждом случае надежного ориентирования определяется магнитное склонение. Все геодезическое обоснование, включая и съемочные ходы, должно быть нанесено на кальку высот (см. рис. 108) по мере их наблюдений.

3. Производство съемки. Съемка выполняется с точек основного высотного хода (после его проложения), одновременно с проложением съемочного хода и с отдельных точек, определенных вышеизложенными способами. Съемка состоит из двух этапов — рисовки рельефа и дешифрования.

Р и с о в к а р е л ь е ф а. Наблюдатель и реиски намечают места постановки реек. В плохо просматриваемой местности необходимо обойти участок, а также использовать стереомодель (фотоснимки и стереоскоп). После центрирования, нивелирования и ориентирования планшета и определения МО (место нуля) должно быть равно $90^\circ \pm 0,5'$ проводится набор пикетов. Наблюдение пикетных точек выполняется при одном круге (КЛ), исключая случаи урезов воды, которые определяются при двух кругах. Ориентирование планшета проводится также при КЛ. Для определения отметки кипрегель наводится на рейку (съемочная точка стоянки мензулы несколько правее скошенного края дополнительной линейки). Правая грань Г-образной пластинки (вертикальная нить) совмещается с ребром рейки, а начальная кривая наводится на 1, 2, или 0,5 м высоты рейки. Пузырек уровня вертикального круга приводится в нуль-пункт и берутся отсчеты по кривой горизонтальных проложений и по кривой превышений с наименьшим коэффициентом. Подведя дополнительную линейку к съемочной точке, топограф от нее (точки) откладывает измерителем горизонтальное проложение. Около макола подпи-

сывается высота пикета, округленная до 0,1 м, без сотен, чтобы не загружать надписями планшеты. Высота вычисляется по формуле

$$H_{\text{пик}} = H_{\text{ст}} + h_1 \quad (\text{IV.25})$$

где h — превышение до пикета, вычисляемое по формуле (IV.24).

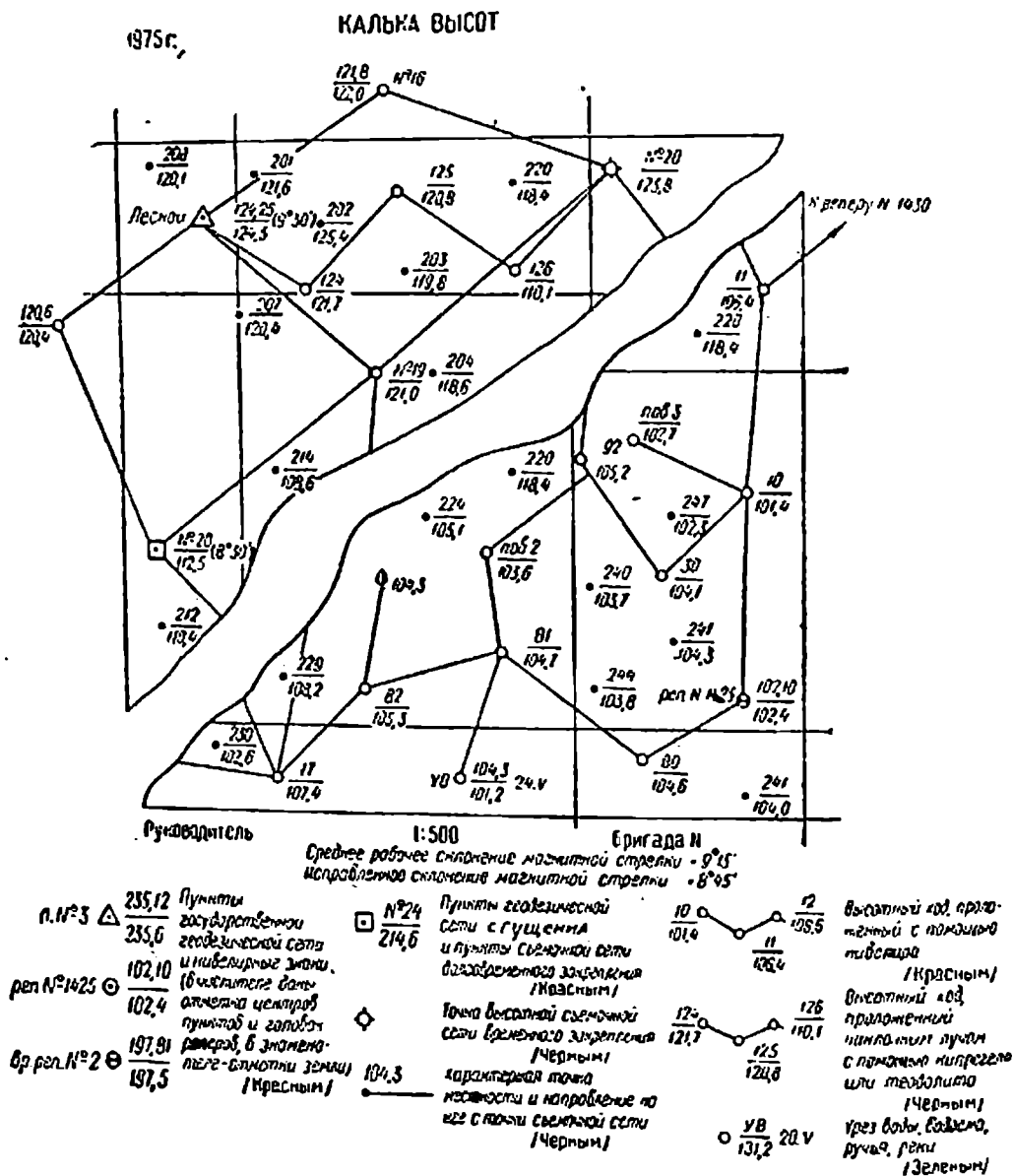


Рис. 108. Образец калыки высот

Высоты пикетов вычисляются до сантиметров. Нумерацию пикетов в журнале рекомендуется вести единую на весь участок съемки (1, 2, . . . , n), независимо от нумераций станций.

В случае если превышение затруднительно определить по диаграмме, измеряют угол каклона по вертикальному кругу при наведении на рейку начальной кривой, а расстояние определяют

по дальномерным пням, или по диаграмме. В этом случае h определяется как

$$h = \frac{1}{2} D \sin 2v + i - l, \quad (\text{IV.26})$$

где D — наклонное расстояние,
 v — угол наклона,
 i — высота прибора,
 l — высота визирования.

или по формуле (IV.6).

Значения превышений вычисляются с помощью соответствующих таблиц.

Превышение может быть определено и без применения рейки. Таким способом определяют высоту отдельных точек на линейных контурах или основания отдельных предметов, строений, деревьев, столбов, мачт и т. д. Начальная кривая наводится на основание предмета или линейный контур и определяется угол наклона. Расстояние измеряется по фотопласту.

В этом случае

$$h = s \operatorname{tg} v + i. \quad (\text{IV.27})$$

В равнинной местности превышению пикетов следует определять горизонтальным лучом, используя уровень на трубе кипрегеля. Высота пикета вычисляется как

$$\left. \begin{aligned} H_{\text{пик}} &= \text{ГИ} - b; \\ \text{ГИ} &= H_{\text{ст}} + i, \end{aligned} \right\} \quad (\text{IV.28})$$

где ГИ — горизонт инструмента,
 b — отсчет по рейке на пикете,
 i — высота прибора,

$H_{\text{ст}}$ — отметка съемочной станции.

Пикеты надо располагать на характерных точках рельефа: на вершинах, в седловинах, по линии водоразделов и водосливов, у подножия склонов, на бровках, в котловинах, на дне оврагов и на склонах, в местах изменения крутизны ската. Максимальное расстояние до пикетов 350 м, максимальное расстояние между пикетами 120 м. Следует учесть, что лишние пикеты загружают фотопласт, а недостаточное число их ведет к искажению рельефа. Горизонтали проводятся непосредственно после набора пикетов путем интерполирования на глаз. Изображенные формы рельефа сравниваются с действительными, так как ошибка в измерении превышения даже одного пикета может совершенно их исказить. В холмистых районах с выпуклыми водоразделами изображаются округлыми формами горизонталей с плавным переходом к ложбинам.

Склоны, ограниченные резкими перегибами на бровке, изображаются также резкими формами в рисунке горизонталей. Формы

замыкания горизонталей по дну ложин, балок, оврагов должны соответствовать их поперечному профилю.

При изображении рельефа равнинных участков, когда расстояния между горизонталями более 2,5 см, необходимо проводить полугоризонталь и вспомогательные горизонталь. В процессе производства съемки систематически ведется составление кальки высот, на которой помимо съемочного обоснования (точки ходов с их номерами и отметками) показываются урезы воды, высоты характерных точек местности и пикеты, высоты которых подписаны на фотоплаке, склонение магнитной стрелки. Кроме высот пикетов, необходимых для рисовки рельефа, определяются и подписываются на фотоплаке высоты плотин, верха и подошвы насыпей, плузов, пересечений шоссе и улучшенных дорог, колодцев и других характерных мест. Эти точки и их высоты также указываются на кальке высот. На кальке высот также должно быть указано среднее рабочее склонение магнитной стрелки и ее исправленное значение (за сравнение с нормальной буссолью). Образец кальки высот смотри на рис. 108.

Д е ш и ф р и р о в а н и е. По окончании и в процессе съемки рельефа производится дешифрирование, которое заключается в изображении на фотоплаке объектов, подлежащих изображению на топографической карте, и их характеристики.

Изображение дается в условных знаках.

Изображению подлежат:

- пункты геодезических сетей;
- здания, постройки, скульптуры, захоронения;
- промышленные объекты, электропередачи, трубопроводы, каналы и другие объекты коммунального хозяйства;
- линии связи, железные дороги и сооружения при них;
- автострасы, шоссе, грунтовые дороги, мосты, переправы;
- гидрография и гидрографияческие объекты, объекты водного транспорта, объекты водоснабжения;
- формы рельефа, не выражаемые горизонталями;
- растительность, грунты и микроформы поверхности (пески, такыры, болота, солончаки и др.);
- границы заповедников, ограждений.

Объекты и контуры фотоплана, не сохранившиеся на местности, вычеркиваются, а объекты, которые не изображены, — наносятся методами мензульной съемки. Определяются метрические данные и необходимые сведения для характеристики объектов (характеристика леса, глубина ям, ширина дорог, длина, ширина и грузоподъемность мостов, скорость течения рек, глубина их, характеристика бродов, глубина колодцев и др.). Характеристика леса (высота деревьев, расстояние между ними, порода) дается для массивов более 2 см² на фотоплаке. При дешифрировании населенных пунктов опознают жилые и нежилые строения, огнестойкие строения. Наносятся границы приусадебных земель, растительность внутри кварталов и вдоль улиц.

При дешифрировании железных дорог устанавливают шпириту колес, число путей, вид тяги, все дорожные сооружения, глубины выемок, высоты насыпей и др.

Выделение полевых дорог из числа грунтовых проводится на основании опроса местных жителей.

Особо тщательно дешифрируются все элементы рельефа, которые не изображаются горизонталями (осыпи, обрывы, овраги, промоины, курганы, канавы).

Все земли, не занятые сельскохозяйственными культурами, лесом, кустарником, показываются лугом. Колхозные и совхозные земли, занятые под сельскохозяйственными культурами, показываются условным знаком пашни. Посевы всех кормовых трав также показываются пашней. Отдельные небольшие рощи и деревья на пашне показываются условными знаками. Участки леса по площади более 10 м^2 и кустарники более 25 м^2 оконтуриваются.

К процессу дешифрирования следует относиться очень серьезно и вдумчиво, так как это связано с отбором деталей, важных для топографической карты, с умением делать генерализацию (обобщение).

4. Оформление и сдача материалов. Фотопланы оформляются тушью в следующих цветах: контуры, подпись, зарамочное оформление — черным, рельеф — коричневым (горизонтали, кратные 10 м, утолщаются), гидрография — зеленым, водные пространства — голубым, площади с твердым покрытием (асфальт и др.) — розовым.

В зарамочном оформлении следует указать: номенклатуру, численный и линейный масштабы, сечение горизонталей, склонение магнитной стрелки, год съемки, состав бригады, схему распределения участков между членами бригады, результаты полевого контроля.

После завершения полевых работ предъявляются:

- а) фотоплан,
- б) журнал исследований и поверок приборов,
- в) журнал топографической съемки,
- г) калька высот.

Работа считается законченной после успешного полевого контроля. Допускаемые расхождения во время полевой приемки: в плане — 0,5 мм,

по высоте — 0,7 м (одна треть сечения горизонталей).

Состав исполнителей и распределение обязанностей. Каждый студент выполняет съемку на своем участке. Распределение обязанностей таково: 1) наблюдатель, 2) вычислитель, 3) и 4) — режиссеры. Обязанности взаимозаменяются по графику бригады.

Таблица барических ступеней высот ΔH

700—800 мм рт. ст.

$t_{\text{ср}}^0$	$p_{\text{ср}}$									
	700	710	720	730	740	750	760	770	780	
—10	11,04	10,88	10,73	10,58	10,44	10,30	10,17	10,04	9,91	
—9	11,08	10,92	10,77	10,63	10,48	10,34	10,21	10,07	9,94	
—8	11,12	10,97	10,81	10,67	10,52	10,38	10,24	10,11	9,98	
—7	11,17	11,01	10,85	10,71	10,56	10,42	10,28	10,15	10,02	
—6	11,21	11,05	10,90	10,75	10,60	10,46	10,32	10,19	10,06	
—5	11,25	11,09	10,94	10,79	10,64	10,50	10,36	10,23	10,09	
—4	11,29	11,13	10,98	10,83	10,68	10,54	10,40	10,26	10,13	
—3	11,33	11,17	11,02	10,87	10,72	10,58	10,44	10,30	10,17	
—2	11,37	11,21	11,06	10,91	10,76	10,62	10,48	10,34	10,21	
—1	11,42	11,26	11,10	10,95	10,80	10,66	10,52	10,38	10,25	
0	11,46	11,30	11,14	10,99	10,84	10,69	10,55	10,42	10,28	
+1	11,50	11,34	11,18	11,03	10,88	10,73	10,59	10,46	10,32	
+2	11,54	11,38	11,22	11,07	10,92	10,77	10,63	10,49	10,36	
+3	11,58	11,42	11,26	11,11	10,96	10,81	10,67	10,53	10,40	
+4	11,63	11,46	11,30	11,15	11,00	10,85	10,71	10,57	10,43	
+5	11,67	11,50	11,34	11,19	11,04	10,89	10,75	10,61	10,47	
+6	11,71	11,55	11,38	11,23	11,08	10,93	10,79	10,65	10,51	
+7	11,75	11,59	11,43	11,27	11,12	10,97	10,83	10,68	10,55	
+8	11,79	11,63	11,47	11,31	11,16	11,01	10,86	10,73	10,58	
+9	11,84	11,67	11,51	11,35	11,20	11,05	10,90	10,76	10,62	
+10	11,88	11,71	11,55	11,39	11,24	11,09	10,94	10,80	10,66	
+11	11,92	11,75	11,59	11,43	11,28	11,13	10,98	10,84	10,70	
+12	11,96	11,79	11,63	11,47	11,32	11,16	11,02	10,87	10,74	
+13	12,00	11,83	11,67	11,51	11,36	11,20	11,06	10,91	10,77	
+14	12,05	11,88	11,71	11,55	11,39	11,24	11,10	10,95	10,81	
+15	12,09	11,92	11,75	11,59	11,43	11,28	11,13	10,99	10,85	
+16	12,13	11,96	11,79	11,63	11,47	11,32	11,17	11,03	10,89	
+17	12,17	12,00	11,83	11,67	11,51	11,36	11,21	11,07	10,92	
+18	12,21	12,04	11,87	11,71	11,55	11,40	11,25	11,10	10,96	
+19	12,26	12,08	11,91	11,75	11,59	11,44	11,29	11,14	11,00	
+20	12,30	12,12	11,96	11,79	11,63	11,48	11,33	11,18	11,04	
+21	12,34	12,17	12,00	11,83	11,67	11,52	11,37	11,22	11,07	
+22	12,38	12,22	12,04	11,87	11,71	11,56	11,40	11,26	11,11	
+23	12,42	12,25	12,08	11,91	11,75	11,60	11,44	11,29	11,15	
+24	12,47	12,29	12,12	11,95	11,79	11,63	11,48	11,33	11,19	
+25	12,51	12,33	12,16	11,99	11,83	11,67	11,52	11,37	11,22	
+26	12,55	12,37	12,20	12,03	11,87	11,71	11,56	11,41	11,26	
+27	12,59	12,41	12,24	12,07	11,91	11,75	11,60	11,45	11,30	
+28	12,63	12,46	12,28	12,11	11,95	11,79	11,64	11,49	11,34	
+29	12,68	12,50	12,32	12,15	11,99	11,83	11,67	11,52	11,38	
+30	12,72	12,54	12,36	12,19	12,03	11,87	11,71	11,56	11,41	
+31	12,76	12,58	12,40	12,23	12,07	11,91	11,75	11,60	11,45	
+32	12,80	12,62	12,45	12,28	12,11	11,95	11,79	11,64	11,49	
+33	12,84	12,66	12,49	12,32	12,15	11,99	11,83	11,68	11,53	
+34	12,88	12,70	12,53	12,36	12,19	12,03	11,87	11,71	11,56	
+35	12,93	12,75	12,57	12,40	12,23	12,07	11,91	11,75	11,60	
+36	12,97	12,79	12,61	12,44	12,27	12,10	11,95	11,79	11,64	
+37	13,01	12,83	12,65	12,48	12,31	12,14	11,98	11,83	11,68	
+38	13,05	12,87	12,69	12,52	12,35	12,18	12,02	11,87	11,71	
+39	13,09	12,91	12,73	12,56	12,39	12,22	12,06	11,90	11,75	
+40	13,14	12,95	12,77	12,60	12,43	12,26	12,10	11,94	11,79	

1. Интерполяция по величине среднего
атмосферного давления
(—)

$p_{\text{ср}}$		$t_{\text{ср}}^0$
700	800	
9.78	9.66	—10
9.82	9.70	—9
9.86	9.73	—8
9.89	9.77	—7
9.93	9.81	—6
9.97	9.84	—5
10.00	9.88	—4
10.04	9.92	—3
10.08	9.95	—2
10.11	9.99	—1
10.15	10.03	0
10.19	10.06	+1
10.23	10.10	+2
10.26	10.14	+3
10.30	10.17	+4
10.34	10.21	+5
10.38	10.25	+6
10.41	10.28	+7
10.45	10.32	+8
10.49	10.36	+9
10.52	10.39	+10
10.56	10.43	+11
10.60	10.47	+12
10.64	10.50	+13
10.67	10.54	+14
10.71	10.58	+15
10.75	10.61	+16
10.79	10.65	+17
10.82	10.69	+18
10.86	10.72	+19
10.90	10.76	+20
10.93	10.80	+21
10.97	10.83	+22
11.01	10.87	+23
11.05	10.91	+24
11.08	10.94	+25
11.12	10.98	+26
11.16	11.02	+27
11.19	11.05	+28
11.23	11.09	+29
11.27	11.13	+30
11.31	11.16	+31
11.34	11.20	+32
11.38	11.24	+33
11.42	11.27	+34
11.45	11.31	+35
11.49	11.35	+36
11.53	11.38	+37
11.57	11.42	+38
11.60	11.46	+39
11.64	11.49	+40

Δp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Δp
12	0.01	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	12
13	0.01	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	13
14	0.01	0.03	0.04	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.13	14
15	0.02	0.03	0.04	0.06	0.08	0.09	0.10	0.12	0.14	15
16	0.02	0.03	0.05	0.06	0.08	0.10	0.10	0.13	0.14	16
17	0.02	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10	0.12	0.14	0.15	17
18	0.02	0.04	0.05	0.07	0.09	0.11	0.13	0.14	0.16	18
Δp	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Δp

2. Интерполяция по величине средней
температуры воздуха
(+)

Δt	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	Δt
3	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	3
4	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	4
5	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,04	5
Δt	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	Δt

Таблица приближенных высот
 H' при $t_{cp} = +15^\circ \text{C}$

680—719 мм рт. ст.

p	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	p
680	941,3	940,0	938,7	937,5	936,3	935,0	933,8	932,5	931,3	930,1	680
681	928,8	927,5	926,3	925,1	923,8	922,6	921,3	920,2	918,9	917,6	681
682	916,4	915,2	913,9	912,7	911,4	910,2	909,0	907,7	906,4	905,3	682
683	904,0	902,7	901,5	900,3	899,1	897,8	896,5	895,4	894,1	892,8	683
684	891,6	890,4	889,1	887,9	886,7	885,4	884,2	882,9	881,8	880,5	684
685	879,2	878,1	876,8	875,5	874,3	873,1	871,8	870,6	869,4	868,1	685
686	866,9	865,7	864,4	863,2	861,9	860,8	859,5	858,2	857,1	855,8	686
687	854,5	853,4	852,1	850,8	849,7	848,4	847,1	846,0	844,7	843,5	687
688	842,3	841,0	839,8	838,6	837,3	836,1	834,9	833,6	832,5	831,2	688
689	830,0	828,8	827,5	826,3	825,1	823,8	822,6	821,4	820,1	818,9	689
690	817,7	816,4	815,3	814,0	812,8	811,6	810,3	809,2	807,9	806,6	690
691	805,5	804,2	803,0	801,8	800,5	799,4	798,1	796,9	795,7	794,4	691
692	793,2	792,0	790,8	789,5	788,3	787,1	785,9	784,7	783,4	782,2	692
693	781,0	779,7	778,6	777,3	776,1	774,9	773,6	772,5	771,2	770,0	693
694	768,8	767,6	766,3	765,2	763,9	762,6	761,5	760,2	759,1	757,8	694
695	756,6	755,4	754,2	752,9	751,8	750,5	749,4	748,1	746,8	745,7	695
696	744,4	743,2	742,0	740,8	739,5	738,4	737,1	736,0	734,7	733,5	696
697	732,3	731,1	729,8	728,7	727,4	726,2	725,0	723,8	722,6	721,4	697
698	720,1	719,0	717,7	716,5	715,3	714,1	712,8	711,7	710,4	709,3	698
699	708,0	706,8	705,6	704,4	703,1	702,0	700,8	699,6	698,4	697,1	699
700	696,0	694,7	693,5	692,3	691,1	689,9	688,7	687,5	686,3	685,1	700
701	683,8	682,7	681,4	680,2	679,0	677,8	676,7	675,4	674,2	673,0	701
702	671,8	670,5	669,4	668,2	667,0	665,8	664,5	663,4	662,1	660,9	702
703	659,8	658,5	657,4	656,1	654,9	653,8	652,5	651,3	650,1	648,9	703
704	647,8	646,5	645,3	644,1	642,9	641,7	640,5	639,3	638,1	636,9	704
705	635,7	634,5	633,3	632,1	630,9	629,7	628,5	627,3	626,1	624,9	705
706	623,7	622,5	621,3	620,1	619,0	617,7	616,5	615,4	614,1	612,9	706
707	611,8	610,5	609,4	608,1	606,9	605,8	604,5	603,3	602,2	600,9	707
708	599,8	598,6	597,3	596,2	595,0	593,8	592,6	591,4	590,3	589,0	708
709	587,8	586,7	585,5	584,2	583,1	581,8	580,7	579,5	578,3	577,1	709
710	575,9	574,8	573,5	572,3	571,2	569,9	568,7	567,6	566,4	565,2	710
711	564,0	562,8	561,6	560,4	559,2	558,1	556,8	555,7	554,5	553,2	711
712	552,1	550,9	549,7	548,5	547,3	546,2	545,0	543,7	542,6	541,3	712
713	540,3	539,0	537,8	536,7	535,5	534,2	533,1	531,9	530,8	529,6	713
714	528,3	527,2	526,0	524,9	523,6	522,4	521,3	520,1	518,8	517,7	714
715	516,5	515,4	514,2	512,9	511,8	510,6	509,4	508,2	507,0	505,9	715
716	504,7	503,5	502,3	501,1	500,0	498,8	497,6	496,4	495,2	494,0	716
717	492,9	491,7	490,6	489,3	488,1	487,0	485,8	484,7	483,4	482,2	717
718	481,1	479,9	478,7	477,6	476,3	475,2	474,0	472,8	471,7	470,5	718
719	469,3	468,1	466,9	465,8	464,6	463,5	462,3	461,0	459,9	458,7	719
p	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	p

p	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	p
720	457,5	456,4	455,2	454,1	452,8	451,0	450,5	449,3	448,2	447,0	720
721	445,8	444,6	443,4	442,2	441,1	439,9	438,3	437,6	436,4	435,3	721
722	434,1	432,9	431,7	430,5	429,4	428,4	427,1	425,9	424,7	423,6	722
723	422,3	421,1	420,0	418,8	417,7	416,5	415,3	414,2	413,0	411,9	723
724	410,7	409,5	408,3	407,1	406,0	404,8	403,6	402,5	401,3	400,2	724
725	399,0	397,8	396,7	395,5	394,4	393,2	392,0	390,8	389,6	388,4	725
726	387,3	386,1	385,0	383,8	382,6	381,5	380,3	379,3	378,0	376,8	726
727	375,7	374,5	373,4	372,2	371,0	369,9	368,7	367,6	366,4	365,2	727
728	364,1	362,9	361,8	360,6	359,4	358,3	357,1	355,9	354,8	353,6	728
729	352,5	351,3	350,1	349,0	347,8	346,8	345,5	344,3	343,2	342,0	729
730	340,9	339,7	338,5	337,4	336,2	335,1	333,9	332,7	331,6	330,4	730
731	329,3	328,1	326,9	325,8	324,6	323,5	322,3	321,1	320,1	318,8	731
732	317,7	316,5	315,3	314,2	313,0	311,9	310,7	309,5	308,5	307,3	732
733	306,2	305,0	303,8	302,7	301,5	300,4	299,2	298,0	296,9	295,7	733
734	294,5	293,4	292,2	291,1	290,0	288,9	287,7	286,5	285,4	284,2	734
735	283,1	281,9	280,7	279,6	278,4	277,2	276,2	275,0	273,9	272,7	735
736	271,6	270,4	269,2	268,1	266,9	265,7	264,7	263,5	262,4	261,2	736
737	260,1	258,9	257,7	256,6	255,5	254,4	253,2	252,0	250,9	249,7	737
738	248,0	247,4	246,3	245,2	244,0	242,9	241,7	240,5	239,4	238,3	738
739	237,2	236,0	234,8	233,7	232,5	231,4	230,3	229,1	228,0	226,8	739
740	225,7	224,5	223,4	222,3	221,1	220,0	218,8	217,6	216,6	215,4	740
741	214,3	213,1	211,9	210,8	209,7	208,6	207,4	206,2	205,1	204,0	741
742	202,9	201,7	200,6	199,4	198,2	197,2	196,0	194,9	193,7	192,5	742
743	191,5	190,3	189,2	188,0	186,8	185,8	184,6	183,5	182,3	181,2	743
744	180,1	178,9	177,8	176,6	175,5	174,4	173,2	172,1	171,0	169,9	744
745	168,7	167,5	166,4	165,3	164,2	163,0	161,8	160,8	159,6	158,5	745
746	157,3	156,2	155,1	153,9	152,8	151,7	150,5	149,4	148,2	147,2	746
747	146,0	144,8	143,8	142,6	141,5	140,3	139,3	138,1	136,9	135,8	747
748	134,7	133,6	132,4	131,2	130,2	129,0	127,9	126,8	125,6	124,5	748
749	123,4	122,3	121,1	120,0	118,9	117,7	116,6	115,5	114,4	113,2	749
750	112,0	111,0	109,8	108,7	107,6	106,4	105,3	104,2	103,1	101,9	750
751	100,9	99,7	98,5	97,5	96,3	95,2	94,1	92,9	91,8	90,6	751
752	89,6	88,4	87,2	86,2	85,0	84,0	82,8	81,7	80,6	79,4	752
753	78,3	77,2	76,1	74,9	73,8	72,7	71,5	70,5	69,3	68,2	753
754	67,1	65,9	64,9	63,7	62,6	61,5	60,3	59,2	58,1	57,0	754
755	55,9	54,8	53,6	52,5	51,4	50,2	49,2	48,0	46,9	45,8	755
756	44,6	43,6	42,4	41,4	40,2	39,0	38,0	36,8	35,8	34,6	756
757	33,4	32,4	31,2	30,1	29,0	27,9	26,8	25,6	24,6	23,4	757
758	22,3	21,2	20,0	19,0	17,8	16,8	15,6	14,5	13,4	12,2	758
759	11,2	10,0	8,9	7,8	6,6	5,6	4,4	3,4	2,2	1,2	759
p	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	p

760—800 мм рт. ст.

p	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	p
760	0,0	-1,2	-2,2	-3,4	-4,4	-5,6	-6,6	-7,8	-8,9	-10,0	760
761	-11,2	-12,2	-13,4	-14,5	-15,6	-16,7	-17,8	-18,9	-20,0	-21,1	761
762	-22,3	-23,3	-24,5	-25,5	-26,7	-27,7	-28,8	-30,0	-31,1	-32,2	762
763	-33,3	-34,5	-35,6	-36,7	-37,8	-38,9	-40,0	-41,1	-42,2	-43,4	763
764	-44,4	-45,6	-46,6	-47,8	-48,8	-50,0	-51,1	-52,2	-53,3	-54,4	764
765	-55,5	-56,5	-57,7	-58,8	-59,9	-61,0	-62,1	-63,2	-64,4	-65,4	765
766	-66,6	-67,6	-68,8	-69,8	-71,0	-72,1	-73,2	-74,3	-75,3	-76,5	766
767	-77,5	-78,7	-79,8	-80,9	-82,0	-83,1	-84,2	-85,3	-86,4	-87,5	767
768	-88,6	-89,7	-90,8	-91,9	-93,0	-94,1	-95,3	-96,3	-97,4	-98,5	768
769	-99,6	-100,8	-101,8	-103,0	-104,0	-105,1	-106,2	-107,3	-108,5	-109,5	769
770	-110,7	-111,7	-112,8	-113,9	-115,0	-116,2	-117,2	-118,3	-119,4	-120,5	770
771	-121,6	-122,7	-123,7	-124,9	-126,0	-127,1	-128,2	-129,2	-130,4	-131,5	771
772	-132,6	-133,7	-134,7	-135,9	-136,9	-138,1	-139,2	-140,2	-141,4	-142,4	772
773	-143,6	-144,6	-145,7	-146,9	-147,9	-149,0	-150,1	-151,2	-152,2	-153,4	773
774	-154,4	-155,6	-156,7	-157,7	-158,9	-159,9	-161,0	-162,2	-163,2	-164,3	774
775	-165,4	-166,5	-167,5	-168,7	-169,7	-170,9	-172,0	-173,0	-174,2	-175,2	775
776	-176,3	-177,4	-178,5	-179,6	-180,7	-181,8	-182,8	-184,0	-185,0	-186,1	776
777	-187,3	-188,3	-189,4	-190,4	-191,6	-192,6	-193,7	-194,9	-195,9	-197,0	777
778	-198,1	-199,2	-200,2	-201,4	-202,5	-203,5	-204,7	-205,7	-206,8	-207,8	778
779	-209,0	-210,0	-211,1	-212,3	-213,3	-214,4	-215,6	-216,6	-217,6	-218,7	779
780	-219,9	-220,9	-222,0	-223,0	-224,2	-225,2	-226,3	-227,5	-228,5	-229,6	780
781	-230,6	-231,8	-232,8	-233,9	-234,9	-236,1	-237,2	-238,2	-239,3	-240,4	781
782	-241,5	-242,5	-243,7	-244,8	-245,8	-246,9	-248,0	-249,1	-250,1	-251,2	782
783	-252,4	-253,4	-254,5	-255,5	-256,6	-257,7	-258,8	-259,8	-260,9	-262,1	783
784	-263,1	-264,2	-265,2	-266,4	-267,4	-268,5	-269,5	-270,7	-271,8	-272,8	784
785	-273,9	-274,9	-276,1	-277,1	-278,2	-279,3	-280,3	-281,5	-282,5	-283,6	785
786	-284,6	-285,8	-286,8	-287,9	-289,0	-290,0	-291,2	-292,2	-293,3	-294,3	786
787	-295,4	-296,4	-297,6	-298,7	-299,7	-300,8	-301,8	-303,0	-304,0	-305,1	787
788	-306,2	-307,2	-308,3	-309,4	-310,5	-311,5	-312,6	-313,6	-314,7	-315,9	788
789	-316,9	-318,0	-319,0	-320,1	-321,1	-322,3	-323,4	-324,4	-325,5	-326,5	789
790	-327,7	-328,7	-329,8	-330,8	-331,9	-333,0	-334,0	-335,1	-336,2	-337,3	790
791	-338,3	-339,4	-340,4	-341,5	-342,6	-343,7	-344,8	-345,8	-346,9	-347,9	791
792	-349,0	-350,0	-351,2	-352,3	-353,3	-354,4	-355,4	-356,5	-357,5	-358,6	792
793	-359,7	-360,8	-361,9	-362,9	-364,0	-365,0	-366,1	-367,1	-368,2	-369,2	793
794	-370,4	-371,5	-372,5	-373,6	-374,6	-375,7	-376,7	-377,8	-378,8	-379,9	794
795	-381,1	-382,1	-383,2	-384,2	-385,3	-386,3	-387,4	-388,4	-389,5	-390,6	795
796	-391,6	-392,7	-393,8	-394,9	-395,9	-397,0	-398,0	-399,1	-400,2	-401,2	796
797	-402,3	-403,3	-404,4	-405,4	-406,5	-407,5	-408,6	-409,6	-410,6	-411,6	797
798	-412,9	-414,0	-415,0	-416,1	-417,1	-418,2	-419,2	-420,3	-421,4	-422,4	798
799	-423,5	-424,5	-425,6	-426,6	-427,7	-428,7	-429,8	-430,9	-431,9	-433,0	799
800	-434,1	-435,2	-436,2	-437,3	-438,3	-439,4	-440,5	-441,5	-442,6	-443,6	800
p	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	p

Таблица поправок в превышения за температуру

10—90 м
(+)

(-)

$t^{\circ}\text{ср}$	h'									$t^{\circ}\text{ср}$
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	
-10	0,9	1,7	2,6	3,5	4,3	5,2	6,1	6,9	7,8	+40
-9	0,8	1,7	2,5	3,3	4,2	5,0	5,8	6,7	7,5	+39
-8	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	+38
-7	0,8	1,5	2,3	3,1	3,8	4,6	5,3	6,1	6,9	+37
-6	0,7	1,5	2,2	2,9	3,6	4,4	5,1	5,8	6,6	+36
-5	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	+35
-4	0,7	1,3	2,0	2,6	3,3	4,0	4,6	5,3	5,9	+34
-3	0,6	1,3	1,9	2,5	3,1	3,8	4,4	5,0	5,6	+33
-2	0,6	1,2	1,8	2,4	3,0	3,5	4,1	4,7	5,3	+32
-1	0,6	1,1	1,7	2,2	2,8	3,3	3,9	4,4	5,0	+31
0	0,5	1,0	1,6	2,1	2,6	3,1	3,6	4,2	4,7	+30
+1	0,5	1,0	1,5	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	4,4	+29
+2	0,5	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,2	3,6	4,1	+28
+3	0,4	0,8	1,3	1,7	2,1	2,5	2,9	3,3	3,8	+27
+4	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,7	3,1	3,4	+26
+5	0,3	0,7	1,0	1,4	1,7	2,1	2,4	2,8	3,1	+25
+6	0,3	0,6	0,9	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5	2,8	+24
+7	0,3	0,6	0,8	1,1	1,4	1,7	1,9	2,2	2,5	+23
+8	0,2	0,5	0,7	1,0	1,2	1,5	1,7	1,9	2,2	+22
+9	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,3	1,5	1,7	1,9	+21
+10	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6	+20
+11	0,1	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,0	1,1	1,3	+19
+12	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	+18
+13	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,6	+17
+14	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	+16

Примечание. При температуре ниже +15° поправка имеет знак—(минус); при температуре выше +15° поправка имеет+ (плюс), при температуре +15° поправка равна 0 (нулю).

h° _{ср}	h'										h° _{ср}
	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	
—10	8,7	9,6	10,4	11,3	12,2	13,0	13,9	14,8	15,6	16,5	+40
—9	8,3	9,2	10,0	10,8	11,7	12,5	13,3	14,2	15,0	15,8	+39
—8	8,0	8,8	9,6	10,4	11,2	12,0	12,8	13,6	14,4	15,2	+38
—7	7,6	8,4	9,2	9,9	10,7	11,5	12,2	13,0	13,8	14,5	+37
—6	7,3	8,0	8,8	9,5	10,2	10,9	11,7	12,4	13,1	13,9	+36
—5	7,0	7,6	8,3	9,0	9,7	10,4	11,1	11,8	12,5	13,2	+35
—4	6,6	7,3	7,9	8,6	9,2	9,9	10,6	11,2	11,9	12,5	+34
—3	6,3	6,9	7,5	8,1	8,8	9,4	10,0	10,6	11,3	11,9	+33
—2	5,9	6,5	7,1	7,7	8,3	8,9	9,5	10,0	10,6	11,2	+32
—1	5,6	6,1	6,7	7,2	7,8	8,3	8,9	9,5	10,0	10,6	+31
0	5,2	5,7	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3	8,9	9,4	9,9	+30
+1	4,9	5,4	5,8	6,3	6,8	7,3	7,8	8,3	8,8	9,2	+29
+2	4,5	5,0	5,4	5,9	6,3	6,8	7,2	7,7	8,1	8,6	+28
+3	4,2	4,6	5,0	5,4	5,8	6,3	6,7	7,1	7,5	7,9	+27
+4	3,8	4,2	4,6	5,0	5,4	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	+26
+5	3,5	3,8	4,2	4,5	4,9	5,2	5,6	5,9	6,3	6,6	+25
+6	3,1	3,4	3,8	4,1	4,4	4,7	5,0	5,3	5,6	5,9	+24
+7	2,8	3,1	3,3	3,6	3,9	4,2	4,4	4,7	5,0	5,3	+23
+8	2,4	2,7	2,9	3,2	3,4	3,6	3,9	4,1	4,4	4,6	+22
+9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	3,1	3,3	3,5	3,8	4,0	+21
+10	1,7	1,9	2,1	2,3	2,4	2,6	2,8	3,0	3,1	3,3	+20
+11	1,4	1,5	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	+19
+12	1,0	1,1	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	+18
+13	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,3	1,3	+17
+14	0,3	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	+16

Приложение 4

Таблица для вычисления поправок Δl за приведение к горизонту 24- и 48-метровых пролетов

В таблице помещены поправки Δl_{48} за приведение к горизонту 48-метровых пролетов, вычисленные по формуле

$$\Delta l_{48} = \frac{h^2}{2l} + \frac{h^4}{8l^3},$$

где h — разность высот конечных точек пролета;

l — длина пролета (48 м).

Поправки даны в миллиметрах для значений h от 0 до 1490 мм, через интервалы в 1 мм.

С помощью таблицы также вычисляют поправки Δl_{24} за приведение к горизонту 24-метровых пролетов по формуле

$$\Delta l_{24} = 2\Delta l_{48}.$$

Таблица

h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
30	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
40	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
50	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04
60	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
70	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
80	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
90	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10
100	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12
110	0,13	0,13	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15
120	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17
130	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,20
140	0,20	0,21	0,21	0,21	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23	0,23
150	0,23	0,24	0,24	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26
160	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,29	0,29	0,30
170	0,30	0,30	0,31	0,31	0,32	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33
180	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36	0,37	0,37
190	0,38	0,38	0,38	0,39	0,39	0,40	0,40	0,40	0,41	0,41
200	0,42	0,42	0,42	0,43	0,43	0,44	0,44	0,45	0,45	0,46
210	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50
220	0,50	0,51	0,51	0,52	0,52	0,53	0,53	0,54	0,54	0,55
230	0,55	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58	0,59	0,59
240	0,60	0,60	0,61	0,61	0,62	0,62	0,63	0,64	0,64	0,65
250	0,65	0,66	0,66	0,67	0,67	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70
260	0,70	0,71	0,72	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,75
270	0,76	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,80	0,81
280	0,82	0,82	0,83	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87
290	0,88	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93
300	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	1,00
310	1,00	1,01	1,01	1,02	1,03	1,03	1,04	1,05	1,05	1,06
320	1,07	1,07	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13
330	1,13	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,18	1,19	1,20
340	1,20	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,25	1,26	1,27
350	1,28	1,28	1,29	1,30	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,34
360	1,35	1,36	1,36	1,37	1,38	1,39	1,40	1,40	1,41	1,42
370	1,43	1,43	1,44	1,45	1,46	1,46	1,47	1,48	1,49	1,50
380	1,50	1,51	1,52	1,53	1,54	1,54	1,55	1,56	1,57	1,58
390	1,58	1,59	1,60	1,61	1,62	1,62	1,63	1,64	1,65	1,66
400	1,67	1,68	1,68	1,69	1,70	1,71	1,72	1,73	1,73	1,74
410	1,75	1,76	1,77	1,78	1,78	1,79	1,80	1,81	1,82	1,83
420	1,84	1,85	1,86	1,86	1,87	1,88	1,89	1,90	1,91	1,92
430	1,93	1,94	1,94	1,95	1,96	1,97	1,98	1,99	2,00	2,01
440	2,02	2,03	2,04	2,04	2,05	2,06	2,07	2,08	2,09	2,10
450	2,11	2,12	2,13	2,14	2,15	2,16	2,17	2,18	2,18	2,19
460	2,20	2,21	2,22	2,23	2,24	2,25	2,26	2,27	2,28	2,29
470	2,30	2,31	2,32	2,33	2,34	2,35	2,36	2,37	2,38	2,39
480	2,40	2,41	2,43	2,43	2,44	2,45	2,46	2,47	2,48	2,49
490	2,50	2,51	2,52	2,53	2,54	2,55	2,56	2,57	2,58	2,59
h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
500	2,60	2,62	2,63	2,64	2,65	2,66	2,67	2,68	2,69	2,70
510	2,71	2,72	2,73	2,74	2,75	2,76	2,77	2,78	2,80	2,81
520	2,82	2,83	2,84	2,85	2,86	2,87	2,88	2,89	2,90	2,92
530	2,93	2,94	2,95	2,96	2,97	2,98	2,99	3,00	3,02	3,03
540	3,04	3,05	3,06	3,07	3,08	3,09	3,10	3,12	3,13	3,14
550	3,15	3,16	3,17	3,19	3,20	3,21	3,22	3,23	3,24	3,26
560	3,27	3,28	3,29	3,30	3,31	3,32	3,34	3,35	3,36	3,37
570	3,38	3,40	3,41	3,42	3,43	3,44	3,46	3,47	3,48	3,49
580	3,50	3,52	3,53	3,54	3,55	3,56	3,58	3,59	3,60	3,61
590	3,63	3,64	3,65	3,66	3,68	3,69	3,70	3,71	3,72	3,74
600	3,75	3,76	3,78	3,79	3,80	3,81	3,82	3,84	3,85	3,86
610	3,88	3,89	3,90	3,91	3,93	3,94	3,95	3,97	3,98	3,99
620	4,00	4,02	4,03	4,04	4,06	4,07	4,08	4,10	4,11	4,12
630	4,13	4,15	4,16	4,17	4,19	4,20	4,21	4,23	4,24	4,25
640	4,27	4,28	4,29	4,31	4,32	4,33	4,35	4,36	4,37	4,39
650	4,40	4,42	4,43	4,44	4,46	4,47	4,48	4,50	4,51	4,52
660	4,54	4,55	4,56	4,58	4,59	4,61	4,62	4,63	4,65	4,66
670	4,68	4,69	4,70	4,72	4,73	4,75	4,76	4,77	4,79	4,80
680	4,82	4,83	4,84	4,86	4,87	4,89	4,90	4,92	4,93	4,94
690	4,96	4,97	4,99	5,00	5,02	5,03	5,05	5,06	5,08	5,09
700	5,10	5,12	5,13	5,15	5,16	5,18	5,19	5,21	5,22	5,24
710	5,25	5,27	5,28	5,30	5,31	5,32	5,34	5,36	5,37	5,38
720	5,40	5,42	5,43	5,44	5,46	5,48	5,49	5,51	5,52	5,54
730	5,55	5,57	5,58	5,60	5,61	5,63	5,64	5,66	5,67	5,69
740	5,70	5,72	5,74	5,75	5,77	5,78	5,80	5,81	5,83	5,84
750	5,86	5,88	5,89	5,91	5,92	5,94	5,95	5,97	5,98	6,00
760	6,02	6,03	6,05	6,06	6,08	6,10	6,11	6,13	6,14	6,16
770	6,18	6,19	6,21	6,22	6,24	6,26	6,27	6,29	6,30	6,32
780	6,34	6,35	6,37	6,39	6,40	6,42	6,44	6,45	6,47	6,48
790	6,50	6,52	6,53	6,55	6,57	6,58	6,60	6,62	6,63	6,65
800	6,67	6,68	6,70	6,72	6,73	6,75	6,77	6,78	6,80	6,82
810	6,84	6,85	6,87	6,89	6,90	6,92	6,94	6,95	6,97	6,99
820	7,00	7,02	7,04	7,06	7,07	7,09	7,11	7,12	7,14	7,16
830	7,18	7,20	7,21	7,23	7,25	7,26	7,28	7,30	7,32	7,33
840	7,35	7,37	7,39	7,40	7,42	7,44	7,46	7,47	7,49	7,51
850	7,53	7,54	7,56	7,58	7,60	7,62	7,63	7,65	7,67	7,69
860	7,70	7,72	7,74	7,76	7,78	7,79	7,81	7,83	7,85	7,87
870	7,88	7,90	7,92	7,94	7,96	7,98	7,99	8,01	8,03	8,05
880	8,07	8,09	8,10	8,12	8,14	8,16	8,18	8,20	8,21	8,23
890	8,25	8,27	8,29	8,31	8,33	8,34	8,36	8,38	8,40	8,42
900	8,44	8,46	8,48	8,49	8,51	8,53	8,55	8,57	8,59	8,61
910	8,63	8,65	8,66	8,68	8,70	8,72	8,74	8,76	8,78	8,80
920	8,82	8,84	8,86	8,88	8,90	8,91	8,93	8,95	8,97	8,99
930	9,01	9,03	9,05	9,07	9,09	9,11	9,13	9,15	9,17	9,19
940	9,20	9,22	9,24	9,26	9,28	9,30	9,32	9,34	9,36	9,38
950	9,40	9,42	9,44	9,46	9,48	9,50	9,52	9,54	9,56	9,58
960	9,60	9,62	9,64	9,66	9,68	9,70	9,72	9,74	9,76	9,78
970	9,80	9,82	9,84	9,86	9,88	9,90	9,92	9,94	9,96	9,98
980	10,00	10,03	10,05	10,07	10,09	10,11	10,13	10,15	10,17	10,19
990	10,21	10,23	10,25	10,27	10,29	10,31	10,34	10,36	10,38	10,40
h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1000	10,42	10,44	10,46	10,48	10,50	10,52	10,54	10,56	10,58	10,61
1010	10,63	10,65	10,67	10,69	10,71	10,73	10,75	10,78	10,80	10,82
1020	10,84	10,86	10,88	10,90	10,92	10,94	10,97	10,99	11,01	11,03
1030	11,05	11,07	11,10	11,12	11,14	11,16	11,18	11,20	11,22	11,25
1040	11,27	11,29	11,31	11,33	11,36	11,38	11,40	11,42	11,44	11,46
1050	11,49	11,51	11,53	11,55	11,57	11,60	11,62	11,64	11,66	11,68
1060	11,71	11,73	11,75	11,77	11,79	11,82	11,84	11,86	11,88	11,90
1070	11,93	11,95	11,97	11,99	12,02	12,04	12,06	12,08	12,11	12,13
1080	12,15	12,18	12,20	12,22	12,24	12,26	12,29	12,31	12,33	12,36
1090	12,38	12,40	12,42	12,45	12,47	12,49	12,51	12,54	12,56	12,58
1100	12,61	12,63	12,65	12,67	12,70	12,72	12,74	12,77	12,79	12,81
1110	12,84	12,86	12,88	12,91	12,93	12,95	12,98	13,00	13,02	13,05
1120	13,07	13,09	13,12	13,14	13,16	13,19	13,21	13,23	13,26	13,28
1130	13,30	13,33	13,35	13,37	13,40	13,42	13,44	13,47	13,49	13,52
1140	13,54	13,56	13,59	13,61	13,64	13,66	13,68	13,71	13,73	13,76
1150	13,78	13,80	13,83	13,85	13,87	13,90	13,92	13,95	13,97	14,00
1160	14,02	14,04	14,07	14,09	14,12	14,14	14,16	14,19	14,21	14,24
1170	14,26	14,29	14,31	14,33	14,36	14,38	14,41	14,43	14,46	14,48
1180	14,51	14,53	14,56	14,58	14,60	14,63	14,65	14,68	14,70	14,73
1190	14,75	14,78	14,80	14,83	14,85	14,88	14,90	14,93	14,95	14,98
1200	15,00	15,03	15,05	15,08	15,10	15,13	15,15	15,18	15,20	15,23
1210	15,25	15,28	15,30	15,33	15,36	15,38	15,40	15,43	15,46	15,48
1220	15,51	15,53	15,56	15,58	15,61	15,63	15,66	15,68	15,71	15,74
1230	15,76	15,79	15,81	15,84	15,86	15,89	15,92	15,94	15,97	15,99
1240	16,02	16,05	16,07	16,10	16,12	16,15	16,17	16,20	16,23	16,25
1250	16,28	16,30	16,33	16,36	16,38	16,41	16,44	16,46	16,49	16,51
1260	16,54	16,57	16,59	16,62	16,65	16,67	16,70	16,72	16,75	16,78
1270	16,80	16,83	16,86	16,88	16,91	16,94	16,96	16,99	17,02	17,04
1280	17,07	17,10	17,12	17,15	17,18	17,20	17,23	17,26	17,28	17,31
1290	17,33	17,36	17,39	17,42	17,45	17,47	17,50	17,53	17,55	17,58
1300	17,61	17,63	17,66	17,69	17,72	17,74	17,77	17,80	17,83	17,85
1310	17,88	17,91	17,93	17,96	17,99	18,02	18,04	18,07	18,10	18,13
1320	18,15	18,18	18,21	18,24	18,26	18,29	18,32	18,35	18,37	18,40
1330	18,43	18,46	18,49	18,51	18,54	18,57	18,60	18,62	18,65	18,68
1340	18,71	18,74	18,76	18,79	18,82	18,85	18,88	18,90	18,93	18,96
1350	18,99	19,02	19,04	19,07	19,10	19,13	19,16	19,19	19,21	19,24
1360	19,27	19,30	19,33	19,36	19,38	19,41	19,44	19,47	19,50	19,53
1370	19,55	19,58	19,61	19,64	19,67	19,70	19,73	19,76	19,78	19,81
1380	19,84	19,87	19,90	19,93	19,96	19,99	20,02	20,04	20,07	20,10
1390	20,13	20,16	20,19	20,22	20,25	20,28	20,30	20,33	20,36	20,39
1400	20,42	20,45	20,48	20,51	20,54	20,57	20,60	20,63	20,66	20,68
1410	20,71	20,74	20,77	20,80	20,83	20,86	20,89	20,92	20,95	20,98
1420	21,01	21,04	21,07	21,10	21,13	21,16	21,19	21,22	21,25	21,28
1430	21,31	21,34	21,37	21,40	21,43	21,45	21,48	21,51	21,54	21,57
1440	21,60	21,63	21,66	21,69	21,73	21,76	21,79	21,82	21,85	21,88
1450	21,91	21,94	21,97	22,00	22,03	22,06	22,09	22,12	22,15	22,18
1460	22,21	22,24	22,27	22,30	22,33	22,36	22,39	22,42	22,45	22,48
1470	22,51	22,55	22,58	22,61	22,64	22,67	22,70	22,73	22,76	22,79
1480	22,82	22,85	22,88	22,91	22,95	22,98	23,01	23,04	23,07	23,10
1490	23,13	23,16	23,19	23,22	23,26	23,29	23,32	23,35	23,38	23,41
h	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Таблицы коэффициентов

Таблица коэффициентов K для вычисления поправок Δs за приведение длин линий на плоскость в полигонометрии 4 класса

Поправки Δs вычисляются в миллиметрах по формуле

$$\Delta s = Ks,$$

где $K = \frac{y_m^2}{2R^2} \cdot 10^6,$

s — измеренная длина линии, км.

Коэффициент K выбирается из таблицы по средней ординате линии (y_m) в километрах.

Поправка Δs всегда прибавляется к измеренной длине линии.

Пример. Измеренная длина линии $s = 1.982$ км, средняя ордината линии $y_m = 144.4$ км.

$$\Delta s = 256 \cdot 1.982 = 507 \text{ мм.}$$

y_m , км	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
10	1	1	2	2	2	3	3	4	4	4
20	5	5	6	7	7	8	8	9	10	10
30	11	12	13	13	14	15	16	17	18	19
40	20	21	22	23	24	26	26	27	28	30
50	31	32	33	35	36	37	39	40	41	43
60	44	46	47	49	50	52	54	55	57	59
70	60	62	64	65	67	69	71	73	75	77
80	79	81	83	85	87	89	91	93	95	97
90	100	102	104	106	109	111	113	116	118	120
100	123	125	128	130	133	136	138	141	143	146
110	149	151	154	157	160	163	165	168	171	174
120	177	180	183	186	189	192	195	198	201	206
130	206	211	214	217	221	224	227	231	234	237
140	241	244	248	251	255	258	262	266	269	273
150	277	280	284	288	291	295	299	303	307	311
160	315	319	323	327	331	335	339	343	347	351
170	355	359	364	368	372	376	381	385	389	394
180	398	403	407	412	416	421	425	430	434	439
190	444	448	453	458	463	467	472	477	482	487
200	492	497	502	506	511	517	522	527	532	537
210	542	547	552	558	563	568	573	579	584	589
220	595	600	606	611	617	622	628	633	639	646
230	650	656	662	667	673	679	685	690	696	702
240	708	714	720	726	732	738	744	750	756	762
250	768	774	781	787	793	799	805	812	818	824
260	831	837	844	850	857	863	870	877	883	889
270	890	903	909	916	923	929	936	943	950	957
280	964	970	977	984	991	998	1005	1012	1019	1027
290	1034	1041	1048	1055	1062	1070	1077	1084	1091	1099
300	1106	1114	1121	1128	1136	1143	1151	1158	1166	1174
310	1181	1189	1196	1204	1212	1220	1227	1235	1243	1251
320	1259	1266	1274	1282	1290	1298	1306	1314	1322	1330
330	1338	1347	1355	1363	1371	1379	1388	1396	1404	1412
340	1421	1429	1438	1446	1454	1463	1471	1480	1488	1497
350	1500	1514	1523	1532	1540	1548	1558	1566	1575	1584
360	1593	1602	1611	1620	1628	1637	1646	1655	1664	1674
370	1683	1692	1701	1710	1719	1728	1738	1747	1756	1765
380	1775	1784	1793	1803	1812	1822	1831	1841	1850	1860
390	1869	1879	1889	1898	1908	1918	1927	1937	1947	1957
400	1966	1976	1986	1990	2006	2016	2026	2036	2046	2056

Таблица коэффициентов K для вычисления поправки Δs_H за приведение
длины линий к уровню моря

Поправки вычисляются в миллиметрах по формуле

$$\Delta s_H = Ks,$$

$$K = \frac{H}{R} \cdot 10^3,$$

s — длина измеренной линии, км.

Коэффициент K выбирается из таблицы по средней высоте (H) линии над уровнем моря.

Поправки вычитаются из измеренной длины линии, когда H имеет положительные значения, и прибавляются, когда H имеет отрицательные значения.

Пример. Средняя высота линии над уровнем моря $H = +2376$ м, длина линии 1,253 км.

$$\Delta s_H = 373 \cdot 1,253 = 467 \text{ мм.}$$

$H, \text{ м}$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0	2	3	5	6	8	0	11	13	14
100	16	17	19	20	22	24	25	27	28	30
200	31	33	34	36	38	39	41	42	44	45
300	47	49	50	52	53	55	56	58	60	61
400	63	64	66	67	69	71	72	74	75	77
500	78	80	82	83	85	86	88	89	91	93
600	94	96	97	99	100	102	103	105	107	108
700	110	111	113	114	116	118	119	121	122	124
800	125	127	129	130	132	133	135	136	138	140
900	141	143	144	146	147	149	151	152	154	155
1000	157	158	160	161	163	165	166	168	169	171
1100	172	174	176	177	179	180	182	183	185	187
1200	188	190	191	193	194	196	198	199	201	202
1300	204	205	207	209	210	212	213	215	216	218
1400	220	221	223	224	226	227	229	230	232	234
1500	235	237	238	240	241	243	245	246	248	249
1600	251	252	254	255	257	259	260	262	263	265
1700	267	268	270	271	273	274	276	278	279	281
1800	282	284	285	287	288	290	292	293	295	296
1900	298	299	301	303	304	306	307	309	310	312
2000	314	315	317	318	320	321	323	325	326	328
2100	329	331	332	334	336	337	339	340	342	343
2200	345	346	348	350	351	353	354	356	357	359
2300	361	362	364	365	367	368	370	372	373	375
2400	376	378	379	381	383	384	386	387	389	390
2500	392	394	395	397	398	400	401	403	405	406
2600	406	409	411	412	414	415	417	419	420	422
2700	423	425	426	428	430	431	433	434	436	437
2800	439	441	442	444	445	447	448	450	452	453
2900	455	456	458	459	461	463	464	466	467	469
3000	470	472	473	475	477	478	480	481	483	484
3100	486	488	489	491	492	494	495	497	499	500
3200	502	503	505	506	508	510	511	513	514	516
3300	517	519	521	522	524	525	527	528	530	531
3400	533	535	536	538	539	541	542	544	546	547
3500	549	550	552	553	555	557	558	560	561	563
3600	561	566	568	569	571	572	574	575	577	579
3700	580	582	583	585	586	588	590	591	593	594
3800	598	597	599	600	602	604	605	607	608	610
3900	611	613	615	616	618	619	621	622	624	626
4000	627	629	630	632	633	635	637	638	640	641

Таблицы величин (α) и (b)

$$(a) = -\rho'' \sin \alpha \cdot 10^{-4}$$

$$(b) = \rho'' \cos \alpha \cdot 10^{-4}$$

(a)

(b)

α	00'	10'	20'	30'	40'	50'	00'	10'	20'	30'	40'	50'
* 180°	0°	-0,00	-0,06	-0,12	-0,18	-0,24	-0,30	+20,63	+20,63	+20,63	+20,63	+20,62
1	-0,36	-0,42	-0,48	-0,54	-0,60	-0,66	-0,66	+20,62	+20,62	+20,62	+20,62	+20,62
2	-0,72	-0,78	-0,84	-0,90	-0,96	-1,02	-1,02	+20,61	+20,61	+20,61	+20,61	+20,60
3	-1,08	-1,14	-1,20	-1,26	-1,32	-1,38	-1,38	+20,60	+20,59	+20,59	+20,58	+20,58
4	-1,44	-1,50	-1,56	-1,62	-1,68	-1,74	-1,74	+20,58	+20,57	+20,57	+20,56	+20,55
5	-1,80	-1,86	-1,92	-1,98	-2,04	-2,10	-2,10	+20,55	+20,54	+20,54	+20,53	+20,52
6	-2,16	-2,22	-2,28	-2,33	-2,39	-2,45	-2,45	+20,51	+20,50	+20,50	+20,49	+20,48
7	-2,51	-2,57	-2,63	-2,69	-2,75	-2,81	-2,81	+20,47	+20,46	+20,46	+20,45	+20,43
8	-2,87	-2,93	-2,99	-3,05	-3,11	-3,17	-3,17	+20,43	+20,42	+20,42	+20,40	+20,38
9	-3,23	-3,29	-3,35	-3,40	-3,46	-3,52	-3,52	+20,37	+20,36	+20,35	+20,34	+20,32
* 190°	10	-3,58	-3,64	-3,70	-3,75	-3,82	-3,88	+20,31	+20,30	+20,29	+20,28	+20,26
11	-3,94	-3,99	-4,05	-4,11	-4,17	-4,23	-4,23	+20,25	+20,24	+20,22	+20,21	+20,19
12	-4,20	-4,35	-4,41	-4,46	-4,52	-4,58	-4,58	+20,18	+20,16	+20,15	+20,14	+20,11
13	-4,64	-4,70	-4,76	-4,82	-4,87	-4,93	-4,93	+20,10	+20,08	+20,07	+20,06	+20,03
14	-4,99	-5,05	-5,11	-5,16	-5,22	-5,28	-5,28	+20,01	+20,00	+19,98	+19,97	+19,94
15	-5,34	-5,40	-5,45	-5,51	-5,57	-5,63	-5,63	+19,92	+19,91	+19,89	+19,88	+19,84
16	-5,69	-5,74	-5,80	-5,86	-5,92	-5,97	-5,97	+19,83	+19,81	+19,79	+19,78	+19,74
17	-6,03	-6,09	-6,15	-6,20	-6,26	-6,32	-6,32	+19,73	+19,71	+19,69	+19,67	+19,64
18	-6,37	-6,43	-6,49	-6,54	-6,60	-6,66	-6,66	+19,62	+19,60	+19,58	+19,56	+19,52
19	-6,72	-6,77	-6,83	-6,89	-6,94	-7,00	-7,00	+19,50	+19,48	+19,46	+19,44	+19,40
* 200°	20	-7,05	-7,11	-7,17	-7,22	-7,28	-7,34	+19,38	+19,36	+19,34	+19,32	+19,28
21	-7,39	-7,45	-7,50	-7,56	-7,62	-7,67	-7,67	+19,26	+19,23	+19,21	+19,19	+19,15
22	-7,73	-7,78	-7,84	-7,89	-7,95	-8,00	-8,00	+19,12	+19,10	+19,08	+19,06	+19,01
23	-8,06	-8,11	-8,17	-8,22	-8,28	-8,33	-8,33	+18,99	+18,96	+18,94	+18,92	+18,87

α	* 210°										* 220°									
	00°	10°	20°	30°	40°	50°	00°	10°	20°	30°	40°	50°	00°	10°	20°	30°	40°	50°	00°	10°
24	-8,39	-8,44	-8,50	-8,55	-8,61	-8,66	+18,84	+18,82	+18,79	+18,77	+18,74	+18,72								
25	-8,72	-8,77	-8,83	-8,88	-8,93	-8,99	+18,69	+18,67	+18,64	+18,62	+18,59	+18,57								
26	-9,04	-9,10	-9,15	-9,20	-9,26	-9,31	+18,54	+18,51	+18,49	+18,46	+18,43	+18,41								
27	-9,36	-9,42	-9,47	-9,52	-9,58	-9,63	+18,38	+18,35	+18,32	+18,30	+18,27	+18,24								
28	-9,68	-9,74	-9,79	-9,84	-9,89	-9,95	+18,21	+18,18	+18,16	+18,13	+18,10	+18,07								
29	-10,00	-10,05	-10,10	-10,16	-10,21	-10,26	+18,04	+18,01	+17,98	+17,95	+17,92	+17,89								
30	-10,31	-10,37	-10,42	-10,47	-10,52	-10,57	+17,86	+17,83	+17,80	+17,77	+17,74	+17,71								
31	-10,62	-10,67	-10,73	-10,78	-10,83	-10,88	+17,68	+17,65	+17,62	+17,59	+17,56	+17,52								
32	-10,93	-10,98	-11,03	-11,08	-11,13	-11,18	+17,49	+17,46	+17,43	+17,40	+17,37	+17,33								
33	-11,23	-11,28	-11,33	-11,38	-11,43	-11,48	+17,30	+17,27	+17,23	+17,20	+17,17	+17,13								
34	-11,53	-11,58	-11,63	-11,68	-11,73	-11,78	+17,10	+17,07	+17,03	+17,00	+16,96	+16,93								
35	-11,83	-11,88	-11,93	-11,98	-12,03	-12,08	+16,90	+16,86	+16,83	+16,79	+16,76	+16,72								
36	-12,12	-12,17	-12,22	-12,27	-12,32	-12,37	+16,69	+16,65	+16,62	+16,58	+16,54	+16,51								
37	-12,41	-12,46	-12,51	-12,56	-12,60	-12,65	+16,47	+16,44	+16,40	+16,36	+16,33	+16,29								
38	-12,70	-12,75	-12,79	-12,84	-12,89	-12,93	+16,25	+16,22	+16,18	+16,14	+16,10	+16,07								
39	-12,98	-13,03	-13,07	-13,12	-13,17	-13,21	+16,03	+15,99	+15,95	+15,92	+15,88	+15,84								
40	-13,26	-13,30	-13,35	-13,40	-13,44	-13,49	+15,80	+15,76	+15,72	+15,68	+15,65	+15,61								
41	-13,53	-13,58	-13,62	-13,67	-13,71	-13,76	+15,57	+15,53	+15,49	+15,45	+15,41	+15,37								
42	-13,80	-13,85	-13,89	-13,94	-13,98	-14,02	+15,33	+15,29	+15,25	+15,21	+15,17	+15,13								
43	-14,07	-14,11	-14,15	-14,20	-14,24	-14,28	+15,09	+15,04	+15,00	+14,96	+14,92	+14,88								
44	-14,33	-14,37	-14,41	-14,46	-14,50	-14,54	+14,84	+14,80	+14,75	+14,71	+14,67	+14,63								
45	-14,59	-14,63	-14,67	-14,71	-14,75	-14,80	+14,59	+14,54	+14,50	+14,46	+14,41	+14,37								
46	-14,84	-14,88	-14,92	-14,96	-15,00	-15,04	+14,33	+14,28	+14,24	+14,20	+14,15	+14,11								
47	-15,08	-15,13	-15,17	-15,21	-15,25	-15,29	+14,07	+14,02	+13,98	+13,94	+13,89	+13,85								
48	-15,33	-15,37	-15,41	-15,45	-15,49	-15,53	+13,80	+13,76	+13,71	+13,67	+13,62	+13,58								
49	-15,57	-15,61	-15,65	-15,68	-15,72	-15,76	+13,53	+13,49	+13,44	+13,40	+13,35	+13,30								

* Если число градусов аргумента α берется по первой графе (от 190 до 360°), то знаки при величинах (а) и (б) должны быть изменены на обратные.

(b)

(a)

	α	00'	10'	20'	30'	40'	50'	00'	10'	20'	30'	40'	50'
* 230°	50°	-15,80	-15,84	-15,88	-15,92	-15,95	-15,99	+13,26	+13,21	+13,17	+13,12	+13,07	+13,03
	51	-16,03	-16,07	-16,10	-16,14	-16,18	-16,22	+12,98	+12,93	+12,89	+12,84	+12,79	+12,75
	52	-16,25	-16,29	-16,33	-16,36	-16,40	-16,44	+12,70	+12,65	+12,60	+12,56	+12,51	+12,46
	53	-16,47	-16,51	-16,54	-16,58	-16,62	-16,65	+12,41	+12,37	+12,32	+12,27	+12,22	+12,17
	54	-16,69	-16,72	-16,76	-16,79	-16,83	-16,86	+12,12	+12,08	+12,03	+11,98	+11,93	+11,88
	55	-16,90	-16,93	-16,96	-17,00	-17,03	-17,07	+11,83	+11,78	+11,73	+11,68	+11,63	+11,58
	56	-17,10	-17,13	-17,17	-17,20	-17,23	-17,27	+11,53	+11,48	+11,43	+11,38	+11,33	+11,28
	57	-17,30	-17,33	-17,37	-17,40	-17,43	-17,46	+11,23	+11,18	+11,13	+11,08	+11,03	+10,98
	58	-17,49	-17,52	-17,56	-17,59	-17,62	-17,65	+10,93	+10,88	+10,83	+10,78	+10,73	+10,67
	59	-17,68	-17,71	-17,74	-17,77	-17,80	-17,83	+10,62	+10,57	+10,52	+10,47	+10,42	+10,37
	60	-17,86	-17,89	-17,92	-17,95	-17,98	-18,01	+10,31	+10,26	+10,21	+10,16	+10,10	+10,05
* 240°	61	-18,04	-18,07	-18,10	-18,13	-18,16	-18,18	+10,00	+9,95	+9,89	+9,84	+9,79	+9,74
	62	-18,21	-18,24	-18,27	-18,30	-18,32	-18,35	+9,68	+9,63	+9,58	+9,52	+9,47	+9,42
	63	-18,38	-18,41	-18,43	-18,46	-18,49	-18,51	+9,36	+9,31	+9,26	+9,20	+9,15	+9,10
	64	-18,54	-18,57	-18,59	-18,62	-18,64	-18,67	+9,04	+8,99	+8,93	+8,88	+8,83	+8,77
	65	-18,69	-18,72	-18,74	-18,77	-18,79	-18,82	+8,72	+8,66	+8,61	+8,55	+8,50	+8,44
	66	-18,84	-18,87	-18,89	-18,92	-18,94	-18,96	+8,39	+8,33	+8,28	+8,22	+8,17	+8,11
	67	-18,99	-19,01	-19,03	-19,06	-19,08	-19,10	+8,06	+8,00	+7,95	+7,89	+7,84	+7,78
	68	-19,12	-19,15	-19,17	-19,19	-19,21	-19,23	+7,73	+7,67	+7,62	+7,56	+7,50	+7,45
	69	-19,26	-19,28	-19,30	-19,32	-19,34	-19,36	+7,39	+7,34	+7,28	+7,22	+7,17	+7,11
	70	-19,38	-19,40	-19,42	-19,44	-19,46	-19,48	+7,05	+7,00	+6,94	+6,89	+6,83	+6,77
	71	-19,50	-19,52	-19,54	-19,56	-19,58	-19,60	+6,72	+6,66	+6,60	+6,54	+6,48	+6,43
* 250°	72	-19,62	-19,64	-19,65	-19,67	-19,69	-19,71	+6,37	+6,32	+6,26	+6,20	+6,15	+6,09
	73	-19,73	-19,74	-19,76	-19,78	-19,79	-19,81	+6,03	+5,97	+5,92	+5,86	+5,80	+5,74

	α	00'	10'	20'	30'	40'	50'	00'	10'	20'	30'	40'	50'		
* 260°	74	-19,83	-19,84	-19,86	-19,88	-19,89	-19,91	+5,09	+5,63	+5,57	+5,51	+5,45	+5,40		
	75	-19,92	-19,94	-19,95	-19,97	-19,98	-20,00	+5,34	+5,28	+5,22	+5,16	+5,11	+5,05		
	76	-20,01	-20,03	-20,04	-20,06	-20,07	-20,08	+4,99	+4,93	+4,87	+4,82	+4,76	+4,70		
	77	-20,10	-20,11	-20,12	-20,14	-20,15	-20,16	+4,64	+4,58	+4,52	+4,46	+4,41	+4,35		
	78	-20,18	-20,19	-20,20	-20,21	-20,22	-20,24	+4,29	+4,23	+4,17	+4,11	+4,05	+3,99		
	79	-20,25	-20,26	-20,27	-20,28	-20,29	-20,30	+3,94	+3,88	+3,82	+3,75	+3,70	+3,64		
	80	-20,31	-20,32	-20,33	-20,34	-20,35	-20,36	+3,58	+3,52	+3,46	+3,40	+3,35	+3,29		
	81	-20,37	-20,38	-20,39	-20,40	-20,41	-20,42	+3,23	+3,17	+3,11	+3,05	+2,99	+2,93		
	82	-20,43	-20,43	-20,44	-20,45	-20,46	-20,47	+3,87	+2,81	+2,75	+2,69	+2,63	+2,57		
	83	-20,47	-20,48	-20,49	-20,49	-20,50	-20,51	+2,51	+2,45	+2,39	+2,33	+2,28	+2,22		
* 270°	84	-20,51	-20,52	-20,53	-20,53	-20,54	-20,54	+2,16	+2,10	+2,04	+1,98	+1,92	+1,86		
	85	-20,55	-20,55	-20,56	-20,56	-20,57	-20,57	+1,80	+1,74	+1,68	+1,62	+1,56	+1,50		
	86	-20,58	-20,58	-20,58	-20,59	-20,59	-20,59	+1,44	+1,38	+1,32	+1,26	+1,20	+1,14		
	87	-20,60	-20,60	-20,60	-20,61	-20,61	-20,61	+1,08	+1,02	+0,96	+0,90	+0,84	+0,78		
	88	-20,61	-20,62	-20,62	-20,62	-20,62	-20,62	+0,72	+0,66	+0,60	+0,54	+0,48	+0,42		
	89	-20,62	-20,62	-20,63	-20,63	-20,63	-20,63	+0,36	+0,30	+0,24	+0,18	+0,12	+0,06		
	90	-20,63	-20,63	-20,63	-20,63	-20,63	-20,63	-0,00	-0,06	-0,12	-0,18	-0,24	-0,30		
	91	-20,62	-20,62	-20,62	-20,62	-20,62	-20,62	-0,36	-0,42	-0,48	-0,54	-0,60	-0,66		
	92	-20,61	-20,61	-20,61	-20,61	-20,60	-20,60	-0,72	-0,78	-0,84	-0,90	-0,96	-1,02		
	93	-20,60	-20,59	-20,59	-20,59	-20,58	-20,58	-1,08	-1,14	-1,20	-1,26	-1,32	-1,38		
	94	-20,58	-20,57	-20,57	-20,56	-20,56	-20,55	-1,44	-1,50	-1,56	-1,62	-1,68	-1,74		
	95	-20,55	-20,54	-20,54	-20,53	-20,53	-20,52	-1,80	-1,86	-1,92	-1,98	-2,04	-2,10		
	96	-20,51	-20,51	-20,50	-20,49	-20,49	-20,48	-2,16	-2,22	-2,28	-2,33	-2,39	-2,45		
	97	-20,47	-20,47	-20,46	-20,45	-20,44	-20,43	-2,51	-2,57	-2,63	-2,69	-2,75	-2,81		
	98	-20,43	-20,42	-20,41	-20,40	-20,39	-20,38	-2,87	-2,93	-2,99	-3,05	-3,11	-3,17		
	99	-20,37	-20,36	-20,35	-20,34	-20,33	-20,32	-3,23	-3,29	-3,35	-3,40	-3,46	-3,52		

(a)

(b)

	α	00'	10'	20'	30'	40'	50'	00'	10'	20'	30'	40'	50'
* 280°	100°	-20,31	-20,30	-20,29	-20,28	-20,27	-20,26	-3,58	-3,64	-3,70	-3,76	-3,82	-3,88
	101	-20,25	-20,24	-20,22	-20,21	-20,20	-20,19	-3,94	-3,99	-4,05	-4,11	-4,17	-4,23
	102	-20,18	-20,16	-20,15	-20,14	-20,12	-20,11	-4,29	-4,35	-4,41	-4,46	-4,52	-4,58
	103	-20,10	-20,08	-20,07	-20,06	-20,04	-20,03	-4,64	-4,70	-4,76	-4,82	-4,87	-4,93
	104	-20,01	-20,00	-19,98	-19,97	-19,95	-19,94	-4,99	-5,05	-5,11	-5,16	-5,22	-5,28
	105	-19,92	-19,91	-19,89	-19,88	-19,86	-19,84	-5,34	-5,40	-5,45	-5,51	-5,57	-5,63
	106	-19,83	-19,81	-19,79	-19,78	-19,76	-19,74	-5,69	-5,74	-5,80	-5,86	-5,92	-5,97
	107	-19,73	-19,71	-19,69	-19,67	-19,65	-19,64	-6,03	-6,09	-6,15	-6,20	-6,26	-6,32
	108	-19,62	-19,60	-19,58	-19,56	-19,54	-19,52	-6,37	-6,43	-6,49	-6,54	-6,60	-6,66
	109	-19,50	-19,48	-19,46	-19,44	-19,42	-19,40	-6,72	-6,77	-6,83	-6,89	-6,94	-7,00
* 290°	110	-19,38	-19,36	-19,34	-19,32	-19,30	-19,28	-7,06	-7,11	-7,17	-7,22	-7,28	-7,34
	111	-19,26	-19,23	-19,21	-19,19	-19,17	-19,15	-7,39	-7,45	-7,50	-7,56	-7,62	-7,67
	112	-19,12	-19,10	-19,08	-19,06	-19,03	-19,01	-7,73	-7,78	-7,84	-7,89	-7,95	-8,00
	113	-18,99	-18,96	-18,94	-18,92	-18,89	-18,87	-8,06	-8,11	-8,17	-8,22	-8,28	-8,33
	114	-18,84	-18,82	-18,79	-18,77	-18,74	-18,72	-8,39	-8,44	-8,50	-8,55	-8,61	-8,66
	115	-18,69	-18,67	-18,64	-18,62	-18,59	-18,57	-8,72	-8,77	-8,83	-8,88	-8,93	-8,99
	116	-18,54	-18,51	-18,49	-18,46	-18,43	-18,41	-9,04	-9,10	-9,15	-9,20	-9,26	-9,31
	117	-18,38	-18,35	-18,32	-18,30	-18,27	-18,24	-9,36	-9,42	-9,47	-9,52	-9,58	-9,63
	118	-18,21	-18,18	-18,16	-18,13	-18,10	-18,07	-9,68	-9,74	-9,79	-9,84	-9,89	-9,95
	119	-18,04	-18,01	-17,98	-17,95	-17,92	-17,89	-10,00	-10,05	-10,10	-10,16	-10,21	-10,25
* 300°	120	-17,86	-17,83	-17,80	-17,77	-17,74	-17,71	-10,31	-10,37	-10,42	-10,47	-10,52	-10,57
	121	-17,68	-17,65	-17,62	-17,59	-17,56	-17,52	-10,62	-10,67	-10,73	-10,78	-10,83	-10,88
	122	-17,49	-17,46	-17,43	-17,40	-17,37	-17,33	-10,93	-10,98	-11,03	-11,08	-11,13	-11,18
	123	-17,30	-17,27	-17,23	-17,20	-17,17	-17,13	-11,23	-11,28	-11,33	-11,38	-11,43	-11,48
	124	-17,10	-17,07	-17,03	-17,00	-16,96	-16,93	-11,53	-11,58	-11,63	-11,68	-11,73	-11,78
	125	-16,90	-16,86	-16,83	-16,79	-16,76	-16,72	-11,83	-11,88	-11,93	-11,98	-12,03	-12,08

	* 310°										
	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	
	-16,69	-16,47	-16,25	-16,03	-15,80	-15,57	-15,33	-15,09	-14,84	-14,59	
	-16,65	-16,44	-16,22	-15,99	-15,76	-15,53	-15,29	-15,04	-14,80	-14,54	
	-16,62	-16,40	-16,18	-15,95	-15,72	-15,49	-15,25	-15,00	-14,75	-14,50	
	-16,58	-16,36	-16,14	-15,92	-15,68	-15,45	-15,21	-14,96	-14,71	-14,46	
	-16,54	-16,33	-16,10	-15,88	-15,65	-15,41	-15,17	-14,92	-14,67	-14,41	
	-16,51	-16,29	-16,07	-15,84	-15,61	-15,37	-15,13	-14,88	-14,63	-14,37	
	-16,47	-16,25	-16,03	-15,80	-15,57	-15,33	-15,09	-14,84	-14,59	-14,33	
	-16,44	-16,22	-16,00	-15,77	-15,54	-15,30	-15,06	-14,81	-14,56	-14,30	
	-16,41	-16,19	-15,97	-15,74	-15,51	-15,27	-15,03	-14,78	-14,53	-14,27	
	-16,38	-16,16	-15,94	-15,71	-15,48	-15,24	-15,00	-14,75	-14,50	-14,24	
	-16,35	-16,13	-15,91	-15,68	-15,45	-15,21	-14,97	-14,72	-14,47	-14,21	
	-16,32	-16,10	-15,88	-15,65	-15,42	-15,18	-14,94	-14,69	-14,44	-14,18	
	-16,29	-16,07	-15,85	-15,62	-15,39	-15,15	-14,91	-14,66	-14,41	-14,15	
	-16,26	-16,04	-15,82	-15,59	-15,36	-15,12	-14,88	-14,63	-14,38	-14,12	
	-16,23	-16,01	-15,79	-15,56	-15,33	-15,09	-14,85	-14,60	-14,35	-14,09	
	-16,20	-15,98	-15,76	-15,53	-15,30	-15,06	-14,82	-14,57	-14,32	-14,06	
	-16,17	-15,95	-15,73	-15,50	-15,27	-15,03	-14,79	-14,54	-14,29	-14,03	
	-16,14	-15,92	-15,70	-15,47	-15,24	-15,00	-14,76	-14,51	-14,26	-14,00	
	-16,11	-15,89	-15,67	-15,44	-15,21	-14,97	-14,73	-14,48	-14,23	-13,97	
	-16,08	-15,86	-15,64	-15,41	-15,18	-14,94	-14,70	-14,45	-14,20	-13,94	
	-16,05	-15,83	-15,61	-15,38	-15,15	-14,91	-14,67	-14,42	-14,17	-13,91	
	-16,02	-15,80	-15,58	-15,35	-15,12	-14,88	-14,64	-14,39	-14,14	-13,88	
	-15,99	-15,77	-15,55	-15,32	-15,09	-14,85	-14,61	-14,36	-14,11	-13,85	
	-15,96	-15,74	-15,52	-15,29	-15,06	-14,82	-14,58	-14,33	-14,08	-13,82	
	-15,93	-15,71	-15,49	-15,26	-15,03	-14,79	-14,55	-14,30	-14,05	-13,79	
	-15,90	-15,68	-15,46	-15,23	-15,00	-14,76	-14,52	-14,27	-14,02	-13,76	
	-15,87	-15,65	-15,43	-15,20	-14,97	-14,73	-14,49	-14,24	-13,99	-13,73	
	-15,84	-15,62	-15,40	-15,17	-14,94	-14,70	-14,46	-14,21	-13,96	-13,70	
	-15,81	-15,59	-15,37	-15,14	-14,91	-14,67	-14,43	-14,18	-13,93	-13,67	
	-15,78	-15,56	-15,34	-15,11	-14,88	-14,64	-14,40	-14,15	-13,90	-13,64	
	-15,75	-15,53	-15,31	-15,08	-14,85	-14,61	-14,37	-14,12	-13,87	-13,61	
	-15,72	-15,50	-15,28	-15,05	-14,82	-14,58	-14,34	-14,09	-13,84	-13,58	
	-15,69	-15,47	-15,25	-15,02	-14,79	-14,55	-14,31	-14,06	-13,81	-13,55	
	-15,66	-15,44	-15,22	-14,99	-14,76	-14,52	-14,28	-14,03	-13,78	-13,52	
	-15,63	-15,41	-15,19	-14,96	-14,73	-14,49	-14,25	-14,00	-13,75	-13,49	
	-15,60	-15,38	-15,16	-14,93	-14,70	-14,46	-14,22	-13,97	-13,72	-13,46	
	-15,57	-15,35	-15,13	-14,90	-14,67	-14,43	-14,19	-13,94	-13,69	-13,43	
	-15,54	-15,32	-15,10	-14,87	-14,64	-14,40	-14,16	-13,91	-13,66	-13,40	
	-15,51	-15,29	-15,07	-14,84	-14,61	-14,37	-14,13	-13,88	-13,63	-13,37	
	-15,48	-15,26	-15,04	-14,81	-14,58	-14,34	-14,10	-13,85	-13,60	-13,34	
	-15,45	-15,23	-15,01	-14,78	-14,55	-14,31	-14,07	-13,82	-13,57	-13,31	
	-15,42	-15,20	-14,98	-14,75	-14,52	-14,28	-14,04	-13,79	-13,54	-13,28	
	-15,39	-15,17	-14,95	-14,72	-14,49	-14,25	-14,01	-13,76	-13,51	-13,25	
	-15,36	-15,14	-14,92	-14,69	-14,46	-14,22	-13,98	-13,73	-13,48	-13,22	
	-15,33	-15,11	-14,89	-14,66	-14,43	-14,19	-13,95	-13,70	-13,45	-13,19	
	-15,30	-15,08	-14,86	-14,63	-14,40	-14,16	-13,92	-13,67	-13,42	-13,16	
	-15,27	-15,05	-14,83	-14,60	-14,37	-14,13	-13,89	-13,64	-13,39	-13,13	
	-15,24	-15,02	-14,80	-14,57	-14,34	-14,10	-13,86	-13,61	-13,36	-13,10	
	-15,21	-14,99	-14,77	-14,54	-14,31	-14,07	-13,83	-13,58	-13,33	-13,07	
	-15,18	-14,96	-14,74	-14,51	-14,28	-14,04	-13,80	-13,55	-13,30	-13,04	
	-15,15	-14,93	-14,71	-14,48	-14,25	-14,01	-13,77	-13,52	-13,27	-13,01	
	-15,12	-14,90	-14,68	-14,45	-14,22	-13,98	-13,74	-13,49	-13,24	-12,98	
	-15,09	-14,87	-14,65	-14,42	-14,19	-13,95	-13,71	-13,46	-13,21	-12,95	
	-15,06	-14,84	-14,62	-14,39	-14,16	-13,92	-13,68	-13,43	-13,18	-12,92	
	-15,03	-14,81	-14,59	-14,36	-14,13	-13,89	-13,65	-13,40	-13,15	-12,89	
	-15,00	-14,78	-14,56	-14,33	-14,10	-13,86	-13,62	-13,37	-13,12	-12,86	
	-14,97	-14,75	-14,53	-14,30	-14,07	-13,83	-13,59	-13,34	-13,09	-12,83	
	-14,94	-14,72	-14,50	-14,27	-14,04	-13,80	-13,56	-13,31	-13,06	-12,80	
	-14,91	-14,69	-14,47	-14,24	-14,01	-13,77	-13,53	-13,28	-13,03	-12,77	
	-14,88	-14,66	-14,44	-14,21	-13,98	-13,74	-13,50	-13,25	-13,00	-12,74	
	-14,85	-14,63	-14,41	-14,18	-13,95	-13,71	-13,47	-13,22	-12,97	-12,71	
	-14,82	-14,60	-14,38	-14,15	-13,92	-13,68	-13,44	-13,19	-12,94	-12,68	
	-14,79	-14,57	-14,35	-14,12	-13,89	-13,65	-13,41	-13,16	-12,91	-12,65	
	-14,76	-14,54	-14,32	-14,09	-13,86	-13,62	-13,38	-13,13	-12,88	-12,62	
	-14,73	-14,51	-14,29	-14,06	-13,83	-13,59	-13,35	-13,10	-12,85	-12,59	
	-14,70	-14,48	-14,26	-14,03	-13,80	-13,56	-13,32	-13,07	-12,82	-12,56	
	-14,67	-14,45	-14,23	-14,00	-13,77	-13,53	-13,29	-13,04	-12,79	-12,53	
	-14,64	-14,42	-14,20	-13,97	-13,74	-13,50	-13,26	-13,01	-12,76	-12,50	
	-14,61	-14,39	-14,17	-13,94	-13,71	-13,47	-13,23	-12,98	-12,73	-12,47	
	-14,58	-14,36	-14,14	-13,91	-13,68	-13,44	-13,20	-12,95	-12,70	-12,44	
	-14,55	-14,33	-14,11	-13,88	-13,65	-13,41	-13,17	-12,92	-12,67	-12,41	
	-14,52	-14,30	-14,08	-13,85	-13,62	-13,38	-13,14	-12,89	-12,64	-12,38	
	-14,49	-14,27	-14,05	-13,82	-13,59	-13,35	-13,11	-12,86	-12,61	-12,35	
	-14,46	-14,24	-14,02	-13,79	-13,56	-13,32	-13,08	-12,83	-12,58	-12,32	
	-14,43	-14,21	-13,99	-13,76	-13,53	-13,29	-13,05	-12,80	-12,55	-12,29	
	-14,40	-14,18	-13,96	-13,73	-13,50	-13,26	-13,02	-12,77	-12,52	-12,26	
	-14,37	-14,15	-13,93	-13,70	-13,47	-13,23	-12,99	-12,74	-12,49	-12,23	
	-14,34	-14,12	-13,90	-13,67	-13,44	-13,20	-12,96	-12,71	-12,46	-12,20	
	-14,31	-14,09	-13,87	-13,64	-13,41	-13,17	-12,93	-12,68	-12,43	-12,17	
	-14,28	-14,06	-13,84	-13,61	-13,38	-13,14	-12,90	-12,65	-12,40	-12,14	
	-14,25	-14,03	-13,81	-13,58	-13,35	-13,11	-12,87	-12,62	-12,37	-12,11	
	-14,22	-14,00	-13,78	-13,55	-13,32	-13,08	-12,84	-12,59	-12,34	-12,08	
	-14,19	-13,97	-13,75	-13,52	-13,29	-13,05	-12,81	-12,56	-12,31	-12,05	
	-14,16	-13,94	-13,72	-13,49	-13,26	-13,02	-12,78	-12,53	-12,28	-12,02	
	-14,13	-13,91	-13,69	-13,46	-13,23	-12,99	-12,75	-12,50	-12,25	-11,99	
	-14,10	-13,88	-13,66	-13,43	-13,20	-12,96	-12,72	-12,47	-12,22	-11,96	
	-14,07	-13,85	-13,63	-13,40	-13,17	-12,93	-12,69	-12,44	-12,19	-11,93	
	-14,04	-13,82	-13,60	-13,37	-13,14	-12,90	-12,66	-12,41	-12,16	-11,90	
	-14,01	-13,79	-13,57	-13,34	-13,11	-12,87	-12,63	-12,38	-12,13	-11,87	
	-13,98	-13,76	-13,54	-13,31	-13,08	-12,84	-12,60	-12,35	-12,10	-11,84	
	-13,95	-13,73	-13,51	-13,28	-13,05	-12,81	-12,57	-12,32	-12,07	-11,81	
	-13,92	-13,70	-13,48	-13,25	-13,02	-12,78	-12,54	-12,29	-12,04	-11,78	
	-13,89	-13,67	-13,45	-13,22	-12,99	-12,75	-12,51	-12,26	-12,01	-11,75	
	-13,86	-13,64	-13,42	-13,19	-12,96	-12,72	-12,48	-12,23	-11,98	-11,72	
	-13,83	-13,61	-13,39	-13,16	-12,93	-12,69	-12,45	-12,20	-11,95	-11,69	
	-13,80	-13,58	-13,36	-13,13	-12,90	-12,66	-12,42	-12,17	-11,92	-11,66	
	-13,77	-13,55	-13,33	-13,10	-12,87	-12,63	-12,39	-12,14	-11,89	-11,63	
	-13,74	-13,52	-13,30	-13,07	-12,84	-12,60	-12,36	-12,11	-11,86	-11,60	
	-13,71	-13,49	-13,27	-13,04	-12,81	-12,57	-12,33	-12,08	-11,83	-11,57	
	-13,68	-13,46	-13,24	-13,01	-12,78	-12,54	-12,30	-12,05	-11,80	-11,54	
	-13,65	-13,43	-13,21	-12,98	-12,75	-12,51	-12,27	-12,02	-11,77	-11,51	
	-13,62	-13,40	-13,18	-12,95	-12,72	-12,48	-12,24	-11,99	-11,74	-11,48	
	-13,59	-13,37	-13,15	-12,92	-12,69	-12,45	-12,21	-11,96	-11,71	-11,45	
	-13,56	-13,34	-13,12	-12,89	-12,66	-12,42	-12,18	-11,93	-11,68	-11,42	
	-13,53	-13,31	-13,09	-12,86	-12,63	-12,39	-12,15	-11,90	-11,65	-11,39	
	-13,50	-13,28	-13,06	-12,83	-12,60	-12,36	-12,12	-11,87	-11,62	-11,36	
	-13,47	-13,25	-13,03	-12,							

(a)

(b)

	α	00'	10'	20'	30'	40'	50'	00'	10'	20'	30'	40'	50'
* 340°	154°	-9.04	-8.99	-8.93	-8.88	-8.83	-8.77	-18.54	-18.57	-18.59	-18.62	-18.64	-18.67
	155	-8.72	-8.66	-8.61	-8.55	-8.50	-8.44	-18.69	-18.72	-18.74	-18.77	-18.79	-18.82
	156	-8.36	-8.33	-8.28	-8.22	-8.17	-8.11	-18.84	-18.87	-18.89	-18.92	-18.94	-18.96
	157	-8.06	-8.00	-7.95	-7.89	-7.84	-7.78	-18.99	-19.01	-19.03	-19.06	-19.08	-19.10
	158	-7.73	-7.67	-7.62	-7.56	-7.50	-7.45	-19.12	-19.15	-19.17	-19.19	-19.21	-19.23
	159	-7.39	-7.34	-7.28	-7.22	-7.17	-7.11	-19.26	-19.28	-19.30	-19.32	-19.34	-19.36
	160	-7.05	-7.00	-6.94	-6.89	-6.83	-6.77	-19.38	-19.40	-19.42	-19.44	-19.46	-19.48
	161	-6.72	-6.66	-6.60	-6.54	-6.49	-6.43	-19.50	-19.52	-19.54	-19.56	-19.58	-19.60
	162	-6.37	-6.32	-6.26	-6.20	-6.15	-6.09	-19.62	-19.64	-19.65	-19.67	-19.69	-19.71
	163	-6.03	-5.97	-5.92	-5.86	-5.80	-5.74	-19.73	-19.74	-19.76	-19.78	-19.79	-19.81
* 350°	164	-5.69	-5.63	-5.57	-5.51	-5.45	-5.40	-19.83	-19.84	-19.86	-19.88	-19.89	-19.91
	165	-5.34	-5.28	-5.22	-5.16	-5.11	-5.05	-19.92	-19.94	-19.95	-19.97	-19.98	-20.00
	166	-4.99	-4.93	-4.87	-4.82	-4.76	-4.70	-20.01	-20.03	-20.04	-20.06	-20.07	-20.08
	167	-4.64	-4.58	-4.52	-4.46	-4.41	-4.35	-20.10	-20.11	-20.12	-20.14	-20.15	-20.16
	168	-4.29	-4.23	-4.17	-4.11	-4.05	-3.99	-20.18	-20.19	-20.20	-20.21	-20.22	-20.24
	169	-3.94	-3.88	-3.82	-3.76	-3.70	-3.64	-20.25	-20.26	-20.27	-20.28	-20.29	-20.30
	170	-3.58	-3.52	-3.46	-3.40	-3.35	-3.29	-20.31	-20.32	-20.33	-20.34	-20.35	-20.36
	171	-3.23	-3.17	-3.11	-3.05	-2.99	-2.93	-20.37	-20.38	-20.39	-20.40	-20.41	-20.42
	172	-2.87	-2.81	-2.75	-2.69	-2.63	-2.57	-20.43	-20.43	-20.44	-20.45	-20.46	-20.47
	173	-2.51	-2.45	-2.39	-2.33	-2.28	-2.22	-20.47	-20.48	-20.49	-20.49	-20.50	-20.51
* 360°	174	-2.16	-2.10	-2.04	-1.98	-1.92	-1.86	-20.51	-20.52	-20.53	-20.53	-20.54	-20.54
	175	-1.80	-1.74	-1.68	-1.62	-1.56	-1.50	-20.55	-20.55	-20.56	-20.56	-20.57	-20.57
	176	-1.44	-1.38	-1.32	-1.26	-1.20	-1.14	-20.58	-20.58	-20.58	-20.59	-20.59	-20.59
	177	-1.08	-1.02	-0.96	-0.90	-0.84	-0.78	-20.60	-20.60	-20.60	-20.61	-20.61	-20.61
	178	-0.72	-0.66	-0.60	-0.54	-0.48	-0.42	-20.61	-20.62	-20.62	-20.62	-20.62	-20.62
	179	-0.36	-0.30	-0.24	-0.18	-0.12	-0.06	-20.62	-20.62	-20.63	-20.63	-20.63	-20.63
	180	0.00	+0.06	+0.12	+0.18	+0.24	+0.30	-20.63	-20.63	-20.63	-20.63	-20.63	-20.63
	α	00'	10'	20'	30'	40'	50'	00'	10'	20'	30'	40'	50'

- Абрис 49, 213
 Альтитуда приближенная 36
 Асимметрия визирной цели 109
 Атмосферное давление 6
 единицы 6
 вычисление 26
 Аэрофотосъемка 337
- Базис фотографирования 337
 Базисные жезлы 161
 исследования 165
 поверки 163
 устройство 162
 Базисные приборы 135
 измерение линий 140, 144, 214
 исследования 139
 поверки 139
 устройство 135
- Барометр 5
 Барический градиент 23
 Барическая ступень высоты 36
 Барограф 20
 Барометр-анероид 9
 вычисление давления 27
 добавочная поправка 29
 поправка за температуру 28
 — шкаловая 27, 29
 Барометр ртутный 7, 8
 вычисление давления 26
 поправка за температуру 26
 — за изменение силы тяжести 26
 — инструментальная 27
 Барометрические формулы 36
 Барометрическая станция 23
 Блочные станции 138, 139
- Ведомость превышений 58
 Вертикальные углы 340
 Вес измерения в нивелировании 68
 в полигонометрии 269, 303
 Вешние линии 141
 Вилка центрировочная меззульная 347
- Дешифрирование 331, 354
 Диплометр пружинный 139
- нивелирования штативов с цели-
 ками 147
 — парallaxических углов 166, 172
 — углов 112, 115
 — линий оптическими дальномерами
 187, 189, 197
 — — проволоками 144
 — — светодальномерами 124, 132
- Задача Гаусса 261
 Засечка 235
 — прямая многократная 237, 339
 — — однократная 235
 — обратная многократная 248, 256,
 338
 — — однократная 246, 256
- Ипсар 135
 Исследование зрительной трубы 42
- Калька высот 352
 Кипрегели 347
 Коллимационная ошибка 105
 Компаратор полевой 140, 165, 335
 Компарирование проволок 140
 Контроль постраничный 56
 Координаты углов рамки трапеции
 333
 Коэффициент нитяного дальномера
 43
 — оптического дальномера 182
- Лента шварная 137
- Марка визирная 107, 163
 поверки 108
 Меззула 345
 Микробарометр 11, 14, 18
 — оптический 15
 — пружинный 11
 Микробаронивелир пружинный 11
 вычисление давления 30, 31, 32
- Невязки нивелирного хода 51
 — полигонометрического хода 219
 — продольная 220

- поперечная 220
- Нивелирование III класса 41
 - заказка знаков 49
 - наблюдения на станции 54
 - обработка результатов 56
 - продолжение хода 50
 - рекогносцировка 48
- Нивелирование барометрическое 5
 - наблюдения рейсовые 25
 - станционные 24
 - обработка наблюдений 33, 37
 - составление проекта 22
- Нивелирование штативов с целиками 143
- Нивелиры 41
 - исследования 42
 - поверки 45, 47
- Номенклатура 329, 330
- Опознаки 334
 - проектирование 337
 - привязка 337, 343
- Определение точности совмещения штрихов 96
- Оптические дальномеры 173, 186, 215, 341
 - измерение линий 184, 195, 215
 - исследования 181, 194
 - поверки 180, 193
 - обработка результатов измерений 188, 198
 - устройство 174, 188
- Оптический микрометр 92
- Оптический центрир 107, 139, 163
 - поверки 109
- Ориентир-буссоль 349
- Остатки 141
 - вычисление 149
 - измерение 142
- Отражатели 119, 129, 215
- Оценка качества нивелирования 62, 64, 77, 81
- Оценка точности барометрического нивелирования 40
 - нивелирования 64, 77, 81, 87
 - линейных измерений 226
 - полигонометрических сетей 313, 317, 325, 330
 - полигонометрического хода 276, 284, 286, 293, 297, 299
 - угловых измерений 222
- Параллактические звенья 153, 215
 - вычисление линий 157
 - измерения 157
 - ромбической формы 155
 - треугольной формы 154

- Параллактические звенья для короткобазисной полигонометрии 215
 - — — — простые 168
 - — — — сложные 168
 - вычисление линий 171
 - измерения 170
- Полигонометрия 88, 341
 - закрепление знаками 214
 - измерение линий 214
 - углов 214
 - привязка 234
 - продолжение ходов 198
 - расчеты при проектировании 201, 202, 209, 341
 - рекогносцировка 213
 - составление проекта 200, 334
- Полигонометрия параллактическая короткобазисная 341
- Поправка при вычислении линии измеренной проволокой 151
- Постоянное слагаемое оптических дальномеров 181
- Приборы для измерения атмосферного давления 5
 - — — влажности 20
 - — — температуры 20
- Привязка нивелирного хода 50
 - опознаков 337, 343
 - полигонометрического хода 234
- Привязка полигонометрического хода к отдаленным пунктам 235
- Проволока мерная 135
- Психрометр аспирационный 20
- Рабочие координаты 220
- Расстановка штативов 141
- Рейс оптического микрометра 97
- Рейки дальномерные 177, 191
 - поверки 180
- Рейки мензульные 348
 - нивелирные 44, 139
 - исследования 44
 - поверки 48
- Светодальномеры 117, 127, 214
 - измерение расстояний 121, 131
 - обработка результатов измерений 122, 131
 - определение постоянной поправки 133
 - поверки 118, 129
 - установка для работы 119, 129
 - устройство 118, 128
- Способы барометрического нивелирования 22
- Способы измерения линий мерными проволоками 140

— отсчетов 140
— фиксации 146
Способы измерения углов:
 круговыми приемами 111
 приемов 114
Сравнение приборов 24
Съемка комбинированная 330, 345
 обоснование 348
 оформление матерпала 355
 производство съемки 351
 рисовка рельефа 351
Съемка рельефа 331
Съемка стереотопографическая 329
— топографическая 329
 обоснование 329
 методы 330
Схема размещения опознаков 338
Схема нивелирного хода 60
— полигонометрического хода 217

Теодолиты 88
 исследования 96
 испытания 95
 поверки 105
 устройство 88
Теодолитные ходы 341
Термометр — прач 20, 143
Термометр сопротивления 21
Трехштативная система 114

Уравнивание нивелирных сетей;
 способом эквивалентной замены 70
 — последовательных приближений 77
 — полигонов В. В. Попова 82
Уравнивание полигонометрии 268, 302
 коррелятным способом 268, 304
 двухгрупповым способом 285
 трехгрупповым способом 293
 способом эквивалентной замены 317
 — последовательных приближений 326
Уравнивание полигонометрических ходов 268, 285, 293
— — полигонометрических сетей 304
Фотоплан 331

Целик 137
Цена деления уровня 42
Центр тяжести хода 210

Штатив с целиком 138

Эксцентриситет алидады 101
— горизонтального круга 104
— максимальный угловой 104

Предисловие	3
Г л а в а I. Барометрическое нивелирование	5
Задание I.1. Устройство барометров и термометров	5
Задание I.2. Производство барометрического нивелирования	22
Задание I.3. Вычислительная обработка результатов барометрического нивелирования	26
Г л а в а II. Нивелирование III класса	41
Задание II.1. Инструменты для нивелирования III класса	41
Задание II.2. Производство нивелирования III класса	48
Задание II.3. Вычислительная обработка результатов нивелирования III класса	56
Задание II.4. Уравнительные вычисления в нивелировании III класса	60
Г л а в а III. Полигонометрия	87
Задание III.1. Измерение углов в полигонометрии	88
Задание III.2. Измерение линий в полигонометрии светодальномерами	116
Задание III.3. Измерение линий в полигонометрии проволоками	135
Задание III. 4. Измерение линий в полигонометрии параллактическим методом	153
Задание III. 5. Измерение линий в полигонометрии короткобазным параллактическим методом	161
Задание III. 6. Измерение линий в полигонометрии оптическими дальномерами	173
Задание III. 7. Проложение полигонометрических ходов	198
Задание III. 8. Вычислительная обработка результатов полевых измерений в полигонометрии. Оценка точности	216
Задание III. 9. Привязка ходов полигонометрии к пунктам государственной геодезической сети	234
Задание III.10. Уравнительные вычисления в полигонометрических ходах	267
Задание III.11. Уравнительные вычисления в полигонометрических сетях	302

Г л а в а	IV. Топографическая съемка масштаба 1 : 5000	329
Задание	IV.1. Курсовой проект на тему: «Проектирование съемочной сети для равнинно-пересеченных и всхолмленных рай- онов при стереотопографической съемке для получе- ния карты в масштабе 1 : 5000 с сечением рельефа че- рез 2 м	332
Задание	IV.2. Комбинированная съемка в масштабе 1 : 5000 с сече- нием рельефа через 2 м	345
Список литературы		356
Приложения		358
Предметный указатель		377