

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.



ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

В. Ф. МАНУХОВ
А. С. ТЮРЯХИН

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
С ЭЛЕМЕНТАМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

В. Ф. МАНУХОВ, А. С. ТЮРЯХИН

**ИНЖЕНЕРНАЯ
ГЕОДЕЗИЯ**

**ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ
С ЭЛЕМЕНТАМИ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

САРАНСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО МОРДОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
2006

Рецензенты:

главный метролог Федерального государственного унитарного предприятия
ЦНИИГАиК А. И. Спиридонов;
доктор технических наук профессор О. С. Разумов

Манухов, В.Ф.

М24 Инженерная геодезия. Основы геодезических измерений с элементами метрологического обеспечения : учеб. пособие / В. Ф. Манухов, А. С. Тюряхин. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2006. — 96 с.
ISBN 5—7103—1391—2

В учебном пособии представлены основы линейных и угловых измерений на местности; локальные поверочные схемы для средств измерений длины, теодолитов и нивелиров; методические указания для проведения технологической поверки теодолитов, нивелиров и нивелирных реек; словарь терминов инженерной геодезии. Читатель получит представление о простейших инструментах и познакомится со сложными приборами и системами для геодезических измерений.

Предназначено для студентов I — III курсов строительного и географического факультетов, изучающих инженерную геодезию, топографию, геодезическое инструментоведение.

УДК [528.48:531.7](075.8)
ББК Д12я73

Учебное издание

МАНУХОВ Владимир Федорович
ТЮРЯХИН Алексей Сергеевич

ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ

**ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
С ЭЛЕМЕНТАМИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Учебное пособие

*Печатается в авторской редакции
в соответствии с представленным оригинал-макетом*

Подписано в печать 10.04.06. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 5,81. Уч.-изд. л. 7,14.
Тираж 500 экз. Заказ № 732.

Издательство Мордовского университета
Типография Издательства Мордовского университета
430000, Саранск, ул. Советская, 24

ISBN 5—7103—1391—2 © Манухов В. Ф., Тюряхин А. С., 2006
© Оформление. Издательство
Мордовского университета, 2006

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемое вниманию читателей учебное пособие состоит из 5 разделов и 6 приложений. В разделе 1 представлены основные виды инженерно-геодезических работ и измерений, даются понятия о мерах, геодезических приборах, приводятся их классификации. Затем излагаются правовые основы геодезической метрологии и первоначальные сведения о поверочных схемах средств измерения и технологической поверке геодезических приборов.

Раздел 2 посвящен мерным приборам, принципам и методам проведения линейных измерений (прямых и косвенных). Описана локальная поверочная схема для средств измерения длин (в диапазоне до 30 км). Завершается раздел изложением методических указаний по поверке электромагнитных дальномеров, рулеток и землемерных лент.

В разделе 3 излагаются принцип действия оптического теодолита, методы измерения горизонтальных и вертикальных углов на местности, структура локальных поверочных схем, приведены методические указания по технологической поверке теодолитов.

Раздел 4 посвящен измерениям превышений. Основное внимание уделено нивелиру, геометрическому нивелированию и комментированию структуры локальной поверочной схемы для нивелиров. В конце раздела приведены указания по технологической поверке нивелиров и нивелирных реек.

В разделе 5 излагаются основы теории ошибок измерений. Закономерности и способы математической обработки результатов геодезических измерений иллюстрируются конкретными вычислениями (12 примеров).

В прил. 1 представлен словарь-справочник, включающий аббревиатуры латинских сокращений, раскрывающий содержание около 500 понятий и терминов инженерной геодезии и геодезической метрологии. Словарь-справочник не только охватывает содержание предшествующих разделов книги, но и дает информацию о новых достижениях в геодезической науке и практике. Эта информация отражена в аббревиатурах и специальных терминах, посвященных спутниковым геодезическим системам: Глобальной системе позиционирования (ГСП, или GPS) и российской системе ГЛОНАСС — глобальной навигационной спутниковой системе.

Можно отметить как минимум три фактора, вызвавших необходимость помещения прил. 1 в учебном пособии. Во-первых, малый объем пособия не позволил раскрыть в должной мере все термины, некоторые из них только названы в соответствующих контекстах. Во-вторых, в учебных планах по ряду строительных и географических специальностей вузов весомую часть информации по курсу инженерной геодезии предполагается выдавать студентам для самостоятельной проработки. И, наконец, с учетом специфики и ограниченности курса по количеству учебных часов, мы считаем, что прилагаемый словарь-справочник геодезических и метрологических терминов будет способствовать более качественному усвоению студентами основ инженерной геодезии.

В прил. 2, 3, 4 и 5 приведены примеры определения приборной поправки дальномера, определения угла i нивелиров, проверки качества работы компенсатора нивелира в полевых условиях и определения длины метрового интервала деревянных нивелирных реек. Прил. 6 содержит математические величины и геодезические формулы, наиболее часто применяемые в практике геодезических измерений.

Мы надеемся, что учебное пособие будет полезно не только студентам, но и специалистам-практикам, часто встречающимся с вопросами геодезических измерений и технологической поверки используемых геодезических приборов. Выражаем искреннюю и глубокую признательность рецензентам — главному метрологу ЦНИИГАиК А. И. Спиридонову и профессору О. С. Разумову за замечания и ценные рекомендации, которые были учтены при подготовке рукописи к изданию.

1. ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ

1.1. ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОДЕЗИЯ И ВИДЫ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ

Геодезия — это наука, изучающая форму и размеры Земли, разрабатывающая вопросы создания координатной плановой и высотной основы для детального изучения физической поверхности Земли. Это одна из древнейших наук о Земле. На протяжении веков задачи геодезии все время усложнялись. В настоящее время геодезию подразделяют на высшую геодезию, космическую геодезию, топографию, фотограмметрию и инженерную геодезию.

Высшая геодезия разрабатывает способы определения положения точек в различных системах координат и решает задачи по установлению фигуры и гравитационного поля Земли.

Космическая геодезия решает задачи наблюдения Земли (а также планет Солнечной системы) с помощью искусственных спутников Земли, космических летательных аппаратов и других подвижных визирных целей.

Топография занимается детальным изучением земной поверхности с целью отображением ее на планах и картах.

Фотограмметрия изучает способы определения координат точек объектов по их изображениям на фотоснимках (наземных и космических) с целью картографирования поверхности Земли и внеземных объектов.

Инженерная геодезия разрабатывает и изучает методы геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных сооружений, при разведке и добыче полезных ископаемых, а также сопровождает различные инженерные мероприятия по обеспечению безопасности и обороны страны.

Термин «инженерная» в названии дисциплины подчеркивает, что данный раздел геодезии имеет широкую прикладную направленность. В инженерной геодезии используют общие методы измерений, способы математической обработки их результатов, а также инструменты, принятые в геодезии для развития геодезической основы и картографирования страны. В то же время прикладная (инженерная) геодезия имеет особенности в отношении методов и точности выполнения геодезических работ, которые значимы при возведении сложных и специальных сооружений.

Особенности инженерно-геодезических работ тесно связаны с определенными этапами строительного процесса и отличаются решаемыми задачами и точностью измерений. Основными видами таких работ являются: топографо-геодезические изыскания; геодезические разбивочные работы и исполнительные съемки; выверка конструкций и агрегатов; наблюдения за деформациями оснований и сооружений.

Наиболее широко известным видом работ являются *топографо-геодезические изыскания*, которые служат основой для проектирования сооружений и проведения других видов изысканий. Они включают в себя: 1) инженерно-топографическую съемку строительных площадок и развитие их обоснования; 2) трассирование линейных сооружений; 3) геодезическую привязку геологических выработок, гидрологических створов, точек геофизической разведки и другие привязки.

Инженерно-геодезическое проектирование входит в комплекс проектирования сооружений и включает в себя: а) составление топографической основы в необходимых масштабах (планов, профилей и других материалов); б) геодезическую подготовку проекта для перенесения его в натуру, проектирование разбивочных работ; в) решение задач горизонтальной и вертикальной планировки.

Разбивка сооружений — основной вид геодезических работ при перенесении проекта в натуру, в состав которых входят: 1) построение разбивочной основы в виде строительной сетки, триангуляции, трилатерации, полигонометрии; 2) вынесение в натуру главных осей, детальная разбивка сооружений; 3) исполнительные съемки.

Выверка конструкций и агрегатов с установкой их в проектное положение (в плане, по высоте и по вертикали) является наиболее точным видом инженерно-геодезических работ, которые осуществляются специально разработанными методами и приборами. Это наиболее развивающаяся часть прикладной геодезии с широким внедрением новых методов измерений и приборов.

Наблюдения за деформациями сооружений преследуют и научные, и производственно-технические цели. Данный вид работ выполняется высокоточными геодезическими методами и включает в себя: а) измерения осадок оснований и фундаментов; б) определение смещений сооружений в плане; в) установление кренов (наклонов) высотных зданий, башен, труб.

1.2. ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

При геодезических работах (по картографированию территорий, например, и на всех этапах строительного производства) подавляющий объем информации (до 90 % и более) доставляется непосредственно из измерений. Геодезические измерения (ГИ) классифицируются по различным признакам: назначению, точности, объему, характеру информации и т. д.

По назначению ГИ подразделяются на линейные, угловые, нивелирные (измерения высот и превышений), координатные, долготные (измерения времени) и гравиметрические (измерения силы тяжести). С учетом упоминаемых разновидностей измерений сформировались технологические процессы топографо-геодезических работ: триангуляции, трилатерации, полигонометрии, базисные измерения, топографические съемки, створные измерения, разбивочные работы, определение деформаций сооружений и их оснований и другие.

По точности ГИ различаются в широком диапазоне: от $3/10^3$ до $0,5/10^6$. В технологических процессах топографо-геодезического производства точность

измерений определяют классом и разрядом выполняемых работ (например, нивелирование I, II, III и IV классов, полигонометрия 1 и 2 разрядов). Кроме того, ГИ подразделяются на высокоточные, точные (средней точности) и малой точности (технические). Это связано с типажом применяемых средств измерений. По признаку точности с классификацией ГИ также тесно связаны понятия равнооточных и неравнооточных измерений.

Равноточные ГИ выполняются в одинаковых условиях. *Неравнооточные ГИ* проводятся в неодинаковых условиях. *Условия измерений*, в свою очередь, характеризуются 5-ю признаками, взаимно обуславливающими и дополняющими друг друга в процессе измерения. Это признаки: объекта измерения, метода измерения, мерного прибора, субъекта измерения и внешней среды.

По признаку количества получаемой информации ГИ подразделяют на измерения необходимые и избыточные. *Необходимые измерения* выполняются однократно и располагают информацией, достаточной для однозначного нахождения значения геодезической величины (ГВ). *Избыточными измерениями* называются ГИ, выполненные сверх необходимого их количества. Наличие избыточных измерений является принципиальной особенностью ГИ, выделяющих их среди других технических измерений. Они позволяют не только повысить надежность результатов измерений, но и оценить точность после выполнения программы измерений.

По характеру получаемой информации различают прямые, косвенные, совместные и совокупные измерения. *Прямыми измерениями* называются ГИ, при которых непосредственно и сразу находят значение искомой ГВ. Например, расстояние L , измеренной рулеткой. *Косвенными измерениями* называются ГИ, при которых искомую величину получают как функцию ряда других измеренных величин. Примерами косвенных измерений могут служить: определение горизонтального проложения по измеренной наклонной дальности и углу наклона линии (или по разности высот конечных точек измеряемой линии); получение приращений координат по измеренному углу и длине линии от исходной до определяемой точки.

При *совместных измерениях* определяют зависимость между двумя или более физическими величинами, измеряемыми одновременно. Например, требуется исследовать зависимость угла i нивелира от температуры окружающей среды. С этой целью измеряют угол i нивелира и температуру t воздуха, после чего определяют функцию вида $i = F(t)$. При *совокупных измерениях* в ряды наблюдений включают различные сочетания определяемых величин. Примером совокупных измерений в геодезии является способ измерения горизонтальных углов на пунктах триангуляции.

По физической природе носителей информации различают визуальные и не визуальные измерения. При *визуальных ГИ* передача информации в системе «прибор—цель» осуществляется с участием наблюдателя (оператора). *Невизуальные ГИ* в основе своей полностью или частично исключают участие наблюдателя. При организации таких измерений используются средства радиоэлек-

троники, телемеханики, фотоэлектроники, микропроцессорной техники, квантовой механики.

Автоматизированные ГИ базируются на использовании управляющих технических систем, предусматривающих регистрацию измерительной и вспомогательной информации на специальные носители с последующей их обработкой на ЭВМ.

С точки зрения взаимозависимости результатов измерений различают *независимые, зависимые и коррелированные ГИ*. Квалифицирование результатов измерений по какому-либо из названных видов определяет последующий метод их обработки.

1.3. МЕРЫ И МЕРНЫЕ ПРИБОРЫ

Мерой называют средство измерения в виде тела или устройства, предназначенного для воспроизведения величины размеров с необходимой точностью. Для линейных измерений используют меры длины, для угловых — угловые меры.

Меры длины подразделяются на штриховые, концевые и штрихоконцевые меры. Размеры штриховых мер длины определяются расстоянием между нанесенными на них штрихами, концевых — расстоянием между измерительными поверхностями. На местности для измерения длины линий предназначаются *мерные линейные приборы*, которые последовательно откладываются по направлению линии. С этой целью применяются: стальные штриховые ленты, шкаловые ленты, рулетки стальные и тесьмяные, стальные подвесные проволоки и ленты со шкалами, подвесные инварные проволоки.

Единицей метрической меры длины служит *метр*, определяемый расстоянием между штрихами на «метре-прототипе» при 0°C, хранящимся в Международном бюро мер и весов в Севре, близ Парижа. В 1983 году установлено, что метром следует называть расстояние, которое проходит луч света в вакууме за 1/299792548 долю секунды.

Самой простой мерой длины в поверочной практике является контрольная линейка, которая относится к штриховой мере длины. *Контрольная линейка* имеет: общую длину 1050 мм, цену деления — на одной грани 0,2 мм, на другой — 1 мм; допустимую погрешность интервалов основной шкалы $\Delta L = (20 + 30L)$ мкм, где L — длина интервала, м. Контрольная линейка снабжена термометром и двумя отсчетными лупами.

Угловые меры служат для воспроизведения плоских углов заданных размеров. К угловым мерам относятся угловые плитки, многогранные призмы, круговые шкалы и лимбы. В качестве контрольно-измерительных средств на практике часто используются высокоточные геодезические приборы для угловых и линейных измерений, которые должны отвечать условию

$$\sigma_0 = \frac{1}{3} \sigma_{\text{СИ}},$$

где σ_0 и $\sigma_{\text{СИ}}$ — средние квадратические погрешности (СКП) эталона и поверяемого средства измерения.

В геодезии используют три угловые системы мер: градусную, градусовую (десятичную) и радианную. *Градусная мера*, градус = 1/90 прямого угла; обозначается значком °, 1° = 60' = 3600".

Градусовая мера, град = 1/100 прямого угла; обозначается значком g, 1° = 100° = 10000" = 0,9°.

Радианная мера, радиан (рад) — центральный угол, опирающийся на дугу, длина которой равна ее радиусу, обозначается буквой ρ:

$$\rho = 1 \text{ рад} = \frac{90^\circ}{\pi/2} = 57,2958'' = 3437,75' = 206265'' = 63,6620''.$$

Радианную меру широко применяют в приближенных вычислениях, так как для малых углов (до 3 — 5°) справедливы отношения:

$$\sin \alpha \approx \alpha_{\text{рад}}, \quad \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha_{\text{рад}}.$$

1.4. КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Геодезические приборы классифицируются по различным признакам: назначению, точности, конструктивным особенностям, степени автоматизации измерительных операций и др. С учетом характера выдаваемой информации различают 5 основных групп приборов: угломерные, для измерения высот (превышений), для измерения расстояний (длин линий), комбинированные (универсальные) и прочие приборы (оборудование и принадлежности). Кроме того, с точки зрения метрологии среди приборов выделяют *средства измерений* (СИ) и приборы, не являющиеся измерительными.

Важной особенностью многих геодезических приборов является наличие встроенных элементов текущего контроля функционального состояния и правильности проведения технологических операций. К таковым относятся: уровни, отсчетные шкалы и микроскопы, наблюдательные оптические системы, компенсаторы, индикаторы и т. п. Эти и им подобные конструктивные элементы геодезических приборов позволяют проводить их метрологическое обслуживание, как в стационарных, так и в полевых условиях.

Методика геодезических измерений строится таким образом, чтобы о качестве работы можно было судить не только по сходимости повторных измерений, но и по соблюдению заданных математических условий (с учетом установленных допусков).

По признаку точности измерений геодезические приборы подразделяются на высокоточные, точные и технические приборы. Кроме того, иногда предлагается выделять приборы повышенной и пониженной точности, а также средства средней и малой точности. В стандартах на нивелиры и теодолиты, например, к высокоточным отнесены приборы со средней квадратической погрешностью измерения не более 1 мм на 1 км хода и 1" — для углов. Соответственно к

точным приборам — с погрешностью не более 5 мм на 1 км хода и 10" для углов, к техническим приборам — с погрешностью более 5 мм на 1 км хода и с погрешностью более 10" для углов.

Все геодезические приборы подлежат метрологическому обслуживанию, то есть они периодически подвергаются поверке и паспортизации.

1.5. ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ МЕТРОЛОГИИ

Современный специалист, инженер-строитель или инженерно-технический работник (ИТР), наблюдающий за строительством или за техническим состоянием зданий и сооружений, должен иметь ясное представление о содержании топографических карт, используемых в архитектурно-планировочных работах. Он должен уметь читать эти карты и решать по ним практические задачи. Инженеру-строителю необходимо также иметь представление о методике составления карт и планов земной поверхности. Он должен не только знать, но и уметь выполнять (и контролировать) топографические съемки на небольшом участке местности или исполнительные съемки построенных сооружений. Ему необходимы знания о назначении, устройстве, принципе действия и элементарных приемах работы с приборами, предназначенными для использования при проведении геодезических измерений.

Кроме того, для обеспечения требуемой точности геодезических измерений наряду со строгим соблюдением технологической дисциплины и высокой квалификацией исполнителей необходимы еще надежные средства измерений, отвечающие задачам их единства и достоверности. Поэтому ответственные специалисты и ИТР большинства производственных служб и предприятий должны быть ознакомлены с правовыми основами метрологии, которые базируются на Законе РФ «Об обеспечении единства измерений», принятом в 1993 году. Этот закон содержит 26 статей, размещенных в 7 разделах: I. Общие положения; II. Единицы величин. Средства и методики выполнения измерений; III. Метрологические службы; IV. Государственный метрологический контроль и надзор; V. Калибровка и сертификация средств измерений; VI. Ответственность за нарушение положений настоящего закона; VII. Финансирование работ по обеспечению единства измерений.

Согласно закону федеральным органом государственной власти в области обеспечения единства измерений определен Госстандарт России (ныне Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии Министерства промышленности и энергетики России). Вся текущая работа по метрологическому обеспечению возлагается на метрологические службы (МС) юридических лиц, права и обязанности которых определяются утвержденными положениями.

Государственный метрологический контроль включает в себя: утверждение типа средства измерений (СИ); поверку СИ; лицензирование деятельности по изготовлению и ремонту СИ.

Государственный метрологический надзор осуществляется: за выпуском, состоянием и применением СИ, аттестованными методиками выполнения измерений (МВИ), эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм; за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций; за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

В сферу распространения метрологического контроля и надзора включены следующие работы: здравоохранение; охрана окружающей среды; обеспечение безопасности труда; торговые операции, учетные, банковские, таможенные, почтовые операции; обеспечение обороны; *геодезические работы*: обязательная сертификация продукции и услуг; арбитражные измерения; регистрация национальных и международных рекордов; испытания и контроль качества продукции.

Создание метрологической службы в той или иной сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора признано обязательным. Аналогичные положения в отношении метрологического обеспечения производства закреплены в Федеральном законе «О геодезии и картографии», принятом в 1995 г.

Термин «геодезическая метрология» в курсах инженерной геодезии [1, 2, 3, 10 и др.] обычно не используется или почти не используется. Однако «в геодезии метрология давно вышла за рамки обычной фоновой роли, т. к. она стала сильным технологическим средством» [15]. Раскрытие вышеуказанного термина начнем с определения понятия «измерения».

В метрологии под *измерением* понимается действие, связанное с нахождением значения *физической величины* (ФВ) опытным путем с помощью специальных *технических средств* (ТС). По своей сути это информационный процесс, результатом которого становится количественная информация об объекте измерения.

Геодезическое измерение в свою очередь определяется совокупностью *измерений*, проводимых для получения количественной информации о взаимном положении объектов материального мира в процессе выполнения топографо-геодезических работ. Под *методом геодезических измерений* (МГИ) понимается совокупность приемов использования технологических принципов и технических СИ. *Средство геодезических измерений* (СГИ) — это техническое СИ (прибор, мера, установка, система), предназначенное для выполнения измерений в геодезическом производстве.

И в геодезии, и в метрологии используются, как известно [15], «много общих принципов, главный из которых связан с необходимостью обеспечения единства измерений». *Единство измерений* — это состояние *измерений*, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах ФВ и *погрешности* измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Часть геодезии, занимающуюся рассмотрением комплекса научных, организационных, нормативно-технических и методических вопросов, необходимых для обеспечения единства и требуемой точности измерений, принято обозначать понятием «геодезическая метрология» (ГМ). Составными терминами понятия ГМ являются: *геодезические измерения* (ГИ), *метод геодезических измерений* (МГИ), *средство геодезических измерений* (СГИ), *погрешность геоде-*

зических измерений (ПГИ), точность геодезических измерений (ТГИ).

Круг понятий ГИ и ГМ существенно расширяется такими элементами термина ГИ (признаками ГИ), как: *единство геодезических измерений* (ЕГИ), единообразие средств геодезических измерений, геодезическая величина.

Роль *геодезической величины* (ГВ) играют физические величины (азимут, высота, длина линии, горизонтальный и вертикальный угол, координаты пункта и др.), значения которых определяют в результате производства ГИ. При этом под результатом ГИ понимается совокупность данных измерений, полученных после их завершения, последующей математической обработки и оформления в виде конечной или промежуточной продукции (информации).

Единообразие средств геодезических измерений (ЕСГИ) заключается в том, чтобы их метрологические параметры (характеристики) соответствовали установкам и правилам, регламентированным в нормативных документах. Состояние ЕСГИ обеспечивается соответствующими процедурами метрологического контроля.

Для обеспечения единства измерений (ОЕИ) необходимо получение результатов ГИ в узаконенных единицах ГВ с заданной точностью в соответствии с требованиями актов по технологии работ с применением поверенных СИ и аттестованных МВИ.

И только теперь, обобщив вышеизложенное, можно заключить, что содержание понятия «геодезической метрологии» обосновано целостной системой взаимоувязанных требований, возникающих из необходимости обеспечения точности и достоверности геодезических измерений.

1.6. ПОВЕРОЧНЫЕ СХЕМЫ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Поверочной схемой называют *нормативный документ* (НД), устанавливающий порядок и методы передачи размеров единиц физических величин от эталонов *рабочим средствам измерений* (РСИ). По области применения поверочные схемы подразделяются на *государственные* (ГПС), которые действуют в масштабе всей страны, и *локальные* (ЛПС), предназначенные для применения в масштабе отрасли или отдельного предприятия. В зависимости от назначения поверочные схемы классифицируются по видам измерений; например, поверочная схема для СИ плоского угла или поверочная схема для СИ длины.

Хранение и передача размеров единиц осуществляются с помощью эталонов, которые по точности и назначению подразделяются на первичные, вторичные и *рабочие эталоны* (РЭ). Последние эталоны, используемые в поверочной практике, различаются разрядами: РЭ 1-го разряда, РЭ 2-го разряда и т. д. Эталон, стоящий во главе поверочной схемы, называют *исходным*. Порядок построения поверочных схем определен ГОСТ 8.061. Эти схемы обладают типовой структурой (табл. 1.1) [15, с. 74].

Каждая поверочная схема имеет определенное количество ступеней (зависящее от количества единиц разрядов эталонов) и определенное количество ветвей, связанное с количеством типов поверяемых РСИ. Чем выше точность

эталонов, тем больше их стоимость. Экономически выгодно применять менее точные эталоны, увеличивая, тем самым, число их разрядов и соответственно число ступеней поверочной схемы. Следовательно, вопрос об оптимальном числе ступеней поверочной схемы может быть решен при учете стоимости поверочных работ и надежности передачи размера единицы.

Таблица 1.1

Типовая структура поверочных схем

Ступени единиц разряда	Названия эталонов и РСИ			
Исходная	Исходный эталон			
	Метод			
1-й разряд	Эталон 1-го разряда			
	Метод	Метод		
j-й разряд	1-й эталон j-го разряда	2-й эталон j-го разряда		
	Метод	Метод		
РСИ	РСИ-1 Ветвь 1	РСИ-2 Ветвь 2	РСИ-3 Ветвь 3	РСИ-4 Ветвь 4

Погрешности СИ в поверочных схемах принято указывать с доверительными вероятностями 0,90 — 0,99. В геодезической практике основную метрологическую характеристику принято задавать *средней квадратической погрешностью* (СКП) с доверительной вероятностью 0,67. Эталон передачи размера единицы и метод поверки образуют ступень поверочной схемы. Обычно для группы однородных СИ значение числа ступеней не превышает 4 или 5.

Примеры поверочных схем, предназначенных для основных видов геодезических СИ (дальномеров, теодолитов, нивелиров), будут рассмотрены ниже, в соответствующих разделах книги (см. п. 2.3, 3.4 и 4.4).

1.7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОВЕРКА ПРИБОРОВ

Технологическая поверка геодезических приборов, как один из видов метрологического контроля, регламентируется инструкцией ГКИНТП (ГНТА) 17—195—99 (далее Инструкция), через которую «поверка технологическая» вводится как составная часть технологии в производстве топографо-геодезических работ. В Инструкции изложены операции и методы проведения поверки следующих геодезических приборов: теодолитов, нивелиров, нивелирных реек, электромагнитных дальномеров, тахеометров, кипрегелей, мерных лент и рулесток, гиротеодолитов. Содержание Инструкции включает в себя: общую часть, условия проведения поверки, описание проведения операций поверки по видам приборов, оформление результатов поверки и приложения.

Методические указания по проведению операций поверки в зависимости от вида приборов излагаются в последующих разделах книги: для СИ длины — в разделе 2 (см. п. 2.4 и 2.5), для теодолитов — в разделе 3 (п. 3.5), для нивелиров и нивелирных реек — в разделе 4 (п. 4.5 и 4.6).

Общая часть

В общей части отсмечается следующее:

1) Инструкция распространяется на методы и средства технологической поверки *геодезических приборов* (ГП), применяемых при производстве геодезических работ, в соответствии с действующими технологическими инструкциями системы ГКИНП.

2) Инструкция является составной частью нормативно-технических актов, утверждаемых Федеральной службой геодезии и картографии России в соответствии с положением о Федеральной службе геодезии и картографии России и Федеральным Законом «О геодезии и картографии», и направлена на обеспечение единства геодезических измерений и высокого качества работ.

3) Перечень ГП, на которые распространяется данная Инструкция, приведен в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Перечень геодезических приборов
подлежащих технологической поверке

Виды ГП	Типы ГП	Область применения
Теодолиты	Оптические теодолиты Т1, УВК, Т2, Т2А, Т5, Т15, Т30, Т60, Т5Э и им равноценные по точности импортные СИ	Угловые измерения, теодолитные съемки и геодезические изыскания
Нивелиры	Н-05, Н05К, Н-3, Н-3КЛ, Н-2КЛ, Н-5Л, Н-10 и равноценные им по точности импортные СИ	Измерения превышений геометрическим нивелированием
Тахеометры	Та3, Та3М, ТС60Е, Та20, ТаН и им равноценные по назначению и точности	Тахеометрические съемки, их обоснование
Рейки нивелирные	РН-05, РН-3, РН-10	Нивелирные работы
Кипрегели	КН и ему равноценные по точности	Мензульная съемка
Светодальномеры	СП2, СТ5, СТ10, СТ20	Линейные измерения в инженерно-геодезических съемках и изысканиях
Радиодальномеры	РДГ, РДВГ, «Трап» и им равноценные по точности приборы	
Рулетки и ленты	Рулетки измерительные металлические длиной 10, 20, 30, 50, 100 м. Ленты мерные ЛЗ-20.	Линейные измерения
Гиротеодолиты	Ги-В2, Ги-В21, Ги-С1, ГЕ3 и им равноценные по точности гироскопические СИ	Измерения азимута при ориентировании геодезических сетей

4) Периодичность выполнения операций поверочных работ ГП, на которые распространяется данная Инструкция, должна определяться технической инструкцией системы ГКИНП на проведение конкретных видов работ и отражаться в технических проектах на производство работ.

5) Допускаемые значения проверяемых метрологических параметров и характеристик ГП устанавливаются действующими инструкциями ГКИНП по проведению конкретных видов работ и (или) ТУ изготовителя.

6) Содержание, построение и изложение Инструкции соответствует требо-

ваниям ГКИНП—119—94 и НД *государственной системы* обеспечения единства измерений (ГСИ).

Условия проведения поверки

Инструкцией предписывается соблюдение следующих правил:

1) Перед началом поверки ГП и все используемые при ее проведении ТС должны быть приведены в рабочее состояние в соответствии с ИЭ прибора.

2) При выполнении поверки *в помещении* необходимо соблюдать определенные требования:

- температура окружающего воздуха должна быть в пределах $20 \pm 5^\circ\text{C}$;
- скорость изменения температуры не должна превышать 3°C в час;
- относительная влажность не более 90 %;
- колебания напряжения электропитания не должны превышать 10 %.

При проведении поверки *вне помещения* условия видимости должны быть благоприятными, колебания изображения — минимальными, на приборы не должны попадать прямые солнечные лучи, скорость ветра не должна превышать 4 м/с; измерения должны проводиться при полном отсутствии осадков.

3) При проведении поверки должны соблюдаться правила работы с измерительными приборами, указанные в их инструкции по эксплуатации (ИЭ), а также правила по технике безопасности.

4) Технологическую поверку должен проводить специалист, за которым закреплено поверяемое СИ для выполнения топографо-геодезических работ.

Оформление результатов поверки

В данном разделе Инструкция предписывает, чтобы:

1) результаты технологической поверки ГП в геодезическом производстве оформлялись с записью результатов поверки в журнале и протоколе по форме, согласованной с ОТК и МС предприятий. Результаты технологической поверки вносят в паспорт (формуляр) прибора. Для операций поверки, повторяющихся ежедневно или каждый раз перед подготовкой прибора на рабочем месте, допускается делать записи в специальном вкладыше к паспорту (формуляру) или в журнале наблюдений;

2) ГП, не удовлетворяющие требованиям действующих НД и актов, к эксплуатации не допускались; при неудовлетворительных результатах поверки допускается юстировка (регулировка), ремонт прибора и повторное проведение операций поверки;

3) результаты технологической поверки наряду с данными периодической поверки использовались исполнителем работ для получения информации, необходимой для выбора оптимальной методики измерений, введения поправок в измерения, принятия решения о выполнении ремонта приборов.

2. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. ИЗМЕРЕНИЯ ПРЯМЫЕ

Прямые (непосредственные) измерения длины выполняют с помощью лент, рулеток, мерных проволок и длиномеров. Такие измерения весьма трудоемки, они обеспечивают сравнительно высокую точность в пределах длины мерного прибора и применяются для измерения небольших расстояний — до нескольких сот метров.

Мерная лента представляет собой стальную полосу длиной 20, 24 и 50 м, шириной 10—15 мм, толщиной 0,4—0,5 мм. Применяются штриховые и шкаловые ленты. На *штриховых лентах* метры отмечены металлическими пластинами, полуметры — заклепками, а дециметровые — круглыми отверстиями. На концах ленты имеются ручки, вырезы для шпилек (при фиксации ленты на земле) и нанесены штрихи номинальной длины ленты. *Шкаловые ленты* несут сантиметровые и миллиметровые шкалы на крайних дециметрах ленты.

В процессе измерений расстояний до 150 м ленту последовательно укладывают в створе измеряемой линии «на глаз», натягивая ее «от руки». При расстояниях более 150 м линию провешивают, устанавливая в створе дополнительные вехи. При точных измерениях натяжение выполняют с помощью динамометра.

Точность измерения лентой зависит от условий измерения, погрешностей ленты, углов наклона местности, постоянства натяжения, нестворности, искривления и провисания ленты. Относительная точность линейных размеров составляет:

1/3000 — при благоприятных условиях измерения,

1/2000 — при обычных (средних) условиях измерений,

1/1000 — при неблагоприятных условиях измерения (плохая погода, песчаный или скальный грунт и пр.).

На точность линейных измерений существенное влияние оказывает и окружающая температура. Ее повышение на 4°C приводит к увеличению длины стальной 20-метровой ленты на 0,2 мм. Например, если измерить расстояние 100 м зимой при температуре $t = -20^{\circ}\text{C}$, а затем летом при $t = +20^{\circ}\text{C}$, то разница полученных результатов измерений составит 4 см — это очень много. Следовательно, при работе нужно ввести поправку на температуру. Чтобы уменьшить погрешность, вызываемую изменением температуры, мерные проволоки и ленты некоторых рулеток делают из инвара — сплава, содержащего 36% никеля и 64% железа. Температурное расширение такого материала в 10 раз меньше, чем стали.

Рулетки. В геодезических измерениях применяются металлические рулетки: стальные и инварные. Они имеют номинальную длину 5, 10, 20, 30 или 50 м. Цена деления таких рулеток обычно равна 1 мм. В зависимости от класса инструмента и методики измерений относительная погрешность при измерениях рулеткой и колеблется в пределах от 1/1000 до 1/15000. При точных измерениях на ровной площадке при длине 150 м ошибка не должна превышать 10 мм.

Измерения рулеткой выполняются так же, как и лентой. Фиксация концов рулетки производится шпильками, острыми предметами, штрихами на кольях или чертой по поверхности измеряемых конструкций. Натяжение рулетки производят от руки или динамометром. В измеренное расстояние L вводят поправку 1) за проверку длины шкалы мерного инструмента

$$\Delta L_k = k \cdot L, \quad (2.1)$$

где k — поправка за проверку длины шкалы на единицу длины (1 м);

2) за температуру

$$\Delta L_t = \pm \alpha (t - t_k) \cdot L, \quad (2.2)$$

где α — линейный коэффициент расширения стали ($\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$); t и t_k — температуры мерного прибора при измерении и при проверке соответственно;

3) за приведение линий к горизонту

$$\Delta L_{\text{гор}} = -2L \sin^2 \frac{\beta}{2} \approx -\frac{h^2}{2L}, \quad (2.3)$$

где β — угол наклона измеряемой линии; h — превышение ее концов;

Если рулетка в момент измерений находилась на весу, то дополнительно вводят поправку за провес в каждый пролет по формуле

$$\Delta L_i = 8f^2 / (3L_i), \quad (2.4)$$

где f — стрела провеса рулетки, L_i — длина измеряемого отрезка.

Мерные проволоки. Измерение расстояний с высокой точностью (относительная погрешность до 1/25000 и ниже) обеспечивают мерные проволоки диаметром 1,65 мм, которые имеют длину 24 м и 48 м. Мерная проволока используется в комплекте с приспособлениями и инструментом для ее установки, натяжения и снятия отсчета.

Для измерения расстояния таким подвесным мерным прибором предварительно по створу линии устанавливают штативы с целиками через 24 или 48 м. На первом и последнем штативе в качестве целиков используется оптический центрир (лот-аппарат) для точной установки его над конечными точками линии. При измерениях в каждом пролете проволоку подвешивают на блоках с постоянным натяжением (рис. 2.1).

В процессе работы с проволокой снимают отсчеты по ее миллиметровым шкалам по ходу измерения: задний (З) и передний (П). В зависимости от расположения нулевых штрихов этих шкал длина измеряемого пролета оценивается по-разному.

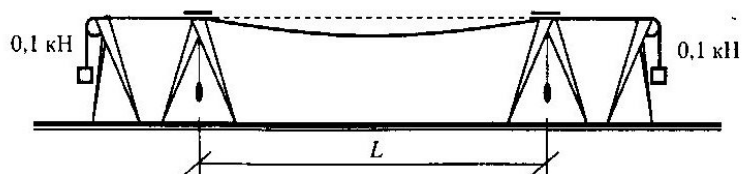


Рис. 2.1. Схема установки подвесного прибора, подготовленного для снятия отсчета по измерению пролета L

В шкалах первого типа, где деления возрастают в направлении передней точки (рис. 2.2), длина измеряемого пролета равна

$$L = L_0 + (\Pi - 3), \quad (2.5)$$

где L_0 — номинальная длина мерного прибора (провода или ленты) между нулевыми штрихами, Π и 3 — отсчеты по передней и задней шкалам.

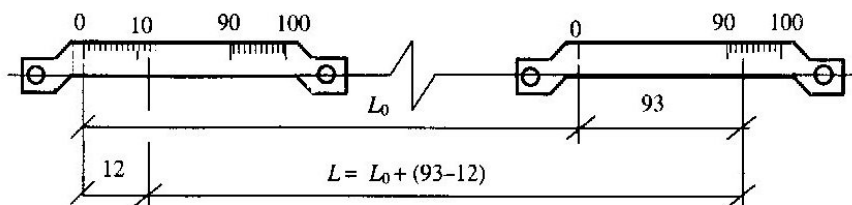


Рис. 2.2. Длина пролета L при одностороннем положении нулевых штрихов (в начале шкал, по ходу измерения)

В шкалах второго типа подписи штрихов делений возрастают к концам проволоки (рис. 2.3). Длина L , при этом, определяется по формуле

$$L = L_0 + (\Pi + 3). \quad (2.6)$$

Натяжение, как правило, производят с усилием 100 Н (рис. 2.1). Степень натяжения проволоки (ленты, рулетки) существенно влияет на точность измерений. Например, при усилии натяжения 200 Н длина двадцатиметровой ленты будет примерно на 1 мм больше, чем при усилии 100 Н.

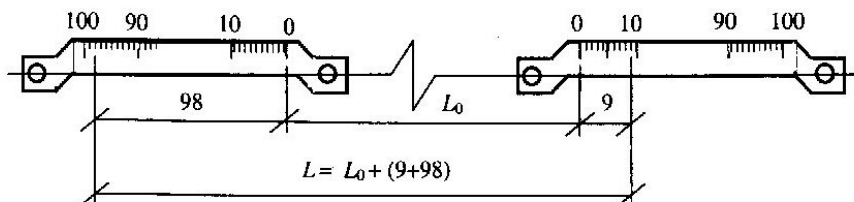


Рис. 2.3. Длина пролета L при разностороннем положении нулевых штрихов (деления возрастают к концам прибора)

Обычно измерения по пролетам ведут последовательно, а для контроля и повышения точности — в прямом и обратном направлениях. Укороченный пролет (домер) измеряют рулеткой. В процессе работы превышения между целями на каждом пролете измеряют нивелиром и вводят поправки за наклон

линий и за температуру измерений.

Длиномеры. Это модернизированные приборы для измерения расстояний от 1 до 500 м с относительной погрешностью в пределах $1/5000 \pm 1/20000$. Измерительный блок длиномера состоит из мерного диска, счетного механизма и тормозного устройства. В комплект его входят: основной прибор, бабина с проволокой диаметром 0,8 мм, две стойки со стремнем, головка с блоком, две шкалы с делениями через 5 мм длиной по 20 см, гиля массой 15 кг, динамометр, оптические центриры и штативы с целиками, термометр-прац. Схема измерений длиномером аналогична схеме измерения пролета проволокой (см. рис. 2.1). При этом на задней точке располагается бабина с проволокой, а на передней — блок с грузом.

2.2. ИЗМЕРЕНИЯ КОСВЕННЫЕ

Косвенными измерениями определяют большие расстояния (от сотен метров до нескольких километров) посредством оптикоэлектронных методов и приборов, обеспечивающих достаточную точность и быстроту измерений. Это, в первую очередь оптические дальномеры, светодальномеры и лазерные рулетки. К косвенным методам относятся и различного рода геодезические засечки.

Оптические дальномеры. Принцип действия их основан на геометрическом отношении измеряемого расстояния L и перемесных a и b в параллактическом треугольнике (рис. 2.4).

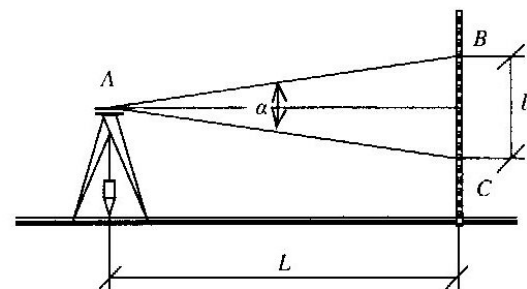


Рис. 2.4. Измерение расстояния оптическим дальномером

В этом треугольнике может быть известен (задан) базис b и измерен параллактический угол α ; или наоборот, задан угол и измерен базис. Поэтому различают дальномеры с постоянным углом и дальномеры с постоянным базисом. Расстояния L при этом вычисляют по формуле

$$L = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}. \quad (2.7)$$

Если вершина угла α или линия базиса b не совмещены с концами искомого расстояния L , то это смещение учитывается введением некоторой слагаемой величины C — постоянной прибора:

$$L = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} + C. \quad (2.8)$$

Дальномер с постоянным углом α (дальномер нитяной) имеется во всех зрительных трубах геодезических инструментов. В нем сетка нитей зрительной трубы имеет пару нитей, расстояние между которыми неизменно. Схема измерения расстояния L показана на рис. 2.4. При наведении трубы на рейку нити сетки накладываются на рейку: одна нить в точку B , другая в точку C . Отрезок BC , виден через трубу всегда под одним и тем же углом α , который обычно не превышает $0,5^\circ$; с увеличением расстояния увеличивается и отрезок BC . Величина этого отрезка отсчитывается наблюдателем по сантиметровым делениям, нанесенным на рейке.

При перпендикулярном положении визирной оси относительно рейки искомое расстояние определяется как высота L треугольника ABC :

$$L = Kb + C, \quad (2.9)$$

где, согласно (2.8), коэффициент дальномера

$$K = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2} \approx \operatorname{ctg} \alpha.$$

В зрительных трубах дальномера обычно коэффициент K равен 100. Для такого случая параллактический угол α может быть найден приближенно:

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,01 \approx \alpha \text{ рад} = \frac{\alpha^\circ}{57,3^\circ}.$$

Поэтому

$$\alpha^\circ = 0,01 \cdot 57,3^\circ = 0,573^\circ = 34,3'.$$

Если линия измеряется под углом наклона β , то ее длина будет равна

$$L = Kb \cos \beta + C, \quad (2.10)$$

а горизонтальная проекция

$$L_0 = (Kb + C) \cos^2 \beta.$$

В зрительных трубах с внутренним фокусированием применяются более сложные оптические системы и для них постоянная C практически равна нулю. При этом полагают, что в измерениях нитяным дальномером относительная ошибка $\Delta L/L = 1/200$, т. е. равна $0,5\%$ от величины L .

Дальномер с переменным углом α и постоянным базисом b . В данном приборе в качестве базиса используется двухметровый металлический жезл, на концах которого укреплены марки для наблюдений. Данный жезл устанавливается горизонтально и перпендикулярно измеряемой линии по той же схеме (рис. 2.4). Точность этого дальномера зависит от точности измерения угла α , так как здесь справедливо отношение

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta \alpha}{\alpha}.$$

При одной и той же ошибке измерения $\Delta \alpha$ короткие длины с большим углом α определяются с лучшей точностью. Для достижения точности в пределах

от $1/1000$ до $1/2000$ погрешности в измерении углов не должны превышать $1-2''$. Такие измерения обычно производят точными теодолитами (для нахождения расстояний в пределах от 100 до 150 м).

Электронные рулетки служат для измерения расстояний посредством лазера, а также для расчета площадей, объемов и т. п. Дадим краткие характеристики двух разновидностей рулеток, применяющихся в практике.

Портативный лазерный оптико-измерительный прибор LEMTM 30. Он предназначен для бесконтактного измерения расстояний до естественных поверхностей с ровным или выпуклым профилем (в диапазоне от $0,2$ до 30 м). Для точных измерений прибор неподвижно устанавливается на какое-либо твердое основание с помощью опорной ножки. При больших дистанциях (свыше 30 м) может применяться штатив для облегчения прицеливания.

Управление прибором осуществляется с пленочно-контактной клавиатуры. Индикация результатов измерения и представлений регулировок прибора, которые имеются во встроенном меню, отражается на графическом дисплее (несколько строк меню). Для регулировок прибора имеется 4 линейки меню, которые могут по очереди призываться. Первая линейка содержит функции сложения, вычитания и умножения результатов измерения. Вторая — хранит до 100 результатов измерения. Третья — регулирует режим слежения измерения и положение нулевых точек ножки и фасада. Блок аккумуляторных батарей прибора LEMTM 30 обеспечивает возможность проведения до 5000 измерений. Точность измерения ± 3 мм, разрешение 1 мм, время измерения 1 секунда. Диапазон температур эксплуатации: от -10°C до $+50^\circ\text{C}$. Размеры прибора: $240 \times 54 \times 35$ мм. Масса, включая аккумуляторную батарею: 360 г.

Ручной лазерный дальномер (модель: DISTO classic⁵).

Назначение инструмента: измерение расстояний, вычисление площадей и объемов, регистрация и хранение результатов измерений. Технические характеристики:

- 1) Вес 335 г, габариты $172 \times 73 \times 45$ мм;
- 2) Дальность измерения от $0,2$ до 200 м;
- 3) Время измерения от 1 до 4 сек;
- 4) Точность двух стандартов отклонения — ± 3 и ± 5 мм;
- 5) Диаметр лазерного пятна — $6, 30$ и 60 мм на расстояниях $10, 50$ и 100 м;
- 6) Точность измерений уровня — 1° ;
- 7) Диапазон температуры: при работе от -10 до $+50^\circ\text{C}$, при хранении от -25 до $+70^\circ\text{C}$;
- 8) Щелочная батарея $2 \times 1,5$ в — до $10\,000$ измерений;
- 9) Прибор снабжен оптическим визиром, подсветкой, дисплеем, многофункциональной пяткой, калькулятором, памятью (10 значащих констант и 15 значений стека);
- 10) Имеется ряд других функций.

Электронные тахеометры. Так называются электроннооптические приборы, предназначенные для быстрого измерения и расстояний, и горизонтальных углов, а также превышений на местности. В конструкции тахеометров объединены электронный теодолит и малый светодальномер. В качестве визирной цели применяется специальная вежа с малогабаритным призмным отражателем. Процесс измерений автоматизирован, результаты высвечиваются на электронном табло и одновременно могут регистрироваться в накопителе.

Светодальномеры (самостоятельные приборы, или совмещенные с тахеометром) состоят из приемо-передатчика, отражателя световых волн и генератора частоты (фазометра). Приемопередатчик устанавливают в начальной точке измерения и с его помощью посылают световой поток в направлении отражате-

ля, устанавливаемого в конечной точке линии на расстоянии до нескольких километров. Отраженный поток света фиксируется передатчиком-приемником. При этом измеряемое расстояние будет равно:

$$L = \frac{1}{2}vt, \quad (2.11)$$

где v — скорость распространения электромагнитных колебаний в атмосфере; t — время, за которое свет проходит от излучателя до отражателя и обратно.

Различают светодальномеры двух видов — импульсные дальномеры, в которых время t определяется прямым путем, и фазовые, в которых излучение ведется с заданной частотой. В фазовых дальномерах время t оценивается косвенно по разности фаз сигнала, поданного и принятого. В таких дальномерах мерой измерения расстояния служит длина волны λ модулированного излучения, так что искомая длина оказывается равной

$$L = \frac{1}{2}(n\lambda + \Delta\lambda), \quad (2.12)$$

где n — целое число волн, уложенных в двойное расстояние (так называемое число неоднозначности — оно находится по результатам измерений на нескольких частотах); $\Delta\lambda$ — доля волны, оцениваемая фазометром.

Существуют и импульсно-фазовые дальномеры. Современные дальномеры снабжены автоматизированным счетно-решающим устройством и на световом табло высвечивается результат измерения. Точность измерения таким дальномером характеризуется малой погрешностью. Например, на длине 1 км, в зависимости от типа прибора, погрешность находится в пределах от 1 до 10 мм.

2.3. ПОВЕРОЧНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИНЫ

Линейные измерения в геодезии — наиболее распространенный вид измерений. Диапазон линейных измерений весьма широк и колеблется в пределах от нескольких миллиметров до десятков километров. Погрешности линейных измерений изменяются в зависимости от производственных целей в относительной мере в пределах от $5/10^3$ до $0,5/10^6$. В настоящее время технический прогресс в геодезии предопределяется развитием электромагнитных дальномеров и спутниковых приемников.

Поверочные схемы СИ длин разработаны наиболее полно и на разных уровнях: государственном, отраслевом и в масштабе отдельных предприятий. В связи с большим многообразием средств линейных измерений в геодезии выделяют две их большие группы: в диапазоне до 4 м и до 30 км. Во 2-й группе используются дальномеры и механические средства откладывания длины (ленты, рулетки, проволоки). Локальная поверочная схема для средств измерения длины в этой группе (с диапазоном до 30 км) — практически наиболее сложная и разветвленная; она содержит 5 ступеней и 5 ветвей (табл. 2.1).

В качестве рабочего эталона в этой ЛПС используется *базисный прибор* БП-1 (включающий комплект из 8 инварных проволок длиной 24 м каждая),

обеспечивающий воспроизведение длины пролета со СКП в 4 мкм. Проверка инварных проволок производится на компараторе методом сличения с длиной трехметрового геодезического жезла, периодически сличаемого с первичным эталоном длины. Не исключено также применение в качестве исходного эталона группы фазовых светодальномеров из 2 — 3 приборов в диапазоне до 5 км, обеспечивающих СКП измерений порядка $2/10^7$ — $5/10^7$.

Для механических средств измерения длины в качестве РЭ 1-го разряда в ЛПС служат измерительные ленты до 50 м длиной, обеспечивающие погрешность измерений, описываемую формулой $(3 + 3L)$ мкм, где L — длина в метрах. Их проверка осуществляется органами метрологической службы на оптико-механических компараторах.

Таблица 2.1
Структура локальной поверочной схемы для СИ длины в диапазоне до 30 км

Ступени	Названия базисных приборов, методов и РСИ ветвей				
Исходный эталон	Базисный прибор БП-1 8 инв. проволок $L = 24$ м		Группа фазовых светодальномеров $L = (3 + 5)$ км, $\sigma = (2 + 5) \cdot 10^{-7}$		
	Метод прямых измерений		Метод сличения		
РЭ 1-го разряда	Базис 1-го разряда, $L = 1500$ м, $\sigma = 0,5 \cdot 10^{-6}$		Инварные ленты $L = 20 + 50$ м, $\sigma = (3 + 3L) \cdot 10^{-7}$ мкм		
	Метод прямых измерений		Методы прямых измерений и сличения		
РЭ 2-го разряда	Базис 2-го разряда, $L = 3000$ м, $\sigma = 1 \cdot 10^{-6}$		Фазовый светодальномер $L = 3000$ м, $\sigma = 1 \cdot 10^{-6}$		
	Метод прямых измерений		Метод прямых измерений		
РЭ 3-го разряда	Метод сличения		Базис 3-го разряда, $L \leq 5000$ м, $\sigma = 3 \cdot 10^{-6}$		
	Метод прямых измерений	Методы прям. измерений и сличения	Метод прямых измерений	Метод сличения	
РСИ	Светодальномеры $L = 3000$ м, $\sigma = (0,6 + 1 + 1/10^6)$ мм	Светодальномеры $L = 3 \cdot 10^4$ м	Радио- и светодальн. $L = 1 + 3 \cdot 10^4$ м $\sigma = (1 + 3 + 3 \cdot 5/10^6)$ см	Оптические дальномеры $L = (0,3 + 1)$ км $\sigma = 2/10^4 \div 3/10^3$	Ленты и рулетки $L = 20 + 100$ м

В качестве РЭ 2-го разряда в ЛПС используются базисы 2-го разряда длиной до 3 км, интервалы которых известны с относительной погрешностью не более $1/10^6$. Проверка таких базисов проводится методом прямых измерений базисным прибором БП-1. Функции РЭ 2-го разряда может выполнять фазовый светодальномер, имеющий верхний предел измерений 3 — 5 км и СКП измерений в относительной мере не более $1/10^6$. Его проверка проводится методом сличения при помощи компаратора, длина которого определяется групповым эталоном из двух фазовых светодальномеров, обеспечивающим погрешность измерений не более $5/10^7$.

В качестве РЭ 3-го разряда в ЛПС используется базис 3-го разряда длиной до 5 км, который обеспечивает хранение и воспроизведение единицы с СКП не более $3/10^6$. Поверка такого базиса технических проблем не представляет и может быть осуществима с помощью фазового светодальномера, имеющего погрешность измерений не более $1/10^6$, или базисного прибора БП-2. Поверка базиса 3-го разряда проводится не реже одного раза в три года.

Рабочими средствами измерений в ЛПС являются:

- 1) светодальномеры прикладной геодезии с диапазоном до 3—5 км и погрешностью измерений не более 0,6 — 2,0 мм;
- 2) светодальномеры геодезические с верхним пределом измерений до 30 км и погрешностью 3 — 10 мм;
- 3) светодальномеры топографические с максимальной дальностью до 10 км и погрешностью 3 — 10 мм; радиодальномеры с дальностью 30 км и погрешностью 3 — 10 см;
- 4) дальномеры геометрического типа (оптические) с верхним пределом измерений до 1000 м и СКП измерений $3/10^3$ — $2/10^4$;
- 5) механические меры длины (ленты, рулетки измерительные) длиной 10, 20, 24, 30, 50, 100 м.

В качестве поверочных средств РСИ используются РЭ соответствующих разрядов ЛПС. При этом если в качестве РЭ используется высокоточный фазовый светодальномер, допустим метод прямых измерений длины, задаваемой линейным базисом, или метод сличения при помощи компаратора. Метод поверки — в соответствии с методами измерений или разделами «Методы и средства поверки» эксплуатационной документации.

В перспективе в эту поверочную схему может влиться спутниковая аппаратура, с помощью которой в геодезии измеряют длины сторон и координаты (приращения координат). При этом двухчастотные спутниковые приемники могут выполнять в поверочной схеме двойную функцию: рабочих средств измерений, а также эталонов — при поверке контрольных базисов 2-го и 3-го разрядов, а также электромагнитных дальномеров.

2.4. ПОВЕРКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ДАЛЬНОМЕРОВ

Методические указания по операциям поверки

Для проведения поверки электромагнитных дальномеров Инструкцией (см. п. 1.7) предписывается выполнять 9 операций, в том числе 5 операций (1, 2, 3, 5 и 8) — обязательных для всех дальномеров, и 4 дополнительные операции (4, 6, 7 и 9) — специфические, для отдельных их типов. Операции поверки нумеруются и именуется следующим образом: 1) проверка внешнего состояния и комплектности; 2) опробование; 3) проверка правильности установки уровней; 4) проверка оптического центрира; 5) проверка правильности установки визирного устройства; 6) контроль масштабной частоты кварцевых генераторов; 7) контроль БКО (у светодальномеров с БКО); 8) контроль приборной поправки; 9) контрольное измерение линий. Периодичность операций поверки свето- и радиодальномеров устанавливается Инструкциями по проведению

основных геодезических работ (ГКИНП по построению государственной геодезической сети, полигонометрии, трилатерации).

Указания по проведению операций поверки

1) *Проверка внешнего состояния и комплектности.* Проверку внешнего состояния следует выполнять осмотром; проверку комплектности — осмотром и сличением с документацией. При осмотре устанавливают состояние внешней отделки, убеждаются в отсутствии механических повреждений корпуса приемопередатчика, антенны, отражателей, кабелей, блока питания и других узлов; проверяют сохранность информационных надписей и маркировки на панелях приемопередатчика; проверяют качество антикоррозионных покрытий и т.п.

2) *Опробование.* Опробованием осуществляются проверка функционирования прибора, его отдельных элементов и узлов. При этом устанавливается работоспособность основных узлов прибора. Опробование свето- и радиодальномеров сводится к следующим основным операциям:

- проверки легкости и плавности хода подвижных частей;
- определению качества работы зажимных и наводящих устройств;
- проверке пригодности для работы источника питания, надежности кабелей;
- проверке соответствия режимов работы установленным требованиям;
- определению работоспособности индикаторов, в термостатированных приборах;
- проверке правильности работы термостата;
- наличию радиосвязи между станциями радиодальномера.

3) *Проверкой правильности установки уровней.* Проверка уровней приемопередатчика, отражателя, станции выполняется аналогично тому, как это описано для теодолитов (п. 3.5) и нивелиров (п. 4.5).

4) *Проверка оптического центрира* (у дальномеров с оптическими центрирами). Проверка юстировки оптического центрира, встроенного в дальномер, выполняется аналогично тому, как это описано для центриров у теодолитов в разделе 3 «Измерение углов» (п. 3.5).

5) *Проверка правильности установки визирного устройства.* Параллельность визирного и оптического каналов светодальномера определяют следующим образом. Устанавливают отражатель на удалении 300 — 500 м от прибора. Наводят приемопередатчик на отражатель, пользуясь визирной системой, а затем — по максимуму электрического сигнала. Если центр сетки не совпадает с изображением отражателя, это свидетельствует о непараллельности каналов, что требует проведения юстировочных работ.

6) Контроль масштабной частоты кварцевых генераторов (у дальнометров, имеющих разъем для подключения частотомера). Для контроля масштабной частоты генераторов необходимо привести приемопередатчик (станции) в рабочее положение и подключить частотомер к контактам, на которые выведены напряжения контролируемых частот. Далее следует установить рабочий режим работы частотомера с помощью соответствующих переключателей (согласно ИЭ). После этого нужно включить приемопередатчик (станцию), установить рукоятки управления в положение, соответствующее контролю частоты кварцевого генератора, и провести измерения частотометром. Значение $\delta f = f_{ном} - f_{изм}$ не должно превышать установленного допуска $\delta f_{доп}$, где $f_{ном}$ — номинальное значение частоты, $f_{изм}$ — измеренное значение частоты (откорректированное поправкой за температуру кварцевого генератора). Если значение δf превышает $\delta f_{доп}$, необходимо настроить частоту в соответствии с ИЭ прибора или вводить поправки в измерения расстояния с учетом действительного значения частоты — $f_{изм}$.

7) Контроль БКО (у светодальнометров с БКО). Для проверки значения контрольного отсчета необходимо привести прибор в рабочее положение и навестись на объектив передающей системы БКО. В режиме точных измерений снять с табло 3 отсчета, среднее значение которых сравнить с паспортным значением. В случае его отличия необходимо произвести регулировку контрольного отсчета в соответствии с ИЭ прибора.

8) Контроль приборной поправки. Контроль приборной поправки светодальнометров можно производить разными способами. Первый способ основан на измерении интервала базиса известной длины со смещением отражателя (в пределах фазового цикла) через 1/2, 1 и 2 м. Пригодность способа, для использования топографических и геодезических светодальнометров и радиодальнометров, устанавливается (для каждого конкретного типа прибора) на основе испытаний в стадии разработки и ввода прибора в эксплуатацию.

Другой способ заключается в измерении нескольких интервалов базиса известной длины (5 — 6 в пределах 0,6 от верхнего предела измерений D_n). Каждый интервал измеряют в 4 — 6 приемов, в результаты измерений вводят поправки за метеосостояние и наклон линии. Погрешность в длине указанных базисов должна быть не более $(1 \pm 1,5) \cdot 10^{-6}$ для геодезических и топографических светодальнометров (по абсолютной величине — не более 2 мм) и не более $(3 \pm 5) \cdot 10^{-7}$ для высокоточных светодальнометров.

Приборная поправка K определяется как среднее значение из отдельных результатов, полученных на базисах; отдельное ее значение вычисляют как разность контрольного D_0 и измеренного $D_{изм}$ значений, т. е. $K = D_0 - D_{изм}$.

Примеры по определению приборной поправки светодальнометра приведены в прил. 2 (табл. П2.1 и П2.2).

Допускается для контроля приборной поправки дальнометра (пар станций) применять способ, основанный на измерении нескольких линий, расположен-

ных в одном створе, во всевозможных комбинациях (в соответствии с РТМ 68—8.21—94). Этот способ применяют для дальнометров, у которых значение поправки не зависит от длины измеряемой линии.

9) Контрольное измерение линий (у дальнометров, для которых не предусмотрен контроль частоты). Для контрольных измерений выбирают интервал эталонного базиса длиной не менее $0,6 \cdot D_n$. Погрешность длины интервала базиса должна быть не более $m_d/3$ поверяемого дальнометра. Контрольные измерения производят в соответствии с методикой, рекомендуемой ИЭ дальнометра.

Результаты измерений считают удовлетворительными, если соблюдено условие $\Delta D = (D_{изм} - D_0) \leq 2 m_d$, где m_d — средняя квадратическая погрешность измерений, принятая для дальнометра поверяемого типа.

2.5. ПОВЕРКА РУЛОТОК И ЗЕМЛЕМЕРНЫХ ЛЕНТ

Указания по операциям поверки

При проведении поверки руловок и землемерных лент выполняются две обязательные операции:

- 1) проверка внешнего состояния и опробование, которая проводится каждый раз перед началом работ;
- 2) проверка длины шкалы, проводимая один раз в 3 месяца.

Указания по проведению операций поверки

1) Проверка внешнего состояния и опробование. Проверку внешнего состояния лент и руловок выполняют визуальным осмотром и опробованием. При этом проверяют качество штрихов и надписей, убеждаются в отсутствии на полотне ленты (рулетки) изломов, коррозии, царапин и других дефектов, влияющих на качество измерений; проверяют ленту и рулетку на скручивание, и раскручивание на сматывающем барабане, не допуская заеданий в работе механизма перемотки металлической ленты.

2) Проверка длины шкалы. Проверку длины шкалы лент и руловок выполняют сравнением их с эталонной лентой 3 разряда, обеспечивающей передачу длины рабочим лентам и рулеткам с предельно допускаемого значения погрешности не более 1 мм. При проверке эталонная и поверяемая лента (рулетка) укладываются в створе, линии и натягиваются с усилием 100 Н (10 кгс), обеспечиваемом при помощи динамометра или подвешенных на концах ленты грузов. Допускается в полевых условиях поверку производить на интервалах контрольных базисов, длина которых известна с погрешностью не более 1/10000. Во время измерений фиксируют температуру окружающей среды.

3. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ

3.1. ТЕОДОЛИТ

Теодолитом называют геодезический оптический прибор для измерения и построения на местности горизонтальных углов. Конструкции многих теодолитов позволяют измерять и вертикальные углы, но с меньшей точностью, чем горизонтальные. Различают теодолиты высокоточные, точные и технические (малой точности). Схема устройства теодолита изображена на рис. 3.1.

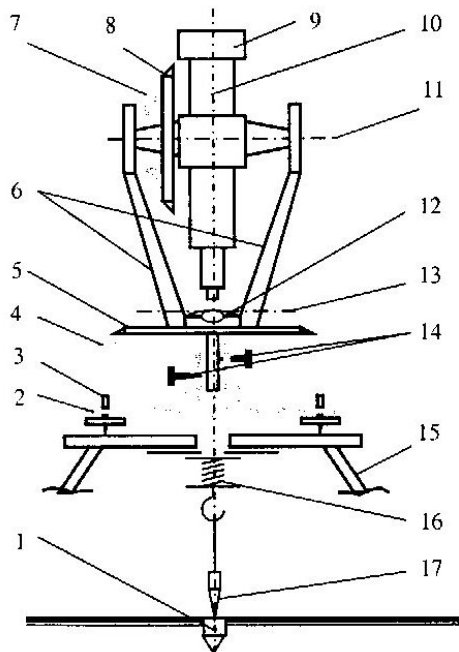


Рис. 3.1. Схема устройства и основные элементы теодолита: 1 — исходная станция (вершина угла), 2 — подставка, 3 — подъемный винт, 4 и 5 — лимб и алидада горизонтального круга, 6 — подставка трубы, 7 и 8 — вертикальный круг, 9 — зрительная труба, 10 — визирная ось трубы, 11 — ось вращения трубы, 12 — цилиндрический уровень, 13 — ось уровня, 14 — зажимные винты горизонтального круга, 15 — штатив, 16 — становой винт, 17 — нитяной отвес

Конструктивные элементы теодолита: подставка-треножник (трегер) 2 с тремя подъемными винтами, горизонтальный круг (лимб 4 и алидада 5), подставка трубы (колонки) 6, вертикальный круг (алидада 7 и лимб 8), зрительная труба 9, цилиндрический уровень 12 при горизонтальном круге. Прибор крепится к штативу 15 с помощью станowego винта 16. Для крепления частей при-

бора в нужном положении служат зажимные винты 14. В вершине измеряемого угла, над точкой стояния (станцией) 1, теодолит центрируется по отвесу 17. Точность центрирования нитяным отвесом равна 3 – 5 мм, оптическим центриром — в пределах 1 — 2 мм.

Зрительная труба 9 имеет три оси: геометрическую (ось цилиндра трубы), оптическую (линия, соединяющая оптические центры объектива и окуляра) и визирную 10 (линия, связывающая оптический центр объектива и точку пересечения нитей сетки).

Горизонтальный круг состоит из двух частей: лимба 4 и алидады 5. Лимб — это металлическое или стеклянное кольцо, по внешнему краю которого нанесены градусные и минутные деления. Деления отсчитываются по ходу часовой стрелки. Наименьшее расстояние между двумя делениями — цена деления лимба. Алидада — это концентрически связанный с лимбом круг или двойной сектор, на котором расположены отсчетные приспособления. На кожухе алидады крепится подставка 6 зрительной трубы. При измерении горизонтальных углов лимб остается неподвижным, а трубу вместе с алидадой устанавливают в заданном направлении. Подъемные винты 3 служат для установки плоскости горизонтального круга (и оси 13 цилиндрического уровня) строго горизонтально. Алидада вместе с подставкой и зрительной трубой может вращаться относительно лимба, который при необходимости также можно поворачивать. После грубого предварительного наведения и закрепления алидады теодолит точно наводят на наблюдаемую точку специальными наводящими винтами, обеспечивающими плавное его вращение.

Вертикальный круг, служащий для измерения вертикальных углов, состоит из лимба 8, наглухо соединенного со зрительной трубой, и алидады 7, жестко связанной с осью 11 вращения трубы. В рабочее положение круг часто устанавливается с помощью специального уровня или маятникового компенсатора.

3.2. ИЗМЕРЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ УГЛОВ

Отсчет направления. Отсчетом называют угол между нулевым делением лимба и указателем (нулевым штрихом) отсчетного приспособления. В теодолитах со стеклянными кругами, изготовляемыми в настоящее время, для отсчетов используют штриховые и шкаловые микроскопы или микроскопы-микрометры. В первом случае отсчет по лимбу берут «на глаз» по вертикальному штриху. Во втором, в поле зрения шкалового микроскопа, видны деления лимба и шкалы, размер которой равен одному делению лимба. Нулевой штрих этой шкалы является указателем. Отсчет состоит (рис. 3.2) из целого числа делений лимба, к которому прибавляют отсчет по шкале.

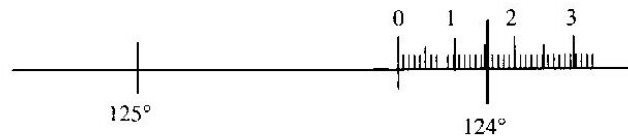


Рис. 3.2. Отсчет по шкаловому микроскопу: $O = 124^\circ + 15,4' = 124^\circ 15' 24''$

Измерение угла. Предположим, что на местности выбраны три точки A , B и C (рис. 3.3). Необходимо измерить с помощью теодолита двугранный угол, образованный в вершине A плоскостями AA_1B_1B и AA_1C_1C . То есть нужно измерить угол bAc , образующийся в результате проекции точек B и C на горизонтальную плоскость P . Теодолит устанавливается и закрепляется на штативе над точкой A . Подъемными винтами подставки плоскость горизонтального круга R устанавливают строго горизонтально по уровню. Трубу теодолита последовательно наводят на точки B и C , и берут соответствующие отсчеты b_1 и c_1 по лимбу R . Разность отсчетов даст горизонтальный угол $\beta = b_1 - c_1$.

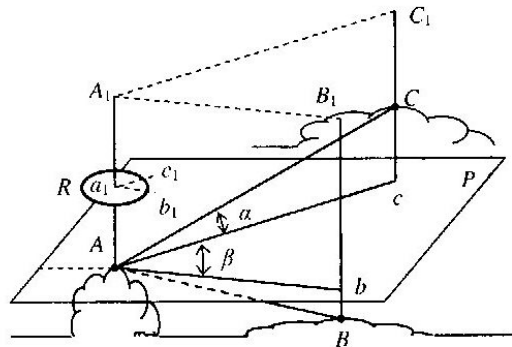


Рис. 3.3. Схема измерения горизонтального угла β

Теодолиты разных типов отличаются друг от друга точностью отсчетов, увеличением зрительной трубы, наличием или отсутствием круга для измерения вертикальных углов и другими особенностями. Теодолит с вертикальным кругом, дальномером и bussолью называется теодолитом-тахеометром.

3.3. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ УГЛОВ

Горизонт и угол наклона визирной оси. Вертикальным углом, измеряемым прибором, называют угол α наклона визирной линии теодолита относительно горизонта (см. рис. 3.3). Для измерения такого угла теодолит снабжен вертикальным кругом, состоящим из лимба и алидады (рис. 3.1). Последнюю при измерениях устанавливают в рабочее положение по уровню или с помощью маятникового компенсатора.

На рис. 3.4 показана схема круга для двух случаев положения визирной оси

зрительной трубы относительно горизонта (относительно оси уровня алидады). При этом полагают, что визирная ось AB совпадает с нулевым диаметром лимба, проходящим через точки с делениями 0 и 180° . Установочный винт алидады обозначен буквой C (рис. 3.4, а), а указатели ее нулевой линии — штрихами O_1 и O_2 (см. рис. 3.4, а и б). Линия указателей алидады может образовывать с осью уровня некоторый угол λ .

В пределах от 0 до 90° угол наклона α может иметь знак плюс, если визирная ось расположена выше горизонта, и знак минус, если ниже горизонта. Обычно этот угол равен разности отсчетов в двух положениях зрительной трубы: наклонном и горизонтальном (ранее вычисленном). Последний отсчет часто называют «местом нуля» (M_0) вертикального круга, иногда — «местом горизонта» (рис. 3.4, б).

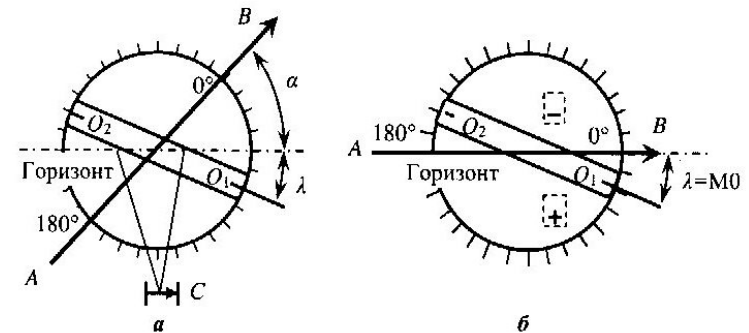


Рис. 3.4. Два положения визирной оси AB при наведении трубы на точку B местности: а — под некоторым произвольным углом ($\alpha \neq 0$), б — горизонтально ($\alpha = 0$)

Место нуля (горизонта) — это отсчет по вертикальному кругу теодолита при горизонтальном положении зрительной трубы и при условии, что пузырек уровня алидады находится посередине (в нуль-пункте). Значение M_0 определяют в результате выполнения следующих операций.

1) По уровню приводят ось вращения теодолита в отвесное положение. Наводят горизонтальную среднюю нить сетки зрительной трубы на удаленную четко видимую точку. Приводят пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину и берут отсчет, при круге право (КП), например.

2) Переводят трубу через зенит, поворачивают алидаду на 180° .

3) Наводят нить сетки трубы при круге лево на ту же точку, снова приводят пузырек уровня алидады на середину и берут отсчет (КЛ).

4) Место нуля вычисляют по формуле

$$M_0 = \frac{КП + КЛ \pm 180^\circ}{2}. \quad (3.1)$$

В числителе формулы (3.1) прибавляют или отнимают 180° по причине того, что практически удобнее величину M_0 считать положительным числом.

* Формула может быть и другой, в зависимости от характера оцифровки лимба ВК.

Измерение угла наклона. При измерениях вертикальных углов перед снятием отсчета пузырек уровня на алидаде всегда приводят в нуль-пункт. Для разных конструкций вертикальных кругов формулы для углов α неодинаковы; они так же, как и (3.1), зависят от вида оцифровки делений круга.

Поясним сказанное для теодолитов с плюсовой и минусовой оцифровкой делений. На рис. 3.5 показано два положения визирной линии на вертикальном круге при наведении зрительной трубы на некоторую точку В местности: а) при «круге лево», б) при «круге право». Сохраним условие $\lambda = M0$ при горизонтальном наведении трубы (см. рис. 3.4, б), а также обозначения КП и КЛ для отсчетов, взятых по вертикальному кругу в ходе наблюдений.

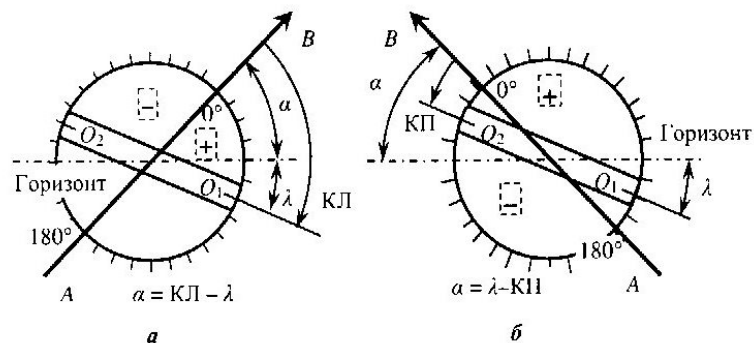


Рис. 3.5. Два положения визирной оси АВ при наведении трубы на точку В: а — при «круге лево», б — при «круге право»

Тогда для угла α :
в 1-м положении (см. рис. 3.5, а) имеем одну формулу
$$\alpha = \text{КЛ} - M0; \quad (3.2)$$

во 2-м положении (см. рис. 3.5, б) — другую формулу
$$\alpha = M0 - \text{КП} \pm 180^\circ. \quad (3.3)$$

Исключив $M0$ из (3.2) и (3.3), получим третью формулу:
$$\alpha = \frac{\text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ}{2}. \quad (3.4)$$

Пример: имеем значение $M0 = 0^\circ 05'$ и отсчеты $\text{КЛ} = 5^\circ 20'$ и $\text{КП} = -5^\circ 10'$.
Вычисления угла наклона по всем трем формулам дают одинаковый результат:
$$\alpha = 5^\circ 20' - 0^\circ 05' = 0^\circ 05' - (-5^\circ 10') = \frac{1}{2}[5^\circ 20' - (-5^\circ 10')] = +5^\circ 15'.$$

Из формулы (3.4) следует, что измерять вертикальные углы можно при любом значении $M0$. Однако для удобства вычислений желательно $M0$ привести к нулю путем изменения положения уровня на алидаде вертикального круга (у теодолитов Т-2 или Т-5) или путем смещения сетки нитей (у теодолитов не имеющих уровня при вертикальном круге). Для этого после определения угла наклона α , наводящим винтом устанавливают отсчет по вертикальному кругу, равный углу α (в рассмотренном выше примере $\text{КЛ} = \alpha = +5^\circ 15'$) и вертикаль-

ными исправительными винтами сетки совмещают ее центр с наблюдаемой точкой.

3.4. ЛОКАЛЬНЫЕ ПОВЕРОЧНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ ТЕОДОЛИТОВ*

Локальная поверочная схема (ЛПС) для теодолитов в обновленном виде утверждена в 1998 г. в составе РД 68-8.17. В качестве основной метрологической характеристики теодолитов принята средняя квадратическая погрешность (СКП) измерения горизонтального угла одним приемом — инструментальная погрешность. Погрешность же измерения вертикального угла у теодолитов в 1,2 — 1,5 раза больше погрешности измерения горизонтального угла.

Поверочная схема для теодолитов включает 5 ступеней и 5 ветвей (табл. 3.1). Возглавляет поверочную схему исходный эталон (ИЭ), в качестве которого принят *угломерный стенд*, работающий в диапазоне от 0 до 360° с СКП не более $0,3''$. Или используется *поверочная установка* для средств измерения плоского угла в соответствии с ГОСТ 8.016, включающая многогранную призму и автоколлиматор, обеспечивающие воспроизведение единицы угла с погрешностью $0,3''$.

Таблица 3.1

Структура локальной поверочной схемы для теодолитов

Ступени	Названия стендов, установок, приборов и РСИ ветвей				
Исходный эталон	Угломерный стенд, $\sigma = 0,3''$		Поверочная установка по ГОСТ 8.016, $\sigma = (2 + 5) \cdot 10^{-7}$		
	Метод прямых измерений				
РЭ 1-го разряда	Теодолиты высокоточные, $\sigma = (0,6 + 1)''$				
	Сличение на стенде	Метод прямых измерений			
Коллиматорный стенд, $\sigma \leq 2''$		Сеть микротриангуляции, $\sigma = 2''$			
Метод прямых измерений					
РЭ 2-го разряда					
РЭ 3-го разряда	Методы прямых измерений и сличения			Теодолиты точные, $\sigma = 5''$	
	Метод прямых измеp.	Сличение на стенде	Метод прямых измеp.	Сличение на стенде	
РСИ	Теодолиты высокоточные $\sigma = (0,6 + 1)''$ Ветвь 1	Теодолиты точные $\sigma = (1,5 + 3)''$ Ветвь 2	Теодолиты точные $\sigma = (5 + 10)''$ Ветвь 3	Теодолиты технические $\sigma = (15 + 30)''$ Ветвь 4	Теодолиты технические $\sigma = 1'$ Ветвь 5

В качестве РЭ 1-го разряда в ЛПС используется высокоточный теодолит с СКП измерения в пределах $(0,6 — 0,8)''$. Поверка теодолита такого типа осуществляется на поверочной установке методом прямых измерений; практически возможно осуществление поверки также и на эталонном геодезическом полигоне.

В качестве РЭ 2-го разряда в ЛПС служит коллиматорный стенд, обеспечивающий СКП контрольных углов не более $2''$, и сеть микротриангуляции, углы в которой должны быть из-

* Материал параграфа излагается по книге [15].

вестны с погрешностью не более (2 — 3)". Их поверка осуществляется методом прямых измерений с помощью высокоточного теодолита. В простейшем же случае коллиматорный стенд может быть организован объединением двух коллиматоров, образующих требуемый контрольный угол β .

Для поверки теодолитов с СКП более 15" в ЛПС задействован РЭ 3-го разряда, в качестве которого выступает точный теодолит с СКП измерений не более 5". Его поверка обеспечивается методом прямых измерений на коллиматорном стенде или в сети микротриангуляции.

В ЛПС для СИ угла широко представлены РСИ: высокоточные, точные и технические теодолиты. По месту в поверочной схеме можно выделить 5 основных ветвей теодолитов:

ветвь 1 — высокоточные с погрешностью измерений 0,6—1";

ветвь 2 — точные теодолиты с погрешностью (1,5 — 3)", которые иногда называются теодолитами повышенной точности;

ветвь 3 — точные теодолиты (средней точности) с погрешностью (5 — 10)";

ветвь 4 — технические теодолиты с погрешностью измерения в (15—30)";

ветвь 5 — технические теодолиты малой точности с погрешностью углов в 1'.

По физической природе носителей информации теодолиты подразделяются на механические (устаревшие приборы с металлическими лимбами), оптико-механические и оптико-электронные (в том числе с цифровым отсчетом). Современные теодолиты выпускаются в соответствии с ГОСТ 10529.

Основными методами поверки рабочих средств измерений в ЛПС являются метод прямых измерений, метод сличения при помощи угломерного стенда (коллиматоров, автоколлиматоров), а также метод независимой поверки (без использования эталонов). Поверка теодолитов выполняется в соответствии с ГКИНП 17-195 или разделом «Методы и средства поверки» эксплуатационной документации на конкретные типы приборов.

Межповерочные интервалы для теодолитов принимают равными 1 — 2 года; их конкретные значения для разных типов теодолитов устанавливаются метрологическими службами предприятий после согласования с территориальными органами этой службы.

3.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ* ПО ПОВЕРКЕ ТЕОДОЛИТОВ

Указания по операциям поверки

Для проведения поверки теодолитов инструкцией ГКИНП 17-195 предписывается выполнение 13 операций технологической поверки, в число которых входят: 7 основных операций, обязательных для всех типов теодолитов, и 6 дополнительных операций, специфических для отдельных их типов.

Все операции поверки теодолитов пронумерованы и именуются следующим образом:

- 1) проверка внешнего состояния и комплектности;
- 2) опробование;
- 3) проверка уровней;
- 4) проверка правильности установки сетки нитей;
- 6) определение места нуля (места зенита) вертикального круга;
- 7) проверка перпендикулярности горизонтальной и вертикальной осей;

* Указания составлены на основе инструкции ГКИНП (ГНТА) 17-195-99 и типовой программы по курсу инженерной геодезии.

8) определение максимального влияния эксцентриситета ВК (только у теодолитов с односторонней системой отсчитывания по ВК);

9) проверка правильности установки уровня на трубе (только у теодолитов с уровнем на зрительной трубе);

10) определение рена отсчетной системы горизонтального и вертикального кругов (у теодолитов с оптическим микрометром и шкаловым микроскопом);

11) определение диапазона и погрешности работы компенсатора (у теодолитов с компенсатором в отсчетной системе ВК);

12) проверка работы оптического центрира (у теодолитов с оптическим центриром);

13) контрольные измерения углов (если это предусмотрено техническим проектом на выполнение работ).

Периодичность проведения названных операций поверки должна выполняться в соответствии с требованиями Инструкции по построению ГГС и Инструкции по полигонометрии.

Понятие «поверка» употребляется в единственном числе и относится к контролю СИ в целом. Существует процедура подготовки к поверке. А сама поверка включает в себя три блока операций: проверку внешнего состояния (внешний осмотр), оценку работоспособности узлов и деталей СИ (опробование) и определение (проверку) метрологических характеристик.

Указания по проведению операций поверки

Внешний осмотр теодолитов

1) **Проверка внешнего состояния и комплектности.** Названную проверку теодолита проводят визуальным осмотром, при котором следует убедиться, что:

- маркировка прибора и футляра отвечают ГОСТ 10529—96 и ТД на поверяемый теодолит;
- прибор и футляр не имеют механических повреждений, а также следов коррозии, препятствующих или затрудняющих работу с ним;
- теодолит имеет чистые поля зрения зрительной трубы и отсчетных устройств, и обеспечивает четкие изображения визирных целей и отсчетных шкал;
- комплектность прибора соответствует комплектности, указанной в его паспорте.

Оценка работоспособности узлов и деталей СИ

2) **Опробование.** Опробованием выполняют проверку работоспособности теодолита и взаимодействия подвижных узлов теодолита. При этом должны быть проверены:

- работоспособность замков, прижимов и винтов, фиксировать прибор в футляре;
- устойчивость штатива, надежность фиксации ножек, работоспособность присоединительных приспособлений;
- работоспособность установочных приспособлений и плавность вращения всех подвижных частей;

- фиксация зеркала подсветки и поворотной призмы контактного уровня в заданном положении;
- наличие и работоспособность штатных элементов питания, электрических контактов и равномерность электроосвещения (в теодолитах с электроподсветкой);
- воспроизводимость автоколлимационного изображения при наблюдении на зеркало (в автоколлимационных теодолитах).

У теодолитов с цифровым отсчетом проверяют работоспособность табло и в случае необходимости тестируют систему выдачи информации способами, указанными в ИЭ прибора.

Определение (проверка) метрологических характеристик

Каждая поверочная операция состоит из 2 частей: а) выявления факта нарушения (соблюдения) поверяемого геометрического условия; б) исправления инструмента для устранения выявленного нарушения.

3) Проверка уровней. Для проверки перпендикулярности оси цилиндрического уровня при алидаде ГК к вертикальной оси вращения прибора необходимо установить уровень параллельно двум подъемным винтам подставки и, вращая их в противоположных направлениях, привести пузырек уровня на середину. После этого повернуть алидаду ГК на 180° вокруг вертикальной оси. Если пузырек уровня отклонится от середины, то половину отклонения следует устранить исправительными винтами уровня, а затем повторить проверку. Проверку и юстировку следует выполнять до тех пор, пока после поворота алидады на 180° пузырек уровня не будет отклоняться более чем на 0,5 деления уровня.

При наличии круглого уровня в теодолите должно выполняться следующее условие: ось круглого уровня должна быть параллельна вертикальной оси вращения теодолита. Операция его проверки осуществляется аналогичным образом.

Оригинальная поверка положения уровня по способу Г. Ф. Лысова [6, 7] выполняется в следующем порядке: теодолит, с помощью трех подъемных винтов приближенно устанавливается в рабочее положение так, чтобы плоскость лимба отклонилась от горизонта не более, чем на 2° . Затем вращают алидаду с уровнем до выхода пузырька на середину и берут отсчет по горизонтальному кругу ($36^\circ 18'$, например). Продолжают вращать алидаду до второго выхода пузырька уровня на середину и делают второй отсчет ($218^\circ 02'$, к примеру). После этого устанавливают алидаду на средний отсчет $A_0 \pm 90^\circ$. В данном примере

$$A_0 - 90^\circ = \frac{1}{2} (36^\circ 18' + 218^\circ 02') - 90^\circ = 37^\circ 10'.$$

И затем исправительными винтами уровня приводят пузырек на середину, устанавливая ось уровня перпендикулярно оси вращения прибора. Способ не требует последовательных приближений. Дальнейшее приведение оси вращения теодолита в отвесное положение выполняется ранее описанным способом.

4) Проверка правильности установки сетки нитей. Правильность установки сетки нитей трубы состоит в том, что горизонтальный штрих ее должен быть горизонтальным, а другой (ему перпендикулярный) – вертикальным. При проверке трубу наводят на четко видимую удаленную точку. Если изображение

точки при наклоне трубы, пройдя вдоль вертикального штриха, будет находиться посередине, между штрихами биссектора, то сетка установлена правильно. Если будет замечено смещение изображения точки более чем на три толщины штриха для теодолитов типа Т1, Т2, Т5 и на треть ширины биссектора для Т15 и Т30, то сетку необходимо развернуть.

Допускается также наводить на выбранную точку горизонтальный штрих сетки, смещая затем изображение точки в поле зрения наводящим винтом алидады. Вертикальность биссектора (вертикального штриха) сетки можно проверить, совмещая его с изображением нити отвеса, опущенного в ведро с маслом (машинным, трансформаторным) или с водой, смешанной с опилками.

5) Проверка перпендикулярности визирной и горизонтальной осей. Несоблюдение этого условия вызывает коллимационную погрешность C . Для проверки теодолита с двусторонней отсчетной системой по лимбу необходимо, после горизонтирования прибора, навести зрительную трубу на удаленную, отчетливо видимую цель и сделать отсчет КЛ по горизонтальному кругу. Затем перевести трубу через зенит, навести ее на ту же цель, и сделать отсчет КП. Разность отсчетов КЛ – КП должна быть равна 180° . Отклонение разности от 180° равно двойной коллимационной погрешности:

$$2C = \text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ.$$

В теодолитах (Т5, Т15, Т30) с односторонней системой отсчетов по лимбу разность отсчетов КЛ – КП искажается как влиянием коллимационной погрешности C , так и влиянием эксцентриситета алидады, величина которого может достигать ± 1 .

Определение коллимационной погрешности указанных теодолитов выполняют следующим образом. После установки теодолита в рабочее положение, визируют на одну и ту же точку при двух положениях вертикального круга и получают по горизонтальному кругу разность отсчетов $\text{КЛ}_1 - \text{КП}_1$. Затем открепляют винт подставки, поворачивают теодолит в подставке на 180° , горизонтируют прибор, вновь наводят на ту же точку при двух положениях круга и получают разность $\text{КЛ}_2 - \text{КП}_2$. Величина двойной погрешности будет равна

$$C = \frac{(\text{КЛ}_1 - \text{КП}_1 \pm 180^\circ) + (\text{КЛ}_2 - \text{КП}_2 \pm 180^\circ)}{4}.$$

6) Определение места нуля (места зенита) вертикального круга. Место нуля M_0 (зенита M_3) ВК определяют визированием на четко видимую точку при двух положениях круга и взятием отсчетов КЛ и КП по ВК. Перед взятием отсчетов приводят пузырек уровня при ВК на середину (за исключением приборов с компенсатором). Вычисление M_0 (M_3) в зависимости от системы оцифровки круга производят по формуле, указанной в ИЭ на конкретный тип теодолита.

7) **Проверка перпендикулярности горизонтальной и вертикальной осей.** Названную проверку выполняют одним из следующих способов. При наведении на горизонтально расположенную цель добиваются того, чтобы у поверяемого теодолита $C = 0$. Затем теодолит тщательно горизонтируют, наводят зрительную трубу на четкую точку, расположенную под углом не менее 15° к горизонту. Берут отсчеты КП и КЛ по ГК. Значение неперпендикулярности осей p вычисляют по формуле

$$p = 1/2 (КЛ - КП \pm 180^\circ) \operatorname{ctg} \alpha,$$

где α — угол наклона линии визирования.

Другой способ рекомендуется для теодолитов технической точности, у которых преобладающей является погрешность отсчета. Теодолит тщательно горизонтируют и наводят трубу на высоко расположенную точку ($\alpha > 20^\circ$) последовательно при двух положениях круга. После каждого наведения проецируют центр сетки нитей на шкалу линейки или штриховой меры, установленной горизонтально в 20-30 м от теодолита, примерно на уровне горизонта прибора, перпендикулярно к линии визирования. При проецировании берут отсчеты α_1 и α_2 по шкале. Значение p вычисляют по формуле

$$p = \frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2L} \rho \cdot \operatorname{ctg} \alpha,$$

где L — расстояние от прибора до шкалы, $\rho = 206265''$. Измерения выполняются четным числом приемов (2 или 4), чтобы исключить влияние качки вертикальной оси; за окончательное значение p принимают среднее из всех приемов.

У теодолитов с накладным уровнем допускается проверку неперпендикулярности осей производить по показаниям этого уровня, получаемым при различных наклонах зрительной трубы. При этом используют формулу

$$p = \tau \cdot \left(\frac{Л + П}{2} - НП \right),$$

где Л, П — отсчеты по левому и правому концам пузырька уровня; τ — цена деления уровня, НП — нуль-пункт уровня.

Допускается для проверки использовать коллиматорный стенд УК-1 с коллиматорами, расположенными на углах $\pm 50^\circ$, применяя методику, изложенную в ГОСТ 10529-96.

8) **Определение влияния эксцентриситета вертикального круга** (только у теодолитов с односторонней системой отсчитывания по ВК). Для определения максимального влияния эксцентриситета ВК выбирают линию на местности длиной не менее 300 м. На одном ее конце устанавливают поверяемый теодолит, приводят в рабочее положение и тщательно измеряют рулеткой высоту h прибора до горизонтальной оси (l) с округлением результата до 1 мм. На другом конце устанавливают рейку, вежу или марку на штативе, так чтобы точка визирования находилась на высоте h горизонтальной оси теодолита (l). Измеряют угол наклона $\alpha_{обр}$ полным приемом. Затем меняют теодолит и визирную цель

местами и измеряют угол $\alpha_{обр}$ в обратном направлении, сохранив при установке теодолита высоту h горизонтальной оси l .

Максимальное влияние эксцентриситета ВК определяют по формуле

$$\varepsilon_{ВК} = \frac{\alpha_{пр} - \alpha_{обр}}{2 \cos \alpha},$$

где α — среднее значение угла из прямых и обратных измерений. Для контроля погрешности $\varepsilon_{ВК}$ измерение повторяют и окончательно принимают среднее значение из двух приемов.

9) **Проверка правильности установки уровня на трубе** (только у теодолитов с уровнем на зрительной трубе). Данную проверку можно выполнять одним из способов, принятых для проверки угла i нивелиров (см. п. 4.5.2).

10) **Определение рена отсчетной системы горизонтального и вертикального кругов** (у теодолитов с оптическим микрометром и шкаловым микроскопом). Чтобы определить рен оптического микрометра, устанавливают на шкале последний отсчет, близкий к нулю, и приблизительно совмещают с помощью наводящего винта алидады диаметрально противоположные штрихи А и ($A + 180^\circ$) верхнего и нижнего изображений лимба. После этого по барабану оптического микрометра берут отсчеты при трех точных совмещениях штрихов:

A_1 — при совмещении штрихов А и ($A + 180^\circ$);

A_2 — при совмещении штрихов ($A - \mu$) и ($A + 180^\circ$);

A_3 — при совмещении штрихов А и ($A + 180^\circ - \mu$),

где μ — величина наименьшего деления круга.

Рен верхнего и нижнего изображений находят по формулам

$$r_v = (A_1 - A_2) \mu_0 + \mu/2 \quad \text{и} \quad r_n = (A_1 - A_3) \mu_0 + \mu/2,$$

где μ_0 — цена деления шкалы микрометра.

Далее вычисляют среднее значение рена

$$r = (r_v + r_n)/2.$$

Пример установки алидады ГК для теодолитов с делениями в $4'$, $10'$ и $20'$ и типовой пример вычислений для определения рена приведены в Инструкции ГКИНП 17-195.

Установку ВК выбирают в диапазоне $\pm 10^\circ$ относительно горизонтального положения трубы через интервал ($2^\circ + \mu$) в прямом и обратном ходе.

В теодолитах со шкаловым микрометром проверку рена следует выполнять совмещением штриха лимба с нулевым штрихом шкалы микрометра, после чего делают отсчет по шкале относительно соседнего штриха круга. Величиной рена будет разность между отсчитанным значением интервала и его номинальным значением (1°). Измерения выполняют на установках алидады, следующих через 60° . Для ВК рен определяют в диапазоне углов наклона трубы $\pm 10^\circ$ через интервал 2° .

11) **Определение диапазона и погрешности работы компенсатора** (у теодолитов с компенсатором в отсчетной системе ВК). Проверка работы компенсатора должна выполняться для теодолитов, имеющих самоустанавливающийся отсчетный индекс ВК. Для проверки выбирают какую-либо визирную

цель и устанавливают теодолит на штативе так, чтобы один из подъемных винтов подставки был расположен в направлении визирной цели. Горизонтируют прибор по уровню при алидаде ГК и производят отсчет по ВК. Действуя подъемным винтом подставки, наклоняют теодолит на угол γ (наклон задают по ВК), соответствующий диапазону работы компенсатора.

Наводят зрительную трубу на ту же точку и берут второй отсчет по ВК. Наклоняют ось вращения алидады на угол γ , но в противоположную сторону, берут третий отсчет. При нормальной работе компенсатора разность между отсчетами должна оставаться в допустимых пределах. Проверку повторяют 2-3 приемами. Среднее значение разности, отнесенное к $1'$ наклона оси, характеризует систематическую погрешность компенсации.

У электронных теодолитов проверку датчика углов наклона проводят аналогично описанию, приведенному выше, но отсчеты по ВК считывают с цифрового табло.

12) Проверка работы оптического центрира (у теодолитов с оптическим центриром). Для проверки совпадения визирной оси оптического центрира с вертикальной осью вращения теодолит устанавливают на штатив, закрепляют его станковым винтом и тщательно горизонтируют. Под штатив кладут лист бумаги с нанесенной на ней точкой или крестом.

Окуляр оптического центрира устанавливают на резкое изображение перекрестия (или кольца), а перемещением объектива добиваются резкого изображения точки, отмеченной на листе бумаги. Передвижением листа в нужном направлении добиваются совмещения точки на листе с перекрестием сетки оптического центрира.

Поворачивают дважды верхнюю часть теодолита на 120° и отмечают проекции сетки при каждом его положении на листе точки. Несовпадение полученных точек при повороте алидады теодолита характеризует точность работы и юстировки центрира.

13) Контрольные измерения углов (если это предусмотрено техническим проектом на выполнение работ). Контрольные измерения горизонтальных углов проводят с целью оценки средней квадратической погрешности горизонтального (m_β) и вертикального (m_α) угла.

Порядок определения значений m_β и m_α и формулы для вычислений — в соответствии с ГОСТ 10529-96. При измерении горизонтального угла β , выбираемого в пределах $(90 \pm 30)^\circ$, делают 6 независимых приемов на симметричных (для оптических теодолитов) или произвольных (для электронных теодолитов) установках лимба. При измерении вертикального угла α (зенитного расстояния Z) выбирают три угла в пределах $\pm 30^\circ$ ($60 \div 120^\circ$) и производят три независимых приема.

4. ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ

Высотой точки называется расстояние, отсчитываемое по направлению отвесной линии от исходной уровенной поверхности до данной точки. Численное значение высоты называют ее *отметкой*. За начальную уровенную поверхность принимают либо поверхность морей и океанов в спокойном состоянии, либо произвольную уровенную поверхность. В первом случае высоты называются *абсолютными* (ортометрическими), во втором — *относительными*. Разность высот двух точек называется *превышением*.

Высоты точек определяют физическим, геометрическим, тригонометрическим и механическим нивелированием.

4.1. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Так называют один из видов физического нивелирования, основанного на использовании свойств уровней жидкости в сообщающихся сосудах. *Гидростатический нивелир* — простейший инструмент, фиксирующий различие высотных отметок (рис. 4.1).

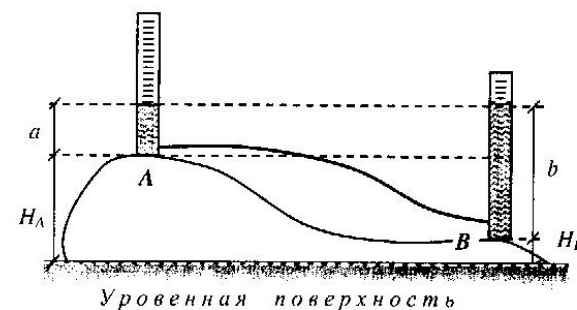


Рис. 4.1. Измерение превышения между точками A и B гидростатическим нивелиром

Простейший прибор состоит из двух или нескольких прозрачных цилиндрических сосудов (стеклянных трубок) со шкалами, соединенных между собой шлангом. Зная отметку нуля шкалы одной из трубок, можно определить по положению уровня жидкости в других трубках превышения и отметки нулей остальных трубок. В качестве жидкости часто используется кипяченая вода. Способ определения превышения одной точки над другой понятен из рисунка. Если, например, известна отметка H_B точки B, то отметка H_A точки A будет равна:

$$H_A = (H_B + b) - a. \quad (4.1)$$

4.2. ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ НИВЕЛИРОВАНИЕ

Геометрическим нивелированием называют метод, позволяющий определять превышения между точками при помощи горизонтального луча визирования. Для осуществления метода необходимы: прибор (нивелир), дающий возможность визировать в горизонтальном направлении, и рейки, устанавливаемые вертикально в заданных точках. Нивелир, наиболее часто используемый в практике (рис. 4.2), включает в себя: зрительную трубу 4, подставку 1, два уровня (цилиндрический 5, круглый 8), три подъемных винта 9, винты-шпильки 3, а также закрепительный 6, наводящий 7 и элевационный 2 винты.

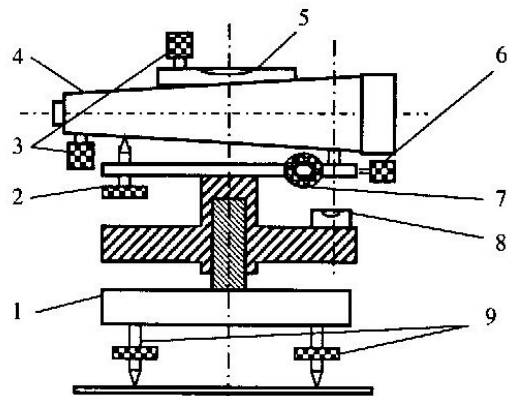


Рис. 4.2. Схема устройства и составные части нивелира: 1 — подставка, 2 — винт элевационный, 3 — винты-шпильки, 4 — зрительная труба, 5 — уровень цилиндрический, 6 — винт закрепительный, 7 — винт наводящий, 8 — уровень круглый, 9 — подъемные винты подставки

Зрительная труба 4 нивелира по конструкции очень похожа на трубу теодолита (см. п. 3.1); она крепится к подставке 1 (с тремя подъемными винтами 9). Прибор закрепляется на штативе с помощью станкового винта. Подъемные винты и элевационный винт обеспечивают установку зрительной трубы строго горизонтально по уровню. В современных нивелирах с компенсатором прибор достаточно установить лишь приблизительно по круглому уровню. Строго горизонтальное положение визирной оси зрительной трубы (при этом) устанавливается автоматически с помощью маятникового устройства — компенсатора.

На рис. 4.3 показано, как с помощью нивелира можно определить отметку выбранной точки или превышение одной точки над другой. Нивелир размещают между точками *A* и *B* (не обязательно в створе). Если в одной из этих точек, например *A*, может находиться репер, т. е. известна ее абсолютная отметка H_A , то можно определить *горизонт прибора* (ГП) — расстояние от урovenной поверхности до визирной оси прибора. С этой целью последовательно в точках *A* и *B* выставляется рейка с делениями. Трубу нивелира наводят на рейку и берут отсчеты *a* и *b* (см. рис. 4.3). Тогда

$$\text{ГП} = H_A + a.$$

Превышение точки *B* над точкой *A* составит величину

$$h = a - b.$$

Абсолютная отметка точки *B* будет равна:

$$H_B = H_A + h \quad \text{или} \quad H_B = \text{ГП} - b.$$

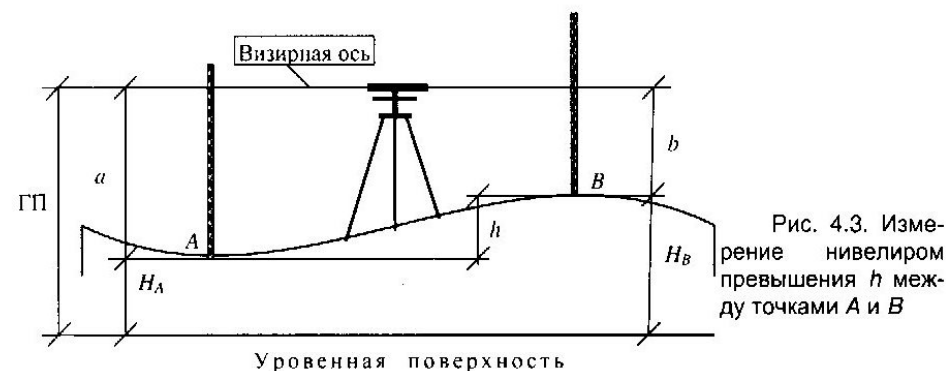


Рис. 4.3. Измерение нивелиром превышения *h* между точками *A* и *B*

4.3. НИВЕЛИРНАЯ РЕЙКА

При нивелировании используются раздвижные, складные и цельные рейки; они могут быть одно- и двухсторонними. Отсчеты по двухсторонним рейкам более надежны, чем по односторонним рейкам. Сама рейка представляет собой деревянный брусок (цельный или составной) шириной 8—10 см, толщиной 2—3 см. Длина раздвижных и складных реек 4 м, а цельных 3 м. Иногда к цельной рейке добавляется четвертый приставной метр. Цельные рейки более надежны, чем складные и раздвижные. У складной рейки две ее половинки соединяются шарнирами.

Согласно ГОСТ 10528—90 двухсторонние *рейки нивелирные* (РН) изготавливаются трех типов: РН-05, РН-3, РН-10 (см. табл. 1.2). Стандартные длины реек: двух первых типов — 4000, 3000 и 1500 мм, а третьего типа — 4000 мм. Все рейки длиной 4000 мм складные, а рейки типа РН-3 длиной 3 м изготавливаются складными и цельными.

Рейка РН-05 применяется для нивелирования I и II классов (с погрешностью 0,5 мм на 1 км хода). Рейка РН-3 — для нивелирования III и IV классов с погрешностью 3 мм на 1 км хода. Рейка РН-10 — для технического нивелирования и строительных работ с погрешностью 10 мм на 1 км хода.

Рейки, предназначенные для технического нивелирования, по высоте разделены через 1 см черными (красными) и белыми шашечными делениями. Каждый дециметр подписан цифрами, отсчеты по рейке производятся только по средней нити сетки и выражаются в миллиметрах (рис. 4.4).

На односторонних рейках черные и красные шашки, а также подписи цифр чередуются через каждый метр. На двухсторонних рейках деления одной стороны раскрашены черным цветом, другой красным. На черной стороне у пятки рейки отсчет рейки, как правило, равен нулю; на красной стороне он выражается произвольной цифрой, например: 4787 или 4687 мм. Превышения вычисляют дважды, используя отсчеты по каждой стороне реек. Два отсчета (по черной и красной стороне рейки) резко отличаются друг от друга, тем самым достигается более надежный их контроль.

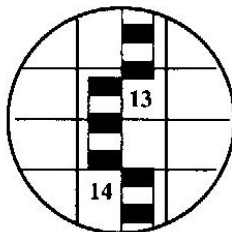


Рис. 4.4. Отсчет по рейке — 1322 мм

Некоторые типы реек снабжаются уровнями для установки их строго вертикально. При работе рейки устанавливают на забитые в землю деревянные колышки, металлические костыли или башмаки. При отсутствии уровня рейки отсчет по ней берут в момент покачивания рейки вперед и назад. Из всех видимых при этом отсчетов записывают наименьший, отвечающий вертикальному положению рейки. Однако при отсчетах, меньших 1000 мм, рейку покачивать не следует (из-за существенного влияния толщины пятки на результат измерения). К нивелирным рейкам предъявляются следующие общие требования:

- 1) деления и цифры должны быть четкими и ясно видимыми в трубу;
- 2) рейки не должны быть погнуты;
- 3) крепления складных и раздвижных реек в рабочем положении должны обеспечивать точное взаимное продолжение обеих половин рейки;
- 4) пятки реек должны иметь стальную оковку.

Кроме того, во избежание порчи рейки следует предохранять от ударов, нагружения тяжестью, длительного увлажнения, загрязнения, царапин, изгибных и иных деформаций. При переносе рейку укладывают на плечо ребром (не плашмя); во время перерыва в работе ее осторожно укладывают на ровную поверхность лицевой стороной вверх либо на ребро.

4.4. ЛОКАЛЬНЫЕ ПОВЕРОЧНЫЕ СХЕМЫ ДЛЯ НИВЕЛИРОВ

Измерения высот (превышений) относятся к линейным измерениям, выполняемым с помощью нивелиров в вертикальной плоскости, поэтому их единицей служит метр и его дольные единицы. Нивелиры выпускаются в соответствии с ГОСТ 10528. Локальная поверочная схема (ЛПС) для нивелиров всех видов и типов включена в уже упомянутый ранее руководящий документ РД 68-8.17. Структура ЛПС для нивелиров (табл. 4.1) содержит 4 ступени и три ветви, ориентированные на обслуживание нивелиров с погрешностями от 0,5 до 10 мм на 1 км двойного нивелирного хода.

Во главе ЛПС стоит исходный эталон, в качестве которого принят высотный стэнд, обеспечивающий воспроизведение единицы превышения со средней квадратической погрешностью (СКП) не более 0,2 мм. Методом прямых измерений превышений на высотном стэнде осуществляется поверка рабочего эталона 1-го разряда — высокоточного нивелира типа Н-05 или Н-05К, обеспечивающего измерение превышений с СКП не более 0,5 мм на 1 км двойного нивелирного хода. Методика работы на высотном стэнде описана в ГОСТ 10528. Поверку высокоточного нивелира можно также выполнить путем проложения замкнутого нивелирного хода так, чтобы общая длина ходов была не менее 6 — 8 км.

Таблица 4.1

Структура локальной поверочной схемы для нивелиров

Ступени	Названия стан­дов, полигона, приборов и РСИ ветвей		
Исходный эталон	Высотный стан­д, $\sigma = 0,2$ мм		
	Метод прямых измерений	Метод прямых измерений	
РЗ 1-го разряда		Высокоточный нивелир, $\sigma = 0,5$ мм	
		Метод прямых измерений	
РЗ 2-го разряда		Нивелирный полигон, $\sigma = 1,5$ мм	
	Метод прямых измерений		
РСИ	Высокоточные нивелиры, $\sigma = 0,5$ мм	Точные нивелиры, $\sigma = (2 \div 4)$ мм	Технические ниве­лиры, $\sigma = (5 \div 10)$ мм
		Ветвь 1	Ветвь 2
			Ветвь 3

В качестве рабочего эталона 2-го разряда используется нивелирный полигон с периметром $L > (6 \div 8)$ км или эталонный ход длиной 1 км, который может быть измерен n раз поверяемым прибором. Поверка нивелирного полигона производится методом прямых измерений высокоточным нивелиром с погрешностью не более 1,5 мм на 1 км двойного хода.

Рабочие средства измерений в ЛПС представлены высокоточными, точными и техническими нивелирами, инструментальные погрешности которых установлены в соответствии с ГОСТ 23543 и 10528. В настоящее время преимущественное распространение в нивелирных работах получили нивелиры с горизонтальным лучом визирования, в которых, в качестве стабилизирующих устройств визирной оси, применяются пузырьковые уровни и оптико-механические компенсаторы. В последние годы в целях автоматизации процесса считывания информации по рейке получили развитие электронные нивелиры (с цифровым отсчетом).

Среди основных методов поверки нивелиров нашли применение метод прямых измерений, а также независимая поверка с использованием замкнутых полигонов или высотного стэнда (для высокоточных нивелиров). Методика поверки нивелиров различных типов излагается в эксплуатационной документации (в разделе «Методы и средства поверки»). Условия межповерочных интервалов для нивелиров аналогичны условиям для теодолитов (см. п. 3.4).

4.5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ* ПО ПОВЕРКЕ НИВЕЛИРОВ

Операции поверки нивелиров

Инструкцией ГКИНП 17-195 предусмотрено проведение 7 операций технологической поверки нивелиров. Эти операции имеют следующие наименования: 1) проверка внешнего состояния и комплектности; 2) опробование; 3) проверку установочных уровней; 4) проверку правильности установки сетки нитей зрительной трубы; 5) определение угла i ; 6) проверка диапазона и погрешности работы компенсатора; 7) проложение контрольного хода.

При этом 5 первых операций имеют статус обязательности для проведения при поверке всех типов нивелиров (см. табл. 1.2). Операция 6 обязательна только для нивелиров с компенсатором, а операция 7 — для нивелиров, применяемых в нивелировании I, II классов (для остальных приборов — в случае, если это предусмотрено техническим проектом на выполнение нивелирных работ).

Периодичность проведения операций поверки осуществляется в соответствии с требованиями «Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов».

Проведение операций поверки

1) **Проверка внешнего состояния и комплектности нивелира.** Проверку внешнего состояния и комплектности нивелира производят осмотром. Проверяют: чистоту оптических деталей зрительной трубы; контрастность и четкость изображения нитей сетки, концов пузырька контактного уровня и отсчетной шкалы микрометра; отсутствие коррозии и дефектов на приборе, которые могут затруднить работу с прибором; комплектность нивелира, которая должна соответствовать указанной в паспорте нивелира.

2) **Опробование.** Опробованием производят проверку работоспособности нивелира и взаимодействие его подвижных узлов. Обращают внимание на: исправность всех частей нивелира; отсутствие качаний в подъемных, наводящих и закрепительных винтах; плавность вращения окуляра, головки, перемещающей фокусирующую линзу, элевационного винта и барабана оптического микрометра; исправность зеркала подсветки уровня и крепления всех подвижных частей нивелира и стопорных винтов; работоспособность котиловочных винтов, которые должны занимать среднее положение.

При проверке нивелира с компенсатором необходимо убедиться, что подвесная система компенсатора и демпфер функционируют. При проверке цифровых нивелиров контролируют работоспособность табло и программ, предусмотренных для микропроцессора.

При опробовании проверяют исправность штатива, надежность крепления винтов и гаек на штативе; убеждаются, подходит ли становой винт к нивелиру. Для этого нивелир устанавливают на штатив и приводят его в рабочее положение; наводят трубу на рейку и запоминают по ней отсчет. Затем слегка на-

жимают на головку штатива, после чего опять отсчитывают по рейке. При устойчивом штативе отсчеты по рейке и положение пузырька отличаются от первоначального в пределах точности отсчитывания. При поверке нивелира с компенсатором (при легком постукивании по штативу) отсчет по рейке не должен изменяться. Если отсчеты различаются, то следует установить и устранить причины этого явления.

3) **Проверка установочных уровней.** Проверку установочных уровней производят аналогично тому, как это изложено для теодолитов (см. п. 3.5.2).

4) **Проверка правильности установки сетки нитей.** Проверку установки сетки нитей зрительной трубы производят для того, чтобы убедиться, что вертикальная нить сетки при среднем положении пузырька уровня совпадает с отвесной линией, а ось биссектора (горизонтальная нить сетки) перпендикулярна к вертикальной оси нивелира. Проверку выполняют следующим образом. На удалении 10 — 15 м от нивелира подвешивают отвес. Приводят нивелир в рабочее положение и наводят вертикальную нить сетки на нить отвеса. Если один конец вертикальной нити сетки отклоняется от нити отвеса более чем на 0,5 мм (определяется при помощи линейки), то установку сетки нитей исправляют. После юстировки положения сетки проверку повторяют, чтобы убедиться, что вертикальная нить установлена правильно.

У нивелиров типов Н-3 и Н-10 проверку установки горизонтальной нити сетки производят таким образом. Приводят нивелир в рабочее положение, наводят краем горизонтальной нити на четко видимую цель, находящуюся на удалении около 10 м от нивелира. Медленно перемещают в горизонтальной плоскости зрительную трубу наводящим винтом и следят, не отклоняется ли горизонтальная нить с выбранной цели. При отклонениях более 2 мм выполняют юстировку сетки нитей.

5) **Определение угла i .** Для проверки правильности установки цилиндрического уровня необходимо соблюдать 2 условия: а) отвесная плоскость, проходящая через ось уровня, должна быть параллельна отвесной плоскости, проходящей через визирную ось зрительной трубы; б) проекция на отвесную плоскость угла между осью уровня и визирной осью трубы (угол i) должна быть не более установленной величины.

Примечание. У нивелиров с компенсатором угол i — это угол между горизонтальной плоскостью и визирной осью трубы.

Для проверки первого условия нивелир устанавливают в 50 м от рейки, при этом один подъемный винт подставки должен быть направлен в сторону рейки. Тщательно горизонтируют прибор, совмещая элевационным винтом концы пузырька уровня; вводят в биссектор сетки один из штрихов рейки и записывают отсчет по шкале микрометра.

Далее подъемными винтами дают боковой наклон оси прибора (примерно на два полных оборота винта), следя при этом, чтобы штрих рейки оставался в биссекторе, а отсчет по шкале микрометра не изменялся. Те же операции необ-

* Указания составлены на основе инструкции ГКИНП (ГНТА) 17-195-99 и типовой программы по курсу инженерной геодезии.

ходимо проделать при боковом наклоне оси в противоположную сторону. Если в обоих случаях концы пузырька уровня остаются в совмещенном положении или смещаются в обоих случаях идентично, установка уровня считается правильной. В противном случае должна быть выполнена юстировка уровня с помощью боковых юстировочных винтов.

Определение угла i нивелира следует проводить одним из следующих способов: а) нивелированием вперед, б) нивелированием из середины в сочетании с нивелированием вперед и в) нивелированием с различными плечами. Количество приемов измерений в любом способе — не менее трех. Значение угла i не должно превышать $10''$ для всех типов нивелиров.

а) *Способ нивелирования вперед* основан на принципе двойного нивелирования двинивелирования двзакрепленных на местности колышками (кольями) на расстоянии $50 - 60$ м (рис. 4.5). Нивелир устанавливают над одной из точек, приводят его в рабочее положение, измеряют рулеткой высоту h_1 визирной оси трубы над точкой 1 с оценкой до 1 мм и берут отсчет L_2 по рейке, установленной в точке 2. Меняют местами нивелир и рейку, повторяют описанные выше действия, получают высоту h_2 и отсчет L_1 .

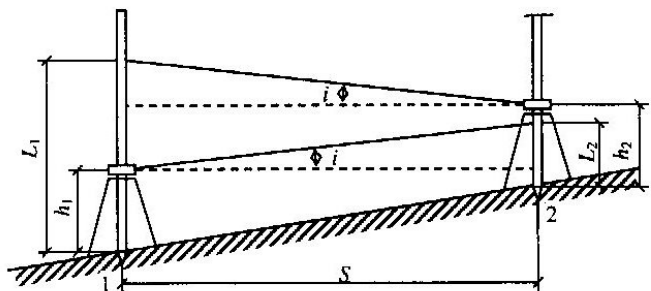


Рис. 4.5. Нивелирование вперед, по способу (а): нивелир и рейка над точками 1 и 2

Значение угла вычисляется по формуле

$$i = \frac{(h_1 + h_2) - (L_1 + L_2)}{2S} \rho,$$

где S — расстояние между точками 1 и 2.

б) Угол i по способу *нивелирования из середины* в сочетании с нивелированием вперед определяют в следующей последовательности. Линию длиной $S = 40 \div 60$ м закрепляют кольями, на которых устанавливают рейки в точках 1 и 2 (рис. 4.6). Нивелир устанавливают между точками 1 и 2 на равном расстоянии от них и приводят в рабочее положение, берут отсчеты по рейкам L_1 и L_2 . Переносят нивелир в точку, удаленную от точки 2 на $S_1 = 5 \div 10$ м и берут отсчеты L'_1 и L'_2 . Значение угла i вычисляют по формуле

$$i = \frac{(L'_1 - L'_2) - (L_1 - L_2)}{S} \rho = \frac{h' - h}{S} \rho.$$

в) В третьем способе определения угла i (нивелирования с различными плечами) закрепляют линию длиной $S = 50 \pm 10$ м и определяют превышение между ними с двух станций. Нивелир, устанавливая на расстоянии $3 - 5$ м от рейки на продолжении створа 1-2 (рис. 4.7). Производят отсчет L_1 по ближайшей рейке и, изменив фокусировку трубы, производят отсчет L_2 по дальней рейке. Сохранив фокусировку трубы, устанавливают нивелир на расстоянии $3 - 5$ м от второй рейки на продолжении створа 2-1. Производят отсчеты L'_1 по дальней рейке и L'_2 по ближней рейке. Угол i вычисляют по формуле

$$i = X\rho/S,$$

где $X = [(L'_2 + L'_1) - (L_1 + L_2)] / 2$.

Примеры определения угла i приведены в прил. 3 (см. табл. ПЗ.1, ПЗ.2 и ПЗ.3).

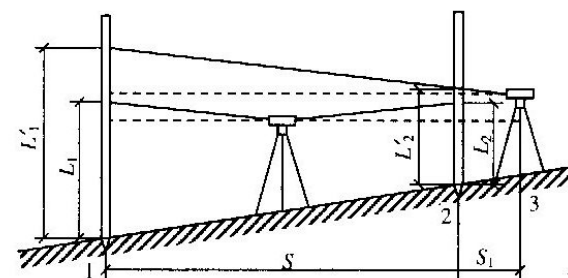


Рис. 4.6. Определение угла i по способу (б) — нивелирования из середины в сочетании с нивелированием вперед

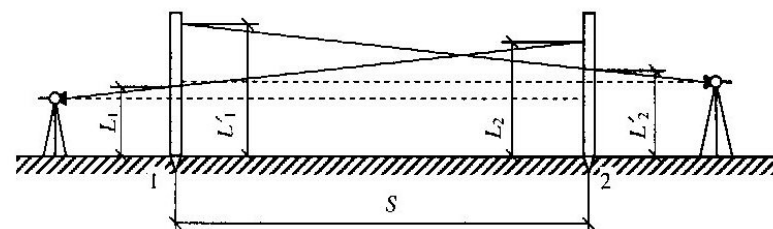


Рис. 4.7. Определение угла i по способу (в): нивелирование с разными плечами

6) Проверка диапазона и погрешности работы компенсатора нивелира.

Проверка работоспособности компенсатора должна включать: определение систематической погрешности компенсации и диапазона работы. В полевых условиях погрешность σ_k определяют следующим образом. Нивелир распола-

гают в середине створа между двумя рейками, установленными по уровню и укрепленными, с помощью рейкодержателей. Наблюдения выполняют, сериями, общее число которых должно быть не менее 2. Перед взятием отсчетов по рейкам, оси нивелира задают наклоны I-V подъемными винтами (рис. 4.8).

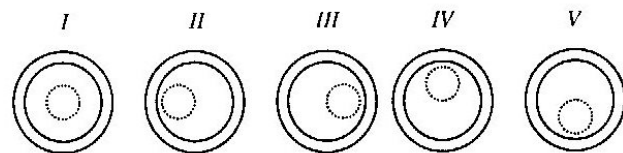


Рис. 4.8. Положения пузырька установочного уровня

В каждой серии (для каждого наклона оси) превышение определяют по основной и дополнительной шкале реек. У двухсторонних реек — по черной и красной сторонам. Перед каждой серией изменяют высоту прибора. Для высокоточных нивелиров проверку выполняют при расстояниях между рейками 10 и 50 м; для точных нивелиров — 10 и 75 м; для технических — 100 м. Систематическую погрешность компенсации σ_k на 1' наклона оси нивелира вычисляют по формуле

$$\sigma_k = \frac{h_v - h_0}{2Sv} \rho,$$

где h_v , h_0 — превышение, полученное при наклоне оси нивелира и при $v = 0$; S — расстояние между рейками.

Пример проверки качества работы компенсатора нивелира в полевых условиях приведен в прил. 4 (табл. П4.1), рекомендуемом Инструкцией ГКИНП 17-195.

7) Проложение контрольного хода. Контрольный нивелирный ход прокладывают с целью проверки работоспособности и точности измерений нивелира в целом. Рекомендуемая длина хода 1 — 1,5 км. Превышение между реперами, закрепляющими контрольный ход на местности, должны быть известны с погрешностью не более $1/3 m_h$; где m_h — допустимая средняя квадратическая погрешность нивелирования проверяемым прибором на 1 км двойного хода.

Нивелирный ход прокладывают по методике, регламентируемой «Инструкцией по нивелированию I, II, III и IV классов» для нивелиров, аналогичных по точности проверяемому. Сумма превышений в контрольном ходе $\Sigma h_{изм}$, полученная проверяемым нивелиром, должна удовлетворять условию

$$h_0 - \Sigma h_{изм} \leq 3m_h \sqrt{L},$$

где L — длина хода, км; m_h — допустимая погрешность нивелирования на 1 км двойного хода; h_0 — эталонное значение превышения. Для высокоточных нивелиров допускается проложение замкнутого хода с оценкой результата по его невязке.

4.6. УКАЗАНИЯ ПО ПОВЕРКЕ НИВЕЛИРНЫХ РЕЕК*

Операции проверки нивелирных реек

Инструкцией ГКИНП 17—195—99 предусмотрено проведение 5 операций технологической проверки нивелирных реек. Названные операции имеют следующие наименования: 1) проверки внешнего состояния и опробование; 2) проверки правильности установки уровня на рейке; 3) определения средней длины метровых интервалов; 4) определения разности высот нулей шкал; 5) определения стрелки прогиба рейки. При этом операции 1 и 3 имеют статус обязательности для проведения при проверке всех типов реек (см. табл. 1.2). Операция 2 обязательна для применения у реек с уровнем, операция 4 — у реек двухсторонних и с двумя шкалами на одной стороне, а операция 5 — только у деревянных реек. Периодичность операций проверки реек указывается в Инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов.

Проведение операций проверки реек

1) Проверка внешнего состояния и опробование. При внешнем осмотре реек обращают внимание на качество окраски штрихов и оцифровки реек, а также на равномерность и чистоту красочных покрытий. На рабочей поверхности реек не должно быть больших пятен, царапин и отслаивания краски, затрудняющих взятие отсчетов по рейке. Крепление ручек, круглого уровня и пятки реек должно быть надежным. Между корпусом и пяткой рейки не должно быть щелей. По эксплуатационной документации проверяют наличие принадлежностей в комплекте реек. При опробовании проверяют работоспособность и надежность фиксации фурнитуры складных реек.

2) Проверка правильности установки уровня на рейке. Правильность установки круглого уровня на рейке проверяют при помощи вертикальной нити сетки трубы нивелира или теодолита. Рейку устанавливают на расстоянии 30 ÷ 50 м от нивелира. Приводят вертикальную ось нивелира в отвесное положение при помощи установочного уровня и по команде наблюдателя устанавливают рейку так, чтобы ее ребро точно совпадало с вертикальной нитью сетки. Юстировочными винтами круглого уровня, установленного на рейке, приводят пузырек на середину ампулы. После этого поворачивают рейку на 90° и повторяют проверку. Во время проверки рейку следует поддерживать при помощи рейкодержателя штатива или прислонять ее к какому-либо предмету (столбу, забору).

Деревянные рейки допускается проверять по отвесу, подвешенному с помощью укрепленного на рейке кронштейна.

3) Определение средней длины метровых интервалов реек. Контрольное определение длин метровых интервалов рейки в полевых условиях производят контрольной линейкой. При исследовании деревянных реек края шашечных де-

* Методические указания составлены на основе Инструкции ГКИНП (ГНТА) 17—195—99 и типовой программы по курсу инженерной геодезии.

лений, по которым будут производить отсчитывание, отмечают тонкими штрихами при помощи стальной линейки и остро отточенного карандаша. Исследуемую рейку кладут горизонтально. Интервалы шкалы (с делениями 1 — 10, 10 — 20, 20 — 29, 48 — 57, 57 — 67 и 67 — 76) измеряют сначала в прямом, затем в обратном направлении. При обратных измерениях контрольную линейку поворачивают на 180°. Измерение состоит из двукратного отсчитывания по концам метрового интервала при помощи контрольной линейки. Сначала отсчитывают по левому концу, затем — по правому. Перед вторым измерением интервала линейку немного сдвигают.

Разности отсчетов по правому и левому концам контрольной линейки на каждом интервале не должны различаться между собой более чем на 0,10 мм. Если были получены большие расхождения, то контрольную линейку сдвигают еще раз и повторяют измерения. Грубые отсчеты вычеркивают, из оставшихся отсчетов берут среднее. Перед началом и в конце измерений каждой стороны рейки измеряют и записывают температуру контрольной линейки.

Пример определения средней длины метрового интервала деревянной рейки приведен в прил. 4 (табл. П4.2), рекомендуемом Инструкцией ГКИНП 17—195—99.

4) Определение разностей высот нулей шкал. Разность высот нулей черной и красной сторон деревянных реек или основной и дополнительной шкал инварных реек определяют следующим образом. В 20—30 м от нивелира забивают колышек (кол с гвоздем) или устанавливают нивелирный башмак. Устанавливают на него рейку и берут последовательно отсчеты по разным ее шкалам. Разность отсчетов определяет значение разности высот нулей шкал (сторон). Всего делают 3 приема, между приемами изменяют горизонт нивелира на произвольную высоту. За окончательное значение разности высот нулей принимают среднее арифметическое из 3 приемов.

5) Определение стрелки прогиба рейки. Для определения прогиба корпуса рейки, последнюю укладывают боковым ребром на ровную поверхность и между ее концами натягивают нить. Линейкой с миллиметровыми делениями измеряют расстояния a_1 , a_2 и a_3 от нити до плоскости шкалы на краях и в средней части рейки. Стрелку f прогиба корпуса рейки характеризуют значением

$$f = a_2 - (a_1 + a_3) / 2,$$

т. е. значением разности, выраженной в миллиметрах (рис. 4.9).

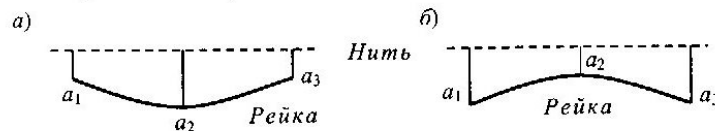


Рис. 4.9. Определение стрелки прогиба рейки

5.1. ЗАДАЧИ ТЕОРИИ И ВИДЫ ОШИБОК

Ошибки измерений — это отклонения результатов измерений от истинных или более точных значений измеренных величин. Знак ошибки устанавливается по правилу вычитания — «измеренное значение минус более точное».

Задачи теории ошибок:

- 1) Изучение законов распределения ошибок измерений.
- 2) Оценка точности результатов непосредственно выполненных измерений и функций из ряда измеренных величин.
- 3) Отыскание методов и приемов определения наиболее надежных значений, как измеряемой величины, так и характеристик ее точности.
- 4) Установление допусков, ограничивающих использование результатов наблюдений в заданных пределах точности измерений.

Точность геодезических измерений всегда увязывается с нормативными допусками на строительство и эксплуатацию возводимых объектов. Поэтому строитель должен уметь вычислять и знать не только величину допущенных ошибок, но и причину их появления.

Ошибки геодезических измерений подразделяются на 3 вида: грубые, систематические и случайные.

Грубые ошибки. Они возникают в результате явных промахов при измерениях, вычислениях или неучетом влияния внешней среды, которое не является малым. В теории данные ошибки не рассматриваются, так как их можно исключить контрольными и повторными измерениями (вычислениями).

Систематические ошибки (однобразные: односторонние или периодические). Это ошибки, вызванные каким-либо конкретным их источником: неисправностью мерного прибора, неточностью метода измерений, неполным учетом влияния внешней среды, индивидуальными свойствами наблюдателя. Действие таких ошибок стремятся, по возможности, ослабить, так как полностью устранить их влияние трудно, несмотря на многократно принятые меры. Кроме того, не все из этих ошибок и не всегда удастся выявить.

Случайные ошибки. Это неизбежные мелкие ошибки, закономерность появления каждой из которых не обнаруживается, но эта закономерность проявляется в их общей массе. Исключить случайные ошибки полностью нельзя, но можно уменьшить их вредное влияние, повышая точность или увеличивая число измерений.

Необходимая точность геодезических измерений определяется главным образом величинами случайных ошибок и только в некоторых случаях — влиянием неисключенных систематических ошибок.

5.2. СВОЙСТВА СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК

В теории ошибок под случайной истинной ошибкой Δ_i имеется в виду разность между измеренным значением случайной величины L_i и ее истинным (точным) значением X при условии исключения систематических ошибок, т. е.

$$\Delta_i = L_i - X \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n). \quad (5.1)$$

В основании теории ошибок лежат два постулата:

- 1) ошибки Δ_i подчинены (в основном) закону нормального распределения,
- 2) систематические ошибки исключаются.

Из указанных двух постулатов (в одинаковых условиях массовых измерений) вытекают следующие свойства случайных ошибок.

1) Положительные ошибки (со знаком плюс) появляются так же часто, как и отрицательные (со знаком минус).

2) Меньшие по абсолютной величине ошибки встречаются чаще больших.

3) Предел отношения суммы случайных ошибок Δ к их числу n стремится к нулю при неограниченном возрастании числа измерений:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum \Delta_i}{n} \rightarrow 0.$$

4) По абсолютной величине случайная ошибка не превосходит некоторого предела, характерного для данных условий измерения.

Из последнего свойства следует, что существует предел

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum \Delta_i^2}{n} = \sigma^2, \quad (5.2)$$

где σ^2 — есть дисперсия D ряда измерений, σ — его стандарт ($\sigma = \sqrt{D}$).

Опытным путем стандарт σ получить нельзя, так как для его определения число измерений должно быть бесконечно большим. Поэтому вместо стандарта определяют его эмпирическое значение при конечном числе измерений:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} \approx \sigma, \quad (5.3)$$

где m — средняя квадратическая ошибка (СКО) одного измерения, характеризующая среднюю точность в данном ряду измерений.

Согласно первому постулату, нормальный закон распределения ошибок Δ_i (или Δ , для краткости опуская индекс) характеризуется их плотностью вероятности

$$\varphi(\Delta) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-(h\Delta)^2}, \quad (5.4)$$

где величину $h = 1/(\sigma\sqrt{2})$ называют мерой точности. Если плотность (5.4) подобрана по экспериментальным данным, то, в соответствии (5.3), за меру точности принимают величину

$$h = 1/(m\sqrt{2}). \quad (5.5)$$

Пример 1. Вычислить ординаты кривой нормального распределения для значений $\Delta = 0, m, 2m, 3m$, если $m = 47''$. По ординатам построить кривую распределения ошибок.

Решение. Сначала вычислим меру точности и коэффициент выражения плотности

$$h = \frac{1}{m\sqrt{2}} = 1,505, \quad \frac{h}{\sqrt{\pi}} = \frac{1,505}{\sqrt{\pi}} = 0,85.$$

Результаты вычислений по формуле (5.4), которая теперь примет вид $\varphi(\Delta) = 0,85e^{-h^2\Delta^2}$, приведены в табл. 5.1. По найденным результатам построим кривую ошибок (рис. 5.1).

Таблица 5.1

Δ / m	$-h^2\Delta^2$	$e^{-h^2\Delta^2}$	$\varphi(\Delta)$
0	0	1	0,850
1	-0,5	0,607	0,516
2	-2,0	0,136	0,115
3	-4,5	0,010	0,0095

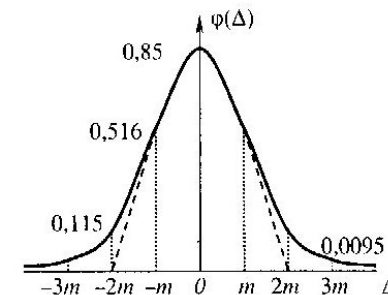


Рис. 5.1. Кривая Гаусса

Выражение (5.4) определяет кривую Гаусса (рис. 5.1) — нормального распределения ошибок измерений. Касательные к кривой в точке перегиба отсекают на оси абсцисс отрезки $\Delta = \pm 2m$. Площадь, ограниченная этой кривой и осью абсцисс равна единице. А часть названной площади, ограниченная ординатами $\pm m$, равна вероятности $P = 0,682$, т. е. с этой долей вероятности случайная ошибка не превзойдет величины стандарта $\sigma \approx m$.

5.3. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

Средняя квадратическая ошибка (5.3) одного измерения

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \dots + \Delta_n^2}{n}} \quad (5.6)$$

играет роль основного критерия для оценки точности измерений. Надежность этого критерия зависит как от числа n измерений, так и от того, что сам критерий тоже безошибочен. Установлено, что СКО самих средних квадратических ошибок можно вычислить по приближенной формуле

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

Например, при $m = 8$ $m_m = 0,25m$.

Исходя из данного результата для надежной оценки точности принято счи-

тать, что выдерживается условие $n \geq 8$. При этом в теоретических расчетах с вероятностью $P = 0,977$ допускается, что случайная ошибка в данном ряду измерений не превышает величины $\Delta_{\max} = 3\sigma \approx 3m$, а в обычных расчетах при условии $n < 8$ с вероятностью $P = 0,95$ — величины $\Delta_{\max} = 2\sigma = 2m$.

В обоих случаях приходится сознательно идти на определенный риск. Но, учитывая огромный опыт обработки результатов измерений, в геодезии считается вполне оправданным в качестве доверительной вероятности принимать значения 0,977 и 0,95. Поэтому за предельное значение погрешности измерений принимают соответственно величины:

$$\Delta_{\text{пред}} = 3m \quad \text{либо} \quad \Delta_{\text{пред}} = 2m. \quad (5.7)$$

Например, если фактическое значение параметров измерения близко к их нормативному номиналу, то большой точности измерений не требуется. Если же разность фактического и номинального значений параметра близка к нормативному допуску на их отклонение, то точность измерений должна быть выше.

Для оценки точности измерений в геодезии кроме СКО используют и другие критерии. К ним относятся средняя и вероятная ошибки измерений.

Средняя ошибка — это среднее арифметическое из абсолютных значений случайных ошибок, т. е.

$$\theta = \frac{\sum |\Delta_i|}{n} = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|}{n}. \quad (5.8)$$

При нормальном распределении ошибок измерений $\theta \approx 0,8m$.

Вероятной (или срединной) ошибкой r называется такое значение случайной ошибки, больше или меньше которого ошибки по их модулю равновозможны. Поэтому вероятная ошибка имеет вероятность $P = 0,5$ и при нормальном законе распределении ошибок $r \approx 0,7m$.

Если погрешность измерений зависит от размеров измеряемой величины, то для оценки точности измерений применяют понятие относительной ошибки, равной отношению абсолютной величины ошибки m к измеренной величине L и выраженной в виде простой дроби с числителем, равным единице:

$$\frac{m}{L} = \frac{1}{L/m} = \frac{1}{N}, \quad \text{где} \quad N = L/m. \quad (5.9)$$

Например, $\frac{\Delta}{X} \approx \frac{\Delta}{L} = \frac{1}{N_1}$ — случайная относительная ошибка, $\frac{m}{X} \approx \frac{m}{L} = \frac{1}{N_3}$ —

относительная средняя квадратическая ошибка, $\frac{\Delta_{\max}}{X} \approx \frac{\Delta_{\text{пред}}}{L} = \frac{1}{N_2}$ — относи-

тельная предельная ошибка, $\frac{\theta}{X} \approx \frac{\theta}{L} = \frac{1}{N_4}$ — относительная средняя ошибка,

Пример 2. Пусть некоторое расстояние $X = 120,30$ м измерено мерной лентой 5 раз. Исходные данные см. в табл. 5.2. Требуется дать оценку точности одного измерения.

Решение. Сначала вычислим две суммы от заданных измерений при $n = 5$:

$$\sum |\Delta_i| = 2 + 1 + 4 + 2 + 3 = 12, \quad \sum \Delta_i^2 = 4 + 1 + 16 + 4 + 9 = 34.$$

Таблица 5.2

i	L_i , м	$\Delta_i = L_i - X$, см	$ \Delta_i $, см	Δ_i^2 , см ²
1	120,28	-2	2	4
2	120,31	+1	1	1
3	120,34	+4	4	16
4	120,28	-2	2	4
5	120,33	+3	3	9

Затем найдем СКО, $\Delta_{\text{пред}}$ и СКО от m :

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}} = \sqrt{\frac{34}{5}} = 2,61 \text{ см}, \quad \Delta_{\text{пред}} = 2m = 2 \cdot 2,61 = 5,2 \text{ см}, \quad m_m \approx \frac{m}{\sqrt{2n}} = \frac{2,61}{\sqrt{2 \cdot 5}} = 0,8 \text{ см}.$$

Средняя, вероятная и относительная средняя квадратическая ошибки:

$$\theta = \frac{\sum |\Delta_i|}{n} = \frac{12}{5} = 2,4 \text{ см}, \quad r = 0,7m = 0,7 \cdot 2,61 = 1,8 \text{ см}, \quad \frac{m}{X} = \frac{2,61}{12030} = \frac{1}{4609}.$$

Если истинное значение X неизвестно, то наиболее надежно вычислять среднее арифметическое измеренных величин L_i :

$$L = \frac{\sum L_i}{n}. \quad (5.10)$$

Отклонения δ отдельных результатов измерений от среднего арифметического

$$\delta_i = L_i - L. \quad (5.11)$$

По этим отклонениям также можно определить СКО по формуле Бесселя

$$m = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} \quad (5.12)$$

с погрешностью

$$m_m = \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}}. \quad (5.13)$$

Средняя ошибка θ по отклонениям δ_i вычисляется по формуле Петерса

$$\theta = \frac{\sum |\delta_i|}{n-0,5}. \quad (5.14)$$

Пример 3. По данным примера 2 найти наиболее надежное значение L из 5 равно- точных измерений L_i и по величине L выполнить оценку точности этих измерений.

Решение. Исходные данные представлены в двух первых столбцах табл. 5.3. Вычисленные отклонения (5.10), их модули и квадраты — в столбцах 3, 4 и 5. Суммы L , δ , $|\delta_i|$ и δ_i^2 — в нижней строке таблицы, соответственно. Среднее арифметическое при $n = 5$:

$$L = \sum L_i / n = 601,54 / 5 = 120,31 \text{ см}.$$

Вычислим СКО, $\Delta_{\text{пред}}$ и погрешность от m :

$$m = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{31}{5}} = 2,8 \text{ см}, \quad \Delta_{\text{пред}} = 2m = 5,6 \text{ см}, \quad m_m \approx \frac{m}{\sqrt{2(n-1)}} = \frac{2,8}{\sqrt{2(5-1)}} = 0,9 \text{ см}.$$

Таблица 5.3

i	L_i , м	$\delta_i = L_i - L$, см	$ \delta_i $, см	δ_i^2 , см ²
1	2	3	4	5
1	120,28	-3	3	9
2	120,31	0	0	0
3	120,34	+3	3	9
4	120,28	-3	3	9
5	120,33	+2	2	4
Сумма, Σ	601,54	-1	11	31

Средняя и относительная ошибки:

$$\theta = \frac{\Sigma |\delta_i|}{n - 0,5} = \frac{11}{5 - 0,5} = 2,44 \text{ см}, \quad \frac{m}{L} = \frac{2,8}{12030} = \frac{1}{4297}.$$

Сравнительный анализ результата расчетов в примерах 2 и 3 свидетельствует о том, что погрешности измерений в обоих случаях практически одинаковы, но во 2-м случае они несколько выше, чем в первом.

5.4. ОШИБКИ ФУНКЦИЙ ИЗМЕРЕННЫХ ВЕЛИЧИН

Часто приходится оценивать точность функций измеренных величин: их суммы, разности, произведения и др. Предположим, что искомую величину

$$F = f(x, y, \dots, t, z) \quad (5.15)$$

находят как функцию ряда независимо измеренных величин, содержащих случайные ошибки Δx , Δy , ..., Δt , Δz . В теории ошибок измерений [10, 11] дается вывод *основного уравнения* для средней квадратической ошибки функции F :

$$m_F^2 = \frac{\Sigma \Delta F^2}{n} = \left(\frac{\partial F}{\partial x} \right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial y} \right)^2 m_y^2 + \dots + \left(\frac{\partial F}{\partial z} \right)^2 m_z^2, \quad (5.16)$$

где $m_x, m_y, \dots, m_z$ — средние квадратические ошибки измерений составляющих элементов; $\frac{\partial F}{\partial x}, \frac{\partial F}{\partial y}, \dots, \frac{\partial F}{\partial z}$ — частные производные от функции F по аргументам $x, y, \dots, t, z$.

Пример 4. Найти СКО арифметического среднего $L = \frac{\Sigma L_i}{n} = \frac{L_1}{n} + \frac{L_2}{n} + \dots + \frac{L_n}{n}$ из ряда равнооточных измерений.

Решение. Сначала, согласно (5.16), найдем частные производные от функции L :

$$\frac{\partial L}{\partial L_1} = \frac{\partial L}{\partial L_2} = \dots = \frac{\partial L}{\partial L_n} = \frac{1}{n}.$$

Поэтому

$$m_L^2 = \left(\frac{1}{n} \right)^2 m_1^2 + \left(\frac{1}{n} \right)^2 m_2^2 + \dots + \left(\frac{1}{n} \right)^2 m_n^2.$$

Для равнооточных измерений $m_1^2 = m_2^2 = \dots = m_n^2 = m^2$, следовательно:

$$m_L^2 = \frac{1}{n^2} n \cdot m^2 = \frac{m^2}{n} \quad \text{и} \quad m_L = \frac{m}{\sqrt{n}}. \quad (5.17)$$

Таким образом, СКО среднего арифметического в $\sqrt{n}$ раз меньше СКО одного измерения.

Пример 5. Площадь прямоугольника определяется как функция произведения $S = ab$ по измеренным сторонам $a = 100$ м и $b = 20$ м. Найти ошибку измерения площади при известных погрешностях измерения сторон: $m_a = m_b = 0,05$ м.

Решение. Частные производные $\partial S / \partial a = b$ и $\partial S / \partial b = a$. Согласно (5.16) имеем:

$$m_S^2 = b^2 m_a^2 + a^2 m_b^2 = 20^2 \cdot 0,05^2 + 100^2 \cdot 0,05^2 = 26 \text{ м}^4.$$

Ошибка измерения площади $m_S = \sqrt{26} = 5,1 \text{ м}^2$. Тогда $S = 2000 \pm 5,1 \text{ м}^2$.

Обратная задача ставится в тех случаях, когда при заданной допустимой ошибке m_F функции F ряда n независимо измеренных величин требуется определить необходимую точность их измерения. Если исходить из принципа равного влияния ошибок непосредственных измерений на погрешность функции, то СКО составляющих элементов должны быть равны:

$$m_x = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{m_F}{\left| \frac{\partial F}{\partial x} \right|}, \quad m_y = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{m_F}{\left| \frac{\partial F}{\partial y} \right|}, \quad \dots, \quad m_z = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{m_F}{\left| \frac{\partial F}{\partial z} \right|}, \quad (5.18)$$

где n — число аргументов функции.

Пример 6. В примере 5 измерения сторон прямоугольника не равноточные, так как их относительные ошибки равны соответственно:

$$m_a/a = 0,05/100 = 1/2000 \quad \text{и} \quad m_b/b = 0,05/20 = 1/400.$$

Требуется решить обратную задачу и найти, по принципу равных влияний ($n = 2$), допустимые ошибки m_a и m_b , если считать заданной ошибкой $m_S = 4 \text{ м}^2$.

Решение. Согласно (5.18) имеем:

$$m_a = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{m_S}{\left| \frac{\partial S}{\partial a} \right|} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4}{20} = 0,14 \text{ м}, \quad m_b = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{m_S}{\left| \frac{\partial S}{\partial b} \right|} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{4}{100} = 0,029.$$

Тогда

$$m_S^2 = b^2 m_a^2 + a^2 m_b^2 = 20^2 \cdot 0,14^2 + 100^2 \cdot 0,029^2 = 15,84 \text{ м}^4, \quad m_S = \sqrt{15,84} = 3,99 \text{ м}^2,$$

$$m_a/a = 0,14/100 \approx 1/700, \quad m_b/b = 0,029/20 = 1/700,$$

что и следовало ожидать.

Рассмотрим еще четыре примера на вычисление ошибок функций.

Пример 7. Превышение при геометрическом нивелировании определяется по рейкам разностью отсчетов: $h = a - b$. Найти выражение для вычисления ошибок превышений.

Решение. Найдем частные производные от функции h : $\partial h / \partial a = 1$, $\partial h / \partial b = -1$.

После чего, согласно (5.16), имеем формулу: $m_h^2 = m_a^2 + m_b^2$.

Пример 8. Найти среднюю квадратическую ошибку суммы $B = \beta_1 + \beta_2 + \dots + \beta_n$ равнооточных измеренных углов β_i .

Решение. Частные производные от функции суммы по ее аргументам равны:

$$\partial B / \partial \beta_1 = \partial B / \partial \beta_2 = \dots = \partial B / \partial \beta_n = 1.$$

Кроме того, при равнооточных измерениях ошибки аргументов равны между собой, т. е.

$$m_{\beta 1} = m_{\beta 2} = \dots = m_{\beta n} = m.$$

Следовательно, согласно (5.16), $m_B^2 = nm^2$ и СКО равна $m_B = m\sqrt{n}$.

Предельная ошибка (с вероятностью $P = 0,95$) в сумме измеренных углов

$$\Delta_{пред} = 2m_B = 2m\sqrt{n}. \quad (5.19)$$

Именно по этой формуле подсчитывается допустимая невязка в углах теодолитного хода.

Пример 9. При определении горизонтальной проекции наклонного расстояния L угол β измерен эклиметром: $L = 100$ м, $m_L = 0,05$ м, $\beta = 30^\circ$, $m_\beta = 0,5^\circ$. Требуется определить СКО проекции, выражаемой функцией $L_0 = L \cos \beta$.

Решение. Частные производные от функции L_0 равны:

$$\partial L_0 / \partial L = \cos \beta, \quad \partial L_0 / \partial \beta = -L \sin \beta.$$

Поэтому $m_{L_0}^2 = m_L^2 \cos^2 \beta + m_\beta^2 L^2 \sin^2 \beta$. В этом равенстве ошибка измерения угла выражается в радианной мере. Имеем:

$$m_{L_0}^2 = 0,05^2 \cos^2 30^\circ + \left(\frac{0,5}{57,3}\right)^2 100^2 \sin^2 30^\circ = 0,1922 \text{ м}^2 \text{ и } m_{L_0} \approx 0,44 \text{ м}.$$

Здесь низкая точность (0,44 м) является следствием большой погрешности $m_\beta = 0,5^\circ$, допущенной при измерении угла наклона.

Пример 10. Рассчитать по принципу равных влияний (4.18) допустимые ошибки измерения линии L и угла β (в примере 9) при заданной точности $m_{L_0} = 0,10$ м ($n = 2$).

Решение. В соответствии с (5.18) для СКО аргументов функции L_0 имеем:

$$m_L = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{m_{L_0}}{\cos \beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{0,10}{\sqrt{3}/2} = 0,08 \text{ м}, \quad m_\beta = \frac{1}{\sqrt{n}} \frac{m_{L_0}}{L \sin \beta} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{0,10}{100 \cdot 0,5} = 0,01414 \text{ рад} = 4,86'.$$

5.5 ОБРАБОТКА НЕРАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Результаты измерений, выполненных в различных условиях (разными по точности приборами или приемами), называются *неравноточными*. Степень надежности таких результатов неодинакова, и приходится учитывать их вес.

Весом измерения называют число, характеризующее точность одного результата по отношению к другим результатам измерения. Если, например, измерения одной и той же величины отличаются только числом измерений, то за вес отдельного результата можно принять число измерений.

Среднее арифметическое из результатов неравноточных измерений называют *общей арифметической серединой* или *весовым средним* L , значение которого вычисляется по следующей формуле:

$$L = \frac{p_1 L_1 + p_2 L_2 + \dots + p_n L_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum p_i L_i}{\sum p_i}, \quad (5.20)$$

где p_i и L_i — веса и результаты измерений, $i = 1, 2, \dots, n$.

Установлено, что вес измерения обратно пропорционален квадрату соответствующей СКО, т. е.

$$p_i = c / m_i^2, \quad (5.21)$$

где c — коэффициент пропорциональности. А вес p_L общей арифметической середины L равен сумме весов составляющих измерений (L_i):

$$p_L = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum p_i. \quad (5.22)$$

При неравноточных измерениях вместо ошибки m (одного измерения) определяют СКО μ измерения, вес которого равен единице, т. е. находят *ошибку единицы веса*. Так, если дан ряд измерений L_i с ошибками Δ_i и весами p_i , то ошибку единицы веса можно вычислять по формуле

$$\mu = \sqrt{\sum p_i \Delta_i^2 / n}, \quad (5.23)$$

где n — число групп измерений.

Ошибку единицы веса можно получить и по отклонениям δ_i от весового среднего, если воспользоваться видоизмененной формулой Бесселя:

$$\mu = \sqrt{\sum p_i \delta_i^2 / (n-1)}. \quad (5.24)$$

Средняя квадратическая ошибка m_L общей арифметической середины L вычисляется по формуле

$$m_L = \frac{\mu}{\sqrt{p_L}} = \frac{\mu}{\sqrt{(n-1) \sum p_i}}, \quad (5.25)$$

где p_L и μ — величины, определяемые выражениями (5.22) и (5.24).

Для упрощения расчетов при вычислении *весового среднего* L по формуле (5.20) можно сначала взять его приближенное значение L_0 , близкое к результатам измерения L_i , и вычислить отклонения $\varepsilon_i = L_i - L_0$. Тогда искомый результат будет равен:

$$L = L_0 + \frac{\sum p_i \varepsilon_i}{\sum p_i}. \quad (5.26)$$

Пример 11. По исходным данным, представленным в колонках 1, 2 и 3 табл. 5.4, вычислить общую арифметическую середину и ее среднюю квадратическую ошибку.

Таблица 5.4

i	L_i , м	Вес, p_i	$\varepsilon_i = L_i - L_0$, см	$\delta_i = L_i - L$, см	$p \delta_i^2$, см ²
1	2	3	4	5	6
1	134,68	2	0,08	+ 3	18
2	134,63	3	0,03	- 2	12
3	134,64	4	0,04	- 1	4
4	134,65	7	0,05	0	0
5	134,66	5	0,06	+ 1	5

Решение. Для упрощения выкладок возьмем $L_0 = 134,60$ м и вычислим ε_i (колонка 4, табл. 4.4). Тогда общая арифметическая середина, согласно (5.26), будет равна:

$$L = L_0 + \frac{\sum p_i \varepsilon_i}{\sum p_i} = 134,60 + \frac{2 \cdot 0,08 + 3 \cdot 0,03 + 4 \cdot 0,04 + 7 \cdot 0,05 + 5 \cdot 0,06}{2 + 3 + 4 + 7 + 5} = 134,65 \text{ м}.$$

По заданным p_i и вычисленным $p \delta_i^2$ значениям (в колонках 3, 5 и 6) найдем их суммы:

$$p_L = \sum p_i = 2 + 3 + 4 + 7 + 5 = 21, \quad \sum p_i \delta_i^2 = 18 + 12 + 4 + 0 + 5 = 39 \text{ см}^2.$$

Ошибка единицы веса и СКО общей арифметической середины соответственно равны:

Таблица 5.5

i	L, м	L', м	k _i	p _i	d _i , см	p _i d _i , см	δ _i , см	p _i δ _i , см	p _i δ _i ² , см ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	124,75	121,82	6,09	0,821	-7	-5,75	-1,19	-0,977	1,163
2	63,12	63,18	3,16	1,582	-6	-9,49	-0,19	-0,301	0,0571
3	82,80	82,75	4,14	1,208	+5	6,04	+10,81	+13,06	141,1
4	161,60	161,80	8,08	0,619	-20	-12,38	-14,19	-8,78	124,6
5	212,40	212,52	10,62	0,471	-12	-5,65	-6,19	-2,92	18,0
Σ				4,70	-40	-27,3		0,08 ≈ 0	285

Результаты вычисления уклонений $\delta_i = d_i - d_0$, произведений $p_i \delta_i$ и $p_i \delta_i^2$ представлены в колонках 8, 9 и 10 соответственно (см. табл. 5.5). Ошибка единицы веса будет равна:

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p_i \delta_i^2}{2(n-1)}} = \sqrt{\frac{285}{2(5-1)}} = 6,0 \text{ см.}$$

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p_i \delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{39}{5-1}} = \pm 3,1 \text{ см,} \quad m_L = \frac{\mu}{\sqrt{p_L}} = \frac{\pm 3,1}{\sqrt{21}} \approx \pm 0,7 \text{ см.}$$

$$\text{Относительная СКО} \quad \frac{m_L}{L} = \frac{0,007}{134,65} = \frac{1}{19900}.$$

5.6. ОБРАБОТКА ДВОЙНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В практике геодезических измерений для определения искомых величин часто делаются двойные измерения (линий, углов, превышений). Если имеются двойные измерения из n величин и получены результаты L_i и L'_i , то разности

$$d_i = L_i - L'_i$$

рассматриваются как их действительные ошибки. СКО разности двойного равнооточного измерения вычисляется по формуле

$$m_d = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n}}. \quad (5.27)$$

Если же измерения неравнооточные, то по формуле

$$m_d = \sqrt{\frac{\sum p_i d_i^2}{n}}. \quad (5.28)$$

СКО одного измерения и ошибка единицы веса этих рядов находятся как

$$m = \frac{m_d}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{2n}} \quad \text{и} \quad \mu = \sqrt{\frac{\sum p_i d_i^2}{2n}}. \quad (5.29)$$

Если в разностях d_i преобладают члены с одним знаком (плюс или минус), это свидетельствует о наличии систематической ошибки, которую следует исключить. С этой целью вычисляют среднюю разность

$$d_0 = \frac{\sum d_i}{n} \quad (\text{или} \quad d_0 = \frac{\sum p_i d_i}{\sum p_i})$$

и находят уклонения $\delta_i = d_i - d_0$ от этого среднего d_0 . По полученным уклонениям вычисляются СКО одного измерения или ошибки единицы веса:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{2(n-1)}} \quad \text{или} \quad \mu = \sqrt{\frac{\sum p_i \delta_i^2}{2(n-1)}} \quad (5.30)$$

для равнооточных или неравнооточных измерений соответственно.

Пример 12. Оценить точность одного измерения 100-метрового отрезка теодолитного хода ($n = 5$), измеряемого 20-метровой мерной лентой. Исходные данные двойного измерения представлены в колонках 1, 2 и 3 табл. 5.5.

Решение. В качестве веса примем величину $p_i = n/k$, где $n = 5$, а $k = L/20$ — число уложений ленты в измеряемом отрезке (колонки 4 и 5, табл. 5.5). Значения разностей $d_i = L_i - L'_i$ и произведений $p_i d_i$ приведены в колонках 6 и 7. Вычислим среднюю разность:

$$d_0 = \frac{\sum p_i d_i}{\sum p_i} = \frac{-27,3}{4,70} = -5,81 \text{ см.}$$

1. ГКИНП (ГНТА) 17—195—99. Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. — М.: ЦНИИГАиК, 1999. — 54 с.
2. ГОСТ 8.016 — 81. ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерения плоского угла.
3. ГОСТ 8.050 — 73. ГСИ. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений.
4. ГОСТ 8.061 — 80. ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.
5. ГОСТ 10528 — 90. Нивелиры. Общие технические условия.
6. ГОСТ 10529 — 96. Теодолиты. Общие технические условия.
7. ГОСТ 19223 — 90. Светодальномеры. Общие технические требования.
8. ГОСТ 21830 — 76. Приборы геодезические. Термины и определения.
9. ГОСТ 23543 — 88. Приборы геодезические. Общие технические условия.
10. МИ 1780 — 87. ГСИ. Ленты образцовые и рулетки металлические измерительные. Методика поверки.
11. МИ 2247 — 93. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.
12. ОСТ 68—15—01. Измерения геодезических. Термины и определения.
13. РД 68—8.17—98. Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения.
14. РТМ 68—8.21 — 94. Определение приборной поправки светодальномера способом «во всех комбинациях».

1. **Абрамов В. П.** Лекции по инженерной геодезии (с фрагментами методического комплекса): учеб. пособие / В. П. Абрамов ; под ред. О. С. Разумова. — Тула, 2005. — 246 с.
2. Инженерная геодезия в строительстве : учеб. пособие для строит. спец. вузов / О. С. Разумов, В. Г. Ладонников, Н. В. Ангелова [и др.] — М. : Высш. шк., 1984. — 216 с.
3. **Левчук Г. П.** Курс инженерной геодезии: Основные виды инженерно-геодезических работ. Геодезические работы при изысканиях и строительстве транспортных и промышленных сооружений / Г. П. Левчук. — М. : Недра, 1970. — 408 с.
4. Линейные измерения : метод. указания для студентов строительного факультета / Мордов. ун-т ; сост.: Н. П. Белоус, В. Ф. Манухов. — Саранск, 1985. — 36 с.
5. **Лысов Г. Ф.** Геодезические работы на строительной площадке: справ. пособие / Г. Ф. Лысов. — М. : Недра, 1988. — 96 с.
6. **Лысов Г. Ф.** Поверки и исследования теодолитов и нивелиров в полевых условиях / Г. Ф. Лысов. — М. : Недра, 1978. — 96 с.
7. **Манухов В. Ф.** Глоссарий геодезических терминов / В. Ф. Манухов, А. С. Тюряхин. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2005. — 44 с.
8. Поверки теодолита и нивелира : метод. указания по курсу "Инженерная геодезия" / сост. В. Ф. Манухов. — Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2004. — 16 с.
9. Политехнический словарь. — М. : Сов. энцикл., 1977. — 608 с.
10. **Разумов О. С.** Топография и инженерная геодезия : курс лекций / Мордов. ун-т ; О. С. Разумов. — Саранск, 1990. — 116 с.
11. **Разумов О. С.** Математическая обработка геодезических измерений и земельно-кадастровой информации : учеб. пособие / О. С. Разумов, Е. А. Устинова. — Тула : Изд-во ТулГУ, 2005. — 124 с.
12. **Серапинас Б. Б.** Глобальные системы позиционирования / Б. Б. Серапинас. — М. : ИКПИАС. — М. : ИК2. — 106 с.
13. **Сироткин М. П.** Справочник по геодезии для строителей / М. П. Сироткин. — М. : Недра, 1975. — 376 с.
14. Советский энциклопедический словарь. — М. : Сов. энцикл., 1983. — 1600 с.
15. **Спиридонов А. Н.** Основы геодезической метрологии / А. Н. Спиридонов. — М. : Картгеоцентр — Геодезиздат, 2003. — 248 с.
16. Справочник геодезиста : в 2 кн. / В. Д. Большаков, Г. П. Левчук, Г. В. Багратуни [и др.]. — 2-е изд. — М. : Недра, 1975. — 1056 с.
17. Справочник по геодезическим работам в строительном производстве / С. П. Войтенко, Г. М. Литвин, Ю. В. Полишук [и др.] ; под ред. Ю. В. Полишука. — М. : Недра, 1990. — 336 с.
18. Справочник по инженерной геодезии / под общ. ред. Н. Г. Видуева. — Киев : Вища шк., 1978. — 376 с.
19. Справочное пособие для работников метрологической службы в топографо-геодезическом производстве / ЦНИИГАиК. — М., 1991. — 192 с.
20. Топографо-геодезические термины : справочник / Б. С. Кузьмин, Ф. Я. Герасимов, В. М. Молоканов [и др.]. — М. : Недра, 1989. — 261 с.

СЛОВАРЬ-СПРАВОЧНИК

терминов по основам инженерной геодезии и геодезической метрологии

Словарь-справочник (далее — Словарь) включает в себя 495 статей и 63 аббревиатуры латинских сокращений, расположенных в алфавитном порядке. Статьи словаря содержат краткие определения терминов, значительная часть которых более полно раскрывается в разделах 1 — 5 пособия. Основная цель Словаря — не только дать широкому кругу лиц (студентам, преподавателям и работникам, занятым в геодезическом производстве) краткие сведения по наиболее употребительным понятиям и терминам, но и отразить сведения о тенденциях развития новых систем геодезических измерений.

Названия статей даны жирным **ПРОПИСНЫМ** шрифтом. Если название статьи — термин, имеющий синоним, то последний приводится после основного жирным строчным шрифтом (**ГОРИЗОНТАЛИ**, **изогипсы**) и выносятся в алфавит в качестве отдельной ссылочной статьи (**ИЗОГИПСЫ** — то же, что *Горизонталы*). В случаях, когда названия статей состоят из двух или более слов, на первое место выносятся главное по смыслу слово (**ОШИБКА СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ**). Если в название статьи входит собственное имя, оно выносится на первое место (**ГАУССА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ**). Названия статей даются в единственном или множественном числе (**ВИНТ СТАНОВОЙ**, **ВИНТЫ НАВОДЯЩИЕ**). Слова в скобках, стоящие рядом с названием некоторых статей, уточняют область, к которой статья относится. В некоторых случаях аббревиатура играет роль названия и выносятся в заголовок словарной статьи (**ГГС** — государственная геодезическая сеть). В целях экономии места слова названия статьи, повторяющиеся в тексте, обозначаются начальными буквами (например, в статье **АЛИДАДА** — *А.*, в статье **ДАЛЬНОСТЬ ВИДИМОСТИ** — *Д. в.*).

Широко применяется система перекрестных ссылок. Названия других статей, на которые дается ссылка, выделяются *курсивом*. Термин, выделенный *курсивом*, следует искать по главному смысловому слову, выносимому на первое место в названии статьи. Все буквенные обозначения в формулах объясняются в тексте статей, за исключением общепринятых (например, π , $\sin$, °C, МПа).

В новых системах измерения используются новые понятия и термины. Одним из них является термин «позиционирование». Свидетельством признанности термина служит российский стандарт (ГОСТ Р 51794—2001), в котором американская система GPS (Global Positioning System) именуется «Глобальной системой *позиционирования*» — ГСП. Российская же система получила название ГЛОНАСС — глобальная навигационная спутниковая система. Новые термины и аббревиатуры ориентируют на сферу применения: *навигацию* (КНС, СНС, СРНС — космические, спутниковые навигационные или радионавигационные системы), *геодезию* (СГС — спутниковые геодезические системы), *их комбинацию* (КСГН, СНГС — космические системы навигационно-геодезического назначения, или спутниковые навигационно-геодезические системы). С 1 мая 2000 г. гражданские пользователи GPS получили возможность определять координаты (своих объектов наблюдений) на порядок точнее, чем это было ранее. В Российской Федерации правила обращения с соответствующей информацией регламентируются нормативно-правовой базой, публикуемой в сборниках информационных обзоров начиная с 1996 г.

СОКРАЩЕНИЯ ЛАТИНСКИЕ

AS — Anti Spoofing — дополнительное шифрование, *P*-код переводится в *Y*-код
AT — Atomic Time — атомное время
C/A-code — Coarse Acquisition — грубый, Clear Accessible - легко доступный, Clear Acquisition - легко обнаруживаемый, Civil Application - гражданский (*S-code*)
CDMA — Code Division Multiple Access — кодовое разделение каналов
CIGNET — Cooperative International GPS Net — международная сеть пунктов слежения за спутниками GPS для получения точных их эфемерид
DD — Double Difference — двойные (вторые) разности
DLGNASS — Differential GLONASS — дифференциальный ГЛОНАСС
DGPS — Differential GPS — дифференциальный GPS
DOP — Dilution Of Precision — геометрический фактор снижения точности определения местоположения точки, зависит от расположения пункта и спутников ГСП
EGNOS — European Geostationary Navigation Overlay Service — широкозонная ДПС
ES-90 — Earth System, 1990 — ПЗ-90
ESA — European Space Agency — Европейское космическое агентство
ETRS — European Terrestrial Reference System — Европейская земная референцная система
EUREF — European Reference Frame — Европейская земная референцная геодезическая сеть
FDMA — Frequency Division Multiple Access — частотное разделение каналов
Galileo — Европейская система спутникового позиционирования
GDOP — Geometric Dilution Of Precision — геометрический фактор снижения точности
GMT — Greenwich Mean Time — среднее время по Гринвичу
GPS — Global Positioning System — Глобальная система позиционирования
GPS/AVL — GPS/Automatic Vehicle Location — автоматическое определение координат транспортного средства при помощи GPS
GPS-receiver — GPS-приемник
GPST — GPS Time — Время спутниковой системы GPS
HDOP — Horizontal Dilution Of Precision — Геометрический фактор снижения точности в горизонтальной плоскости
IAT — International Atomic Time — Международное атомное время
IGS — International GPS Geodynamics Service — Международная служба изучения геодинамики с помощью GPS
INS — Inertial Navigation System — инерциальная навигационная система
L1, L2 — несущие частоты в GPS и ГЛОНАСС
MCS — Master Control Station — главная станция подсистемы наземного контроля и управления GPS
NMEA — National Marine Electronic Association — Национальная морская электронная ассоциация, разработчик стандартного формата передачи данных о GPS спутниках
OCS — Operational Control System (Control Segment) — подсистема наземного контроля и управления GPS
Omnistar — глобальная сеть формирования и передачи пользователям поправок DGPS
OTF — On The Fly — разрешение неоднозначности на лету
OTW — On The Way — см. также OTF
P-code — Precision (Protected) code — точный (защищенный) код
PDGPS — Precision DGPS — точный дифференциальный GPS, передача поправок к фазе несущей или в форме необработанных измерений фазы несущей; точность 1 — 5 см
PDOP — Position Dilution Of Precision — геометрический фактор снижения точности положения пункта в пространстве
POPS — Post Processing Software — программное обеспечение постобработки

ppm — parts per million — относительная погрешность в миллионных долях: 1 ppm — 1 мм на 1 км расстояния

PPS — Precise Positioning Service — точное позиционирование, две частоты L1, L2 и P-код

PRN — Pseudo Random Noise — псевдослучайный шум

RDOP — Relative Dilution Of Precision — геометрический фактор снижения точности при относительном позиционировании по DD

RAIM — Receiver Autonomous Integrity Monitoring — автономный контроль целостности в приемнике

RMSE — Root Mean Square Error — средняя квадратическая погрешность (СКП)

RTDGPS — Real Time DGPS — DGPS реального времени

RTK — Real Time Kinematics — кинематика реального времени

SA — Selective Availability — избирательный доступ, режим понижения точности позиционирования гражданскими пользователями (отменен 1. V. 2000)

S-code — Standard code — стандартный код, синоним C/A-code

SD — Single-Difference — *первые* (простые) разности

SGS — Satellite Geodetic System — спутниковая геодезическая система

SNR — Signal to Noise Ratio — отношение сигнал/шум, мера качества передачи данных

SPS — Standard Positioning Service — стандартное позиционирование с использованием только GPS частоты L1 и C/A-кода

TAI — International Atomic Time

TD — Triple-Difference — *третьи* (строенные) разности

TDOP — Time Dilution Of Precision — геометрический фактор снижения точности определений временных задержек

URA — User Range Accuracy — точность измерения дальностей от КА до АП

UT — Universal Time — Всемирное время, среднее солнечное время гринвичского меридиана

UTC (SU) — координированное время шкалы Государственного эталона частоты и времени России

UTM — Universal Transverse Mercator (projection) — Универсальная поперечная (проекция) Меркатора

VBS — Virtual Base Station — технология виртуальной базовой станции, по которой рассчитывается оптимальная для данного положения приемника дифференциальная поправка с учетом всех станций сбора данных в дифференциальной подсистеме позиционирования

VDOP — Vertical Dilution Of Precision — геометрический фактор снижения точности по высоте

WGS-84 — World Geodetic System, 1984 — Мировая геодезическая система [координат] 1984 для GPS

Y-code — дополнительно зашифрованный P-код GPS

А

АБЕРРАЦИЯ СФЕРИЧЕСКАЯ — оптическое искажение в виде круга рассеяния, получающегося вследствие того, что лучи, входящие в оптическую систему под одинаковым углом к ее оси, собираются в точки на разном удалении от заданного фокуса.

АБЕРРАЦИЯ ХРОМАТИЧЕСКАЯ — искажение изображения оптической системы, при котором появляется цветная окраска контуров изображения, ухудшающая его качество.

АБРИС — схематический чертеж плана участка местности, на котором нанесены элементы ситуации и рельефа местности.

АЗИМУТ (предмета наземного) — угол между плоскостью меридиана точки наблюдения и

вертикальной плоскостью, проходящей через эту точку и наблюдаемый предмет. Если вертикальная плоскость проходит через *линию отвесную* в точке наблюдения, то А. называется азимутом истинным.

АЗИМУТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — азимут, отсчитанный по ходу часовой стрелки от северного направления *меридиана геодезического* в данной точке до заданного направления в той же точке.

АЗИМУТ ИСТИННЫЙ — см. *Азимут*.

АЗИМУТ МАГНИТНЫЙ — азимут, отсчитываемый по ходу часовой стрелки от северного направления *меридиана магнитного* в данной точке до заданного направления в той же точке. А. м. принимает значения от 0 до 360°.

АКП — аппаратура контроля поля ГЛО-НАСС; аппаратура пользователей (АП), установленная на КС, обеспечивающая контроль точности измерений.

АЛИДАДА — составная часть *круга угломерного*, концентрически связанная с *лимбом* и вращающаяся вокруг центральной вертикальной оси лимба. А. имеет индекс, позволяющий фиксировать ее положение по шкале лимба. Сверху, на кожухе А., крепится подставка *трубы зрительной* и уровень.

АЛЬМАНАХ — сборник данных о спутниках ГСП, содержит сведения о местоположении спутников, времени их восхода и захода, их высотах над горизонтом и азимутах, входит в *сообщение навигационное* каждого спутника, используется для планирования измерений *геодезических*.

АРРЕТИР — устройство для закрепления чувствительного элемента прибора с целью предохранения его от повреждений при транспортировке.

АТ — атомное время; то же, что *Время атомное*.

АТТЕСТАЦИЯ МЕТОДИКИ (выполнения измерений) — процедура оценки и подтверждения соответствия МВИ установленным метрологическим требованиям.

АТТЕСТАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ — признание метрологической службой законным для применения СИ единичного производства (или ввозимого единичными экземплярами из-за границы) на основании тщательных исследований его свойств.

Б

БАЗА ДАЛЬНОМЕРА — основание *треугольника параллактического*, из решения которого в *дальномерах оптических* определяют искомое расстояние.

БАЗИС ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — расстояние, измеряемое с высокой точностью между двумя закрепленными точками земной поверхности. Б. г. измеряют инварными проволоками или *дальномерами* (базисными приборами) с точностью не ниже 1:300 000.

БАШМАК НИВЕЛИРНЫЙ — подставка в виде диска для установки на нее *рейки нивелирной* во время наблюдений. Б. н. имеет три шипа, которые вдавливаются в грунт, головку для установки рейки и ручку для переноски. См. также *Костыль нивелирный*.

БИСЕКТОР — две близкорасположенные параллельные линии, составная часть сетки нитей *трубы зрительной*, позволяющая повысить точность *визирования*.

БИПРИЗМА — часть оптического устройства для разделения поля изображения в *дальномерах* двойного изображения; представляет собой

двойной оптический клин с малым (1—2°) углом. См. также *Диафрагма щелевая*.

БУССОЛЬ — прибор измерения азимута *магнитного* на местности. Основные части: магнитная стрелка, кольцо с угловыми делениями и *диоптры* для наведения на предмет.

В

ВАРИАЦИЯ ПОКАЗАНИЙ (прибора) — разность показаний *прибора* в одной и той же точке *диапазона измерений* при плавном подходе к этой точке со стороны меньших и больших значений измеряемой ФВ.

ВАТЕРПАС — простейший прибор проверки горизонтальности линии и измерения небольших углов наклона. В. состоит из линейки с закрепленным на ней отвесом. Для установки В. в горизонтальное положение необходимо совместить отвес с «нулевым» штрихом линейки.

ВЕКТОР БАЗОВЫЙ — пространственный вектор между двумя пунктами, на которых установлены антенны *приемников спутниковых*.

ВЕКТОР СКОРОСТИ — значения вектора скорости перемещения *приемника спутникового* по каждой координатной оси.

ВЕЛИЧИНА ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — *физическая величина*, значения которой определяют в результате производства измерений *геодезических* (длина, угол, азимут, превышения, координата и др.).

ВЕРНЬЕР, нониус — отсчетная шкала для измерений долей делений на равномерной шкале, например, долей делений на *лимбе* теодолита или на *дальномерной* рейке.

ВЕС ИЗМЕРЕНИЯ — вспомогательное число, характеризующее степень надежности результата измерения; используется при математической *постобработке* неравноточных измерений. В. и. выражают числом *p*, обратное пропорциональным квадрату СКП (m^2), т. е. $p = c/m^2$,

где *c* — коэффициент, выбираемый произвольно.

ВЕШЕНИЕ ЛИНИИ — установка в *створе* измеряемой линии дополнительных вех.

ВИД ИЗМЕРЕНИЙ — часть *области измерений*, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых ФВ.

ВИД СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ — совокупность СИ предназначенных для измерений данной ФВ.

ВИДИМОСТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — взаимная видимость *целей визирных* (геодезических знаков), установленных в двух точках земной поверхности, при рассматривании их в *трубу зрительную*.

ВИЗИРОВАНИЕ — наведение *диоптров* или *трубы зрительной* геодезических инстру-

ментов на какую-либо точку удаленного предмета.

ВИНТ СТАНОВОЙ — винт для закрепления геодезического прибора на штативе. Внутри В. с. имеется сквозное отверстие для центрирования прибора.

ВИНТ ЭЛЕВАЦИОННЫЙ — винт с приспособлением, позволяющим плавно изменять небольшой наклон *трубы зрительной* геодезического прибора (*нивелира*).

ВИНТЫ ЗАКРЕПИТЕЛЬНЫЕ, стопорные — винты, предназначенные для закрепления подвижного узла геодезического прибора в заданном положении.

ВИНТЫ ИСПРАВИТЕЛЬНЫЕ — винты, применяющиеся для юстировки приборов.

ВИНТЫ НАВОДЯЩИЕ — винты наводящего устройства, позволяющие осуществлять плавные и медленные повороты частей прибора (в горизонтальной и вертикальной плоскости). В. н. имеются у *зрительной трубы*, лимба и алидады горизонтального круга *теодолита*. ими пользуются только после закрепления винтом *стопорным*.

ВИНТЫ ПОДЪЕМНЫЕ — три винта горизонтирующего устройства *прибора геодезического*, которые служат для приведения оси вращения прибора в отвесное положение. В. п. смонтированы в подставку прибора.

ВИНТЫ СТОПОРНЫЕ — то же, что *Винты закрепительные*.

ВИНТЫ УСТАНОВОЧНЫЕ — винты геодезического прибора, обеспечивающие взаимное перемещение узлов прибора и их установку (рабочую).

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ — качество измерений, отражающее близость друг к другу *результатов измерений* ФВ, выполняемых в разных условиях измерений (по времени, месту, методу и СИ).

ВРЕМЯ АТОМНОЕ — Международное атомное время ТАИ, единицей которого является «атомная секунда» — интервал времени, в течение которого совершается 9 162 631 770 колебаний атома цезия-133.

ВРЕМЯ КООРДИНИРОВАННОЕ — промежуточная шкала координированного времени UTC, которая в России соответствует Государственному эталону частоты и времени РФ — UTC (SU).

ВРЕМЯ ВСЕМИРНОЕ — Всемирное время UT; среднее солнечное время *меридиана гринвичского*, которое соотносено с суточным вращением Земли.

ВЫСОТА АБСОЛЮТНАЯ — *высота точки*, при определении которой за начальную *поверхность уровненную* принимают поверхность морей и океанов в спокойном состоянии.

ВЫСОТА ОТНОСИТЕЛЬНАЯ — *высота точки*, при определении которой за начальную принимают произвольную *поверхность уровненную*.

ВЫСОТА СЕЧЕНИЯ РЕЛЬЕФА — расстояние по *линии отвесной* между соседними *горизонталями* на планах *рельефа* местности.

ВЫСОТА ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — *высота точки* над *поверхностью референц-эллипсоида*, рассматриваемая как расстояние, отсчитанное по нормали от данной точки до *поверхности эллипсоида*.

ВЫСОТА ТОЧКИ — расстояние, отсчитываемое по *линии отвесной* от исходной *поверхности уровненной* до данной точки. Различают: *высоту абсолютную*, *высоту относительную* и др. высоты. В. т. может быть положительной и отрицательной.

ВЫСОТОМЕР ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ — прибор геодезический для определения превышений точек по методу *нивелирования гидростатического*. В. г. состоит из двух цилиндрических сосудов, заполненных жидкостью *гидростатической* и соединенных гибким шлангом. Уровень жидкости отсчитывается по шкалам, нанесенным на прозрачные стенки названных сосудов.

Г

ГАУССА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ — *распределение непрерывное* случайной величины X , характеризующее плотностью вероятности:

$$p(x) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2(x-a)^2},$$

где h — мера точности [$h = 1/(\sigma\sqrt{2})$], a — *ожидание математическое*, σ — *стандарт* величины X .

ГГС — государственная геодезическая сеть; то же что *Сеть геодезическая государственная*.

ГЕОДЕЗИЯ — наука, изучающая форму и размеры Земли и разрабатывающая вопросы создания координатной плановой и высотной основы для детального изучения физической поверхности Земли.

ГЕОДЕЗИЯ ИНЖЕНЕРНАЯ, прикладная — раздел *геодезии*, изучающий методы геодезических работ при изысканиях, проектировании, строительстве и эксплуатации разнообразных инженерных сооружений.

ГЕОДЕЗИЯ ПРИКЛАДНАЯ — то же, что *Геодезия инженерная*.

ГЕОДЕЗИЯ КОСМИЧЕСКАЯ (спутниковая) — раздел геодезии, изучающий проблемы использования ИСЗ в геодезических целях.

ГЕОИД — фигура Земли, ограниченная *поверхностью уровненной*, совпадающей с *поверхностью* Мирового океана в состоянии гипо-

тетически полного покоя и равновесия и мысленно продолженной под материками.

ГКК — геодезический космический комплекс; система наземных и космических ТС, предназначенных для создания *сетей геодезических*, уточнения параметров земного эллипсоида и гравитационного поля Земли. ГКК включает КА, НКУ, центры составления программ работ, сбора и обработки информации.

ГЛОНАСС — глобальная навигационная спутниковая система. Состоит из 24 основных и 3 резервных спутников, запускаемых с космодрома Байконур. НКУ включает ЦУС, расположенный в районе Москвы, и ЦС с высокоточным кодовым сигналом (ВТ) стандартной частоты и времени (СТ).

ГОРИЗОНТ ИНСТРУМЕНТА — то же, что *Горизонт прибора*.

ГОРИЗОНТ ПРИБОРА, инструмента — *высота оси визирной* прибора над *поверхностью уровненной* или над условным горизонтом.

ГОРИЗОНТАЛИ, изогипсы — замкнутые и незамкнутые кривые линии (изображаемые на планах *рельефа* местности или картах), все точки которых имеют одинаковую высоту. Отметки Г. кратны *высоте сечения рельефа*.

ГРАД — единица десятичной меры углов, равная 1/100 прямого угла. Обозначается буквой g . Град делится на 100° (градусов минут), а 1° — на 100⁰⁰ (градусов секунд).

$$1^g = 0,9^{\circ} = 54' = 3240''.$$

ГРИНВИЧА МЕРИДИАН — астрономический меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию в Англии. Г. м. принят за нулевой (за начало отсчета долгот).

ГПС — государственные поверочные схемы; см. также *Схема поверочная*.

ГСП — глобальная система позиционирования (наименование GPS в соответствии с ГОСТ Р 51794-2001); см. *Система позиционирования глобальная*.

ГФ — геометрический фактор; см. *Фактор геометрический*.

Д

ДАЛЬНОМЕР — прибор для косвенных измерений расстояний до объектов. Применяются *дальномеры оптические* и *электроннооптические*.

ДАЛЬНОМЕРЫ ЛАЗЕРНЫЕ — приборы лазерные, применение которых привело к повышению дальностью и точности измерений, по сравнению с *дальномерами оптическими* (без увеличения габаритов и массы приборов).

ДАЛЬНОМЕРЫ ОПТИЧЕСКИЕ — *дальномеры*, в которых расстояние L определяется с помощью решения равнобедренного треугольника с углом *параллактическим*. База *дально-*

мера b мала по сравнению с L , а угол β не превышает 1°, поэтому можно считать, что

$$L = bp''/\beta'', \text{ где } p'' = 206265''.$$

ДАЛЬНОМЕРЫ ЭЛЕКТРОННООПТИЧЕСКИЕ — *дальномеры*, предназначенные для определения расстояний с помощью измерения времени распространения электромагнитных колебаний вдоль измеряемой линии (от излучателя до отражателя).

ДАЛЬНОСТЬ ВИДИМОСТИ — предельные расстояния, на которых невооруженным глазом можно опознать некоторые предметы. Д. в. используется при глазомерной оценке расстояний. Например, предмет высотой 3 м виден на расстоянии в 7 км.

ДГС — доплеровская геодезическая сеть; то же, что *Сеть геодезическая доплеровская*.

ДИАПАЗОН ПОКАЗАНИЙ (прибора) — область значений шкалы прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЙ (средства измерений) — область значений ФВ, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ.

ДИАФРАГМА ЩЕЛЕВАЯ — непрозрачная металлическая пластинка с прорезью в центре поля зрения. Совместно с *бипризмой* Д. щ. образует разделительное оптическое устройство, позволяющее наблюдать изображение в верхней и нижней части оптической системы *дальномеров* двойного изображения.

ДИОПТРЫ — приспособление для *визирования* в простейших геодезических инструментах в виде двух пластин с вырезами (например, в буссоли).

ДИСПЕРСИЯ — см. в ст. *Дисперсия и стандарт*.

ДИСПЕРСИЯ И СТАНДАРТ — меры рассеивания случайных единиц, наиболее часто применяемые в теории ошибок измерения. Полагая результаты измерения случайными величинами (X), при числе измерений $n > 30$ дисперсию (σ^2) вычисляют по формуле

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum (X_i - \bar{X})^2,$$

где $\bar{X}$ — среднее значение *измерений* *равноточных* *искомой* величины.

Стандартом случайной величины называют

число, равное $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$. При неограниченном возрастании n величина СКП одного измерения приближается к значению стандарта σ .

ДЛИНА ВОЛНЫ КОМБИНИРОВАННАЯ — длина волны, частота которой образована линейной комбинацией двух исходных несущих частот. Например, при обработке результатов *статистики* используются частоты $L1$ и $L2$.

ДЛИНА ОТРЕЗКА — числовая характери-

стика протяженности прямой линии, определяемая расстоянием между начальной и конечной точками этой линии.

ДЛИНА ХОДА — сумма длин отрезков всех сторон хода (между начальной и конечной точками хода).

ДЛИНОМЕР — прибор, предназначенный для измерения расстояний с помощью мерного блока и гибкой нити (стальной проволоки, например) при выполнении геодезических работ.

ДОЛГОТА ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — двугранный угол между плоскостью геодезического меридиана данной точки и плоскостью начального геодезического меридиана.

ДОПУСК ТЕХНИЧЕСКИЙ — интервал, в пределах которого допускается отклонение того или иного параметра измерений от его расчетного значения. Для измерений геодезических Д. т. устанавливается инструкциями по соответствующим видам работ. См. также *Поверки нивелиров, Поверки теодолитов, Поверки приборов линейных измерений.*

Е

ЕДИНИЦА ВНЕСИСТЕМНАЯ (физической величины) — единица ФВ, не входящая в принятую систему единиц.

ЕДИНИЦА ДОЛЬНАЯ (физической величины) — единица ФВ, в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы.

ЕДИНИЦА ИЗМЕРЕНИЯ (физической величины) — ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено значение числовое, равное 1, и принимаемая для количественного выражения однородных с ней ФВ.

ЕДИНИЦА КРАТНАЯ (физической величины) — единица ФВ, в целое число раз большая системной или внесистемной единицы.

ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ — состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах ФВ и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Ж

ЖИДКОСТЬ ГИДРОСТАТИЧЕСКАЯ — жидкость для заполнения системы *высотомеров гидростатических*. При положительных температурах используется дистиллированная вода, при отрицательных температурах — жидкость с низкой температурой замерзания; например, 20%-й водный раствор хлористого кальция.

ЖУРНАЛЫ ПОЛЕВЫЕ — первичный документ, в который заносят результаты геодезических наблюдений, выполненных в поле (на производственной площадке). В П. ж. указывают дату, время и условия работы на каждом пункте геодезического наблюдения.

З

ЗАДАЧА ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ОБРАТНАЯ — задача, в которой по заданным координатам двух точек требуется найти расстояние между ними и взаимные направления.

ЗАДАЧА ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ПРЯМАЯ — задача, в которой по данным координатам одной точки, азимуту с нее на вторую и расстоянию между ними требуется найти координаты второй точки и направление с нее на первую.

ЗАЛОЖЕНИЕ СКАТА — расстояние между соседними горизонталями на плане рельефа местности. См. также *Высота сечения рельефа.*

ЗАМЫКАНИЕ ГОРИЗОНТА (замыкание приема измерений) — повторное наведение зрительной трубы на начальную точку при измерении горизонтальных углов.

ЗАСЕЧКА ЛИНЕЙНАЯ — определение положения точки *С* местности, основанное на измерении расстояний до двух исходных пунктов.

ЗАСЕЧКА ЛИНЕЙНАЯ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ — способ определения положения объекта в трехмерном пространстве по измерениям дальностей от этого объекта до трех или большего числа пунктов с известными координатами. При *позиционировании* используются не дальности, а *псевдодальности*.

ЗАСЕЧКА УГЛОВАЯ ОБРАТНАЯ — определение положения точки *Д* местности, относительно трех исходных пунктов, основанное на измерении в искомой точке *Д* двух горизонтальных углов между исходными пунктами.

ЗАСЕЧКА УГЛОВАЯ ПРЯМАЯ — способ определения положения точки *С* местности, относительно двух исходных точек *А* и *В*, основанный на измерении двух горизонтальных углов между направлениями на данную точку *С* и линию, соединяющую пункты *А* и *В*.

ЗЕНИТ — верхняя точка пересечения линии отвесной с воображаемой небесной сферой над головой наблюдателя.

ЗНАК ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — сооружение над центром пункта геодезического, служащее для *визирования* на пункт и для размещения приборов над земной поверхностью при угловых и линейных измерениях на пункте.

ЗНАК ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ СТЕННЫЙ — знак геодезический, закрепленный в фундаментах или стенах капитальных зданий (сооружений).

ЗНАКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАЗБОРНЫЕ — разновидность знаков геодезических, заменяющих трудоемкие и дорогостоящие неразборные знаки. З. г. р. выполняются в виде сборно-разборных металлоконструкций (сигналов и пирамид). Основание З. г. р. закрепляют в земле якорями, а в городах их устанавливают на перекрытиях высоких зданий.

ЗНАКИ МАСШТАБНЫЕ УСЛОВНЫЕ — знаки, при помощи которых предметы местности изображают в масштабе плана с соблюдением их действительных размеров и форм.

ЗНАКИ НИВЕЛИРНЫЕ — знаки геодезические, закладываемые с целью отметить и закрепить на местности пункты нивелирования *геометрического*.

ЗНАЧЕНИЕ (физической величины) — выражение размера ФВ в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

ЗНАЧЕНИЕ ВЕРОЯТНЕЙШЕЕ — наиболее надежное значение результатов измерений, которое равно: 1) *среднему арифметическому простому* для ряда измерений *равноточных*; 2) *среднему арифметическому весовому* для ряда измерений *неравноточных*.

ЗНАЧЕНИЕ ИСТИННОЕ (физической величины) — значение ФВ, идеальным образом характеризующее (в качественном и количественном отношении) соответствующую ФВ.

ЗНАЧЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ (физической величины) — значение ФВ, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к значению истинному, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

ЗНАЧЕНИЕ ЧИСЛОВОЕ (физической величины) — отвлеченное число, входящее в значение ФВ.

И

ИВК — измерительно-вычислительный комплекс; то же, что *Комплекс, измерительно-вычислительный*.

ИЗМЕРЕНИЕ (физической величины) — нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств.

ИЗМЕРЕНИЕ АБСОЛЮТНОЕ — измерение, основанное на измерении *прямом* одной или нескольких основных величин и использовании значений физических констант.

ИЗМЕРЕНИЕ КОСВЕННОЕ — определение искомого значения ФВ на основании результатов измерений *прямых* других ФВ, функционально связанных с искомой величиной.

ИЗМЕРЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЕ — измерение данной величины по отношению к одной именной величине, принимаемой за исходную единицу. См. также *Ошибка относительная*.

ИЗМЕРЕНИЕ ПРЯМОЕ — измерение, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно.

ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ — совокупность измерений, проводимых для получения количественной информации о взаимном положении объектов в процессе выполнения топографо-геодезических работ.

ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ — измерения геодезические, которые базируются на использовании управляющих технических систем, регистрации измерительной и вспомогательной информации на специальных носителях с последующей их *постобработкой*.

ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ВИЗУАЛЬНЫЕ — измерения геодезические, при которых передача информации в системе «прибор — цель» осуществляется с участием наблюдателя (оператора).

ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ НЕВИЗУАЛЬНЫЕ — измерения геодезические, которые в своей основе исключают (полностью или частично) участие наблюдателя.

ИЗМЕРЕНИЯ ИЗБЫТОЧНЫЕ — измерения, выполненные сверх необходимого их количества; см. *Измерения необходимые*.

ИЗМЕРЕНИЯ КОНТРОЛЬНО-ПОВЕРОЧНЫЕ — измерения, погрешность которых не должна превышать некоторое заданное значение.

ИЗМЕРЕНИЯ НЕОБХОДИМЫЕ — количество измерений, достаточное для однозначного нахождения *величины геодезической*.

ИЗМЕРЕНИЯ НЕРАВНОТОЧНЫЕ — измерения, выполняемые в разных условиях.

ИЗМЕРЕНИЯ РАВНОТОЧНЫЕ — измерения, полученные в одинаковых условиях (одним и тем же методом, исполнителем, одинаковыми приборами и т. д.).

ИЗМЕРЕНИЯ СОВМЕСТНЫЕ — проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных ФВ для определения зависимости между ними.

ИЗМЕРЕНИЯ СОВМЕСТНЫЕ — проводимые одновременно измерения нескольких однородных ФВ, при которых искомые значения ФВ определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин.

ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ — измерения, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений.

ИЗМЕРЕНИЯ ЭТАЛОННЫЕ — измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения единиц физических величин.

ИЗОГИПСЫ — то же, что *Горизонталы*.

ИНВАР — сплав железа (64%) и никеля (36%), обладающий малым температурным коэффициентом линейного расширения в диапазоне температур от -30 до 100°C.

ИНИЦИАЛИЗАЦИЯ — 1) Первоначальное определение текущего местоположения GPS-приемника, которое он запоминает и использует в дальнейшем для определения своих координат. 2) Разрешение неоднозначности в начале *позиционирования* способом *кинематики*.

ИНФОРМАЦИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ — информация о значениях физических величин.

ИС — измерительная система; то же, что Система измерительная.

ИСПРАВНОСТЬ МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ (средства измерений) — состояние СИ, при котором все нормируемые характеристики метрологических соответствуют установленным требованиям.

ИСПЫТАНИЯ — экспериментальное определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, а также при моделировании объекта и (или) воздействий.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИБОРА — проведение контроля прибора в целом или его отдельных узлов по заранее отработанной программе с целью изучения конструкции, выявления эксплуатационных качеств и (или) разработки технологии применения.

ИЗ — исходный эталон. То же, что Эталон исходный.

К

КАЛИБРОВКА — совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением ФВ, полученным с помощью данного СИ, и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона, с целью определения действительных МХ этого СИ.

КАРТЫ МЕСТНОСТИ ЦИФРОВЫЕ — математическая модель местности, представленная в виде закодированных координат точек местности, которые записаны на магнитной ленте или ином носителе.

КАТАЛОГ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — систематический список пунктов геодезических, расположенных на участке района работ (или на площади листа карты), в котором указываются названия пунктов, прямоугольные координаты, высоты абсолютные центров и углы направлений на соседние пункты или на пункты ориентирные.

КИНЕМАТИКА — способ позиционирования, когда фазовым методом измеряются дальности от двух приемников до 4-х и большего числа спутников, и определяются приращения координат (вектор базовый) между этими приемниками. Предварительно выполняется инициализация на начальном пункте, а затем ведутся непрерывные наблюдения одних и тех же спутников.

КИПРЕГЕЛЬ — геодезический угломерный прибор, позволяющий прочерчивать направления, определять расстояния и превышения при съемке мензульной.

КЛАСС ТОЧНОСТИ — обобщенная характеристика данного типа СИ, отражающая уро-

вень точности СИ, выражаемая пределами погрешности основной и дополнительной, а также другими характеристиками, влияющими на точность СИ.

КЛЕЙМО ПОВЕРИТЕЛЬНОЕ — знак, наносимый на СИ и удостоверяющий факт их поверки и признания годными к работе.

КОЛЕНА ОКУЛЯРНОЕ — часть трубы зрительной (имеющей внешнюю фокусировку) с окуляром, перемещением которой относительно объектива достигается фокусировка трубы «по глазу», т. е. получают четкое изображение сетки нитей.

КОЛЛИМАТОР — оптический прибор, формирующий узкий параллельный пучок лучей электромагнитного излучения или частиц (атомов, электронов, элементарных частиц).

КОМПАРАТОР (геодезический) — поверочная установка, предназначенная для определения длины геодезической меры путем ее сравнения с эталонной мерой длины (при заданной температуре).

КОМПАРАТОР ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫЙ — компаратор для сравнения длин с помощью интерференции света. Длину мерных приборов (лент, рулеток и др.) сравнивают с расстоянием между осями микроскопов-микрометров компаратора. Точность измерений на К. и. порядка $2,5 \cdot 10^{-7}$.

КОМПАРАТОР ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ — компаратор, вдоль которого перемещается образцовый жезл на тележке. Длину мерного прибора сравнивают с расстоянием между осями крайних микроскопов-микрометров. Точность измерений — $5 \cdot 10^{-7}$.

КОМПАРАТОР ПОЛЕВОЙ — компаратор, предназначенный для сравнения длин мерных приборов в условиях, сходных с условиями рабочих измерений. Длину К. п. (кратную 24 м) предварительно измеряют точными мерными приборами.

КОМПЕНСАТОР — 1) приспособление в самоустанавливающихся нивелирах для автоматического удержания линии визирования в горизонтальном положении;

2) оптическое приспособление в дальнометрических насадках;

3) оптическое приспособление, заменяющее собой уровень при алидаде круга вертикального теодолита и сохраняющее значение «места нуля» при малых наклонах вертикальной оси теодолита.

КОМПЛЕКС, ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ — функционально объединенная совокупность СИ, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе ИС конкретной измерительной задачи.

КОНТРОЛЬ И НАДЗОР, МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ — деятельность, осуществляемая орга-

ном ГМС или МС юридического лица в целях проверки соблюдения установленных метрологических правил и норм.

КООРДИНАТЫ — числа, заданием которых определяется положение точки на плоскости, поверхности или в пространстве. В геодезии широко распространены астрономические, геодезические, прямоугольные и полярные К.

КООРДИНАТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ — величины, определяющие положение точки земной поверхности на референц-эллипсоиде: широта, долгота и высота геодезическая.

КОС — кванто-оптические станции ГЛО-НАСС, служащие для периодической юстировки радиотехнических каналов измерения дальности.

КОСТЫЛЬ НИВЕЛИРНЫЙ — приспособление в виде стального стержня для установки на него рейки нивелирной во время наблюдений. Для забивки К. н. в грунт его головку, имеющую форму сферы, предохраняют от повреждений специальным колпачком. Для переноски и вытаскивания К. н. из грунта имеется ручка. См. также Башмак нивелирный.

КРЕМАЛЬЕРА — специальное устройство трубы зрительной, служащее для перемещения фокусирующей линзы, закрепленной на трубчатке, расположенной внутри трубы.

КРУГ УГЛОМЕРНЫЙ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ — угломерный круг теодолита, служащий для измерения углов вертикальных. Деления на лимбе К. у. в. могут иметь надписи возрастающие по ходу и против хода часовой стрелки от 0 до 360°, как правило.

КРУГ УГЛОМЕРНЫЙ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ — угломерный круг теодолита, служащий для измерений углов горизонтальных. Деления на лимбе К. у. г. имеют надписи, возрастающие по ходу часовой стрелки. На алидаде имеется индекс, позволяющий фиксировать ее положение по шкале лимба. Алидада и лимб имеют кожух и устройства: закрепительные и наводящие.

КУРВИМЕТР — прибор для измерения длины кривых линий на картах и чертежах.

Л

ЛАЗЕР — оптический квантовый генератор (ОКГ), создающий узкий луч света, остронаправленный и слабо рассеивающийся в пространстве.

ЛЕНТА МЕРНАЯ (землемерная) — прибор геодезический, предназначенный для непосредственного измерения расстояний на местности. Л. м. изготавливают из стальной или инварной полосы шириной 12 — 20 мм, толщиной 0,3 — 0,4 мм и длиной 20 — 50 м. В комплект к ленте прилагаются стальные шпильки длиной 30 — 40 см и диаметром 5 — 6 мм.

ЛЕНТА МЕРНАЯ ШТРИХОВАЯ — лента мерная, длина которой равна расстоянию между штрихами, нанесенными на концах ленты по центру вырезов для установки шпилек. На лентах отмечены деления через: 1 м (плашками), 0,5 м (заклепками) и 0,1 м (круглыми отверстиями). Отсчеты по ленте делают «на глаз» с точностью до 1 см.

ЛЕНТА МЕРНАЯ ШКАЛОВАЯ — лента мерная, имеющая 2 шкалы (на переднем и заднем концах) длиной по 10 см с миллиметровыми делениями. Длина Л. м. ш. определяется расстоянием между нулевыми делениями шкал. При измерениях применяют способ отсчета по двум шкалам.

ЛИМБ — составная часть круга угломерного, представляющая собой плоское кольцо с нанесенными на боковой поверхности радиальными штрихами (шкалой), делящими окружность на равные части (градусы, минуты). При измерении угла лимб остается неподвижным.

ЛИНЕЙКА КОНТРОЛЬНАЯ — стальная, латунная или инварная, линейка треугольного сечения, длиной чуть более 1 м. На продольных скошенных краях линейки нанесены шкалы: одна с ценой деления 0,2 мм, другая — 1 мм (реже 0,5 мм). В верхнее ребро линейки вмонтирован термометр; оно же служит направляющей для 2-х микроскопов 20-кратного увеличения, передвигаемых над шкалами. Погрешность линейки: 0,05 мм.

ЛИНИЯ ВИЗИРОВАНИЯ — прямая линия, определяющая направление оси визирной геодезического прибора при его наведении на выбранную точку.

ЛИНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — линия кратчайшего расстояния на какой-либо поверхности.

ЛИНИЯ КРАСНАЯ — термин, применяемый в градостроительстве для линий проектных, ограничивающих территорию участков в городе, отведенную под застройку. См. также План красных линий.

ЛИНИЯ ОТВЕСНАЯ — линия направления вектора силы тяжести в заданной точке местности.

ЛИНИЯ ПРОЕКТНАЯ — линия, определяющая положение сооружений в плане и по высоте. Параметры Л. п. задаются различными техническими и нормативными документами.

ЛИНИЯ ХОДОВАЯ — линия, прокладываемая при глазомерной съемке. Л. х. прокладывают вдоль дорог, троп или по маршруту. Длины сторон Л. х. измеряются шагами.

ЛИСТ ЦЕНТРИРОВОЧНЫЙ — лист бумаги, закрепленный на планшете мензулы, который располагают под центром геодезического сигнала. На Л. ц. осуществляют проектирование точек стояния: теодолита, цели визирной и цен-

тра пункта геодезического.

ЛПС — локальные поверочные схемы; см. Схема поверочная.

М

МАРКИ НИВЕЛИРНЫЕ — металлические знаки геодезические стальные, выступающая часть которых имеет в центре отверстие для установки штифта, на который подвешивают рейку нивелирную.

МАРКИ ОСАДОЧНЫЕ — временные марки нивелирные (различной конструкции), устанавливаемые в местах ожидаемого проявления деформаций сооружений.

МВИ — методика выполнения измерений; то же, что Методика измерений.

МЕНЗУЛА — чертежный столик, применяемый в комплексе с кипрегелем при топографической съемке мензульной.

МЕРА — средство измерений, предназначенное для воспроизведения и (или) хранения ФВ одного или нескольких заданных размеров, значения которых в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

МЕРА ТОЧНОСТИ — см. в ст. Гаусса рас-пределение.

МЕРИДИАН ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — условная линия на земной поверхности, все точки которой имеют одинаковую долготу. Плоскость М. г. данной точки проходит через нормаль к поверхности референц-эллипсоида в этой точке параллельно малой оси эллипсоида.

МЕРИДИАН МАГНИТНЫЙ — условная линия на земной поверхности, совпадающая с горизонтальной проекцией силовой линии магнитного поля Земли. См. также Плоскость меридиана магнитного.

МЕРЫ ДЛИНЫ — меры служащие для воспроизведения заданных длин. М. д. подразделяются на штриховые, концевые и штрихоконцевые. Единицей метрической М. д. служит метр. См. также Приборы мерные линейные.

МЕРЫ УГЛОВЫЕ — меры, служащие для воспроизведения плоских углов заданных размеров. К угловым мерам относятся угловые плитки, многогранные призмы, лимбы и т. п.

МЕРЫ УГЛОВЫЕ ГРАДОВЫЕ — меры угловые, в которых в качестве единицы десятичной меры углов принят 1 град (см. Град).

МЕРЫ УГЛОВЫЕ ГРАДУСНЫЕ — меры угловые, наиболее распространенные. В этих мерах прямой угол делится на 90 градусов (90°), 1° — на 60 минут (60') и 1' — на 60 секунд (60").

МЕСТНОСТЬ — часть (участок, район) земной поверхности со всеми ее элементами.

МЕСТО ЗЕНИТА — отсчет по лимбу круга угломерного вертикального теодолита, когда ось визирная его зрительной трубы расположе-

на вертикально. При этом пузырек уровня (при алидаде вертикального круга) находится в нуль-пункте уровня.

МЕСТО НУЛЯ — отсчет по лимбу круга угломерного вертикального теодолита, когда его алидада установлена в рабочее положение, а ось визирная зрительной трубы расположена горизонтально.

МЕСТОопределение — определение координат приемника, частный случай позиционирования. Различают М.: а) двумерное, когда находят две координаты, например широту и долготу точки — требуется минимум 3 видимых спутника (2D mode), и б) трехмерное, когда определяют широту, долготу и высоту точки — требуется минимум 4 видимых спутника (3D mode).

МЕТОД КОДОВЫЙ — метод определения псевдодальности от спутника до приемника спутникового по времени прохождения пути кодовым сигналом.

МЕТОД НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ (сокращенно, МНК) — метод математической обработки результатов измерений, базирующийся на принципе наименьших квадратов. При наличии избыточных измерений МНК удовлетворяет численные соотношения между измеренными величинами путем введения поправок в результаты измерений.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ — прием или совокупность приемов сравнения измеряемой ФВ с ее единицей измерения в соответствии с реализованным принципом измерений.

МЕТОД ПОВЕРКИ (средства измерений) — метод передачи размера единицы от выше-стоящих в поверочной схеме СИ нижестоящим.

МЕТОД ФАЗОВЫЙ — метод определения дальности от спутника до приемника спутникового по изменению на этом пути фазы несущей волны.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ — установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом измерения.

МЕТР — основная единица метрической системы мер, определяемая расстоянием между штрихами на «метре-прототипе» при 0°С, хранящимся в Международном бюро мер и весов в Севре, близ Парижа. В 1983 году установлено, что метром следует называть расстояние, которое проходит луч света в вакууме за $1/299792548 \approx 1/300$ долю секунды.

МЕТРОЛОГИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — часть геодезии, занимающаяся рассмотрением комплекса вопросов, необходимых для обеспечения единства измерений и требуемой точности измерений геодезических.

МИКРОСКОП ОТСЧЕТНЫЙ — оптическая система, состоящая из объектива и окуляра, каждый из которых состоит из нескольких линз. М. о. применяют для отсчитывания по шкалам и кругам приборов геодезических. Различают виды М. о.: микроскоп-микрометр, оптический микроскоп штриховой и шкаловой.

МГС-84 — Мировая геодезическая система параметров WGS-84, см. Система WGS-84.

МНОГОЛУЧЕВОСТЬ — явление, при котором в антенну приемника поступают волны, пришедшие непосредственно от передатчика спутника и отраженные от поверхности земли и окружающих предметов. М. снижает точность позиционирования.

МОДЕЛЬ МЕСТНОСТИ ЦИФРОВАЯ — отображение земной поверхности в цифровой форме. См. также Карта местности цифровая.

МОДЕЛЬ РЕЛЬЕФА ЦИФРОВАЯ — множество точек местности (с их координатами и высотами), отображающее поверхность местности. Существует ряд способов составления М. р. ц., например, в виде таблицы регулярной сетки квадратов или треугольников, покрывающих данный участок рельефа. Пользуясь М. р. ц. можно по специальной программе построить, например, горизонталь или профиль рельефа.

МС — метрологическая служба; то же, что Служба метрологическая.

МХ — метрологическая характеристика; то же, что Характеристика метрологическая.

Н

НАДЕЖНОСТЬ МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ (средства измерений) — надежность СИ в части сохранения его исправности метрологической.

НАМЕТКА — деревянный шест с дециметровыми шашечными делениями, применяемый для измерения небольших глубин. Во время измерений Н. удерживается отвесно.

НАТЯЖЕНИЕ ЛЕНТЫ — выравнивание мерной ленты с целью создания одинаковых условий ее провисания при измерениях линий. Н. л. осуществляется силой 0,10 — 0,15 кН и контролируется пружинным динамометром.

НЕВЯЗКА — несовпадение (расхождение, отклонение) вычисленного значения функции измеренных величин с ее теоретическим значением. Различают Н. приращений координат, Н. превышений и угловую невязку.

НИВЕЛИР — прибор геодезический, предназначенный для нивелирования. Различают Н. оптические, лазерные, гидростатические и др.

НИВЕЛИР ЛАЗЕРНЫЙ — прибор лазерный, предназначенный для нивелирования. Для регистрации положения лазерной плоскости в точке наблюдения используются специальные рейки нивелирные с подвижной фоточувствительной головкой.

НИВЕЛИР ОПТИЧЕСКИЙ — нивелир, основанный на нивелировании при помощи оси визирной зрительной трубы, приводимой в горизонтальное положение.

НИВЕЛИР С КОМПЕНСАТОРОМ — нивелир оптический, в котором ось визирная занимает горизонтальное положение автоматически после предварительной установки оси вращения нивелира в отвесное положение по уровню круглому.

НИВЕЛИРОВАНИЕ — определение превышений и высот точек земной поверхности относительно исходной точки («нуля высот»). Н. является одним из основных видов современных геодезических работ.

НИВЕЛИРОВАНИЕ БАРОМЕТРИЧЕСКОЕ — нивелирование, учитывающее зависимость атмосферного давления от высоты точки над уровнем моря. Н. б. одним барометром выполняют по замкнутому маршруту с возвращением в исходную точку с известной отметкой. Помимо отсчетов по барометру (для вычисления поправок) в каждой точке нивелирного хода измеряют температуру воздуха и время наблюдения.

НИВЕЛИРОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ — метод нивелирования посредством горизонтального визирного луча нивелира оптического или нивелира лазерного. Измерение состоит в отсчитывании по рейке геодезической высоты луча над точками установки рейки.

НИВЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ — метод нивелирования, основанный на использовании свойств жидкостей в сообщающихся сосудах устанавливаться на одинаковых уровнях.

НИВЕЛИРОВАНИЕ ДВОЙНОЕ — один из способов выполнения основной проверки нивелиров оптических: параллельности оси цилиндрического уровня и оси визирной.

НИВЕЛИРОВАНИЕ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКОЕ — нивелирование геодезическим прибором (теодолитом), имеющим наклонную ось визирования. Н. т. основано на измерениях: 1) угла наклона при визировании с одной точки на другую, 2) наклонного расстояния между этими точками, 3) высоты инструмента и 4) высоты визирования.

НИВЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЕ — обобщающее понятие для нивелирования барометрического, нивелирования гидростатического и других видов нивелирования.

НМХ — нормируемые метрологические характеристики; то же, что Характеристики, нормируемые метрологические.

НОНИУС — то же, что Верньер.

НОРМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ — то же, что Условия измерений, нормальные.

НОРМАТИВНЫЙ ДОКУМЕНТ — документ.

содержащий правила, общие принципы, характеристики, касающиеся определенных видов деятельности или их результатов, и доступный широкому кругу потребителей (пользователей).

НУЛЬ-ПУНКТ УРОВНЯ — отметка уровня, фиксирующая положение пузырька в середине верхней части ампулы уровня жидкостного.

О

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ — деятельность МС, направленных на достижение и поддержание ЕИ в соответствии с законодательными актами, правилами и нормами, установленными НД.

ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ ВЛИЯЮЩЕЙ ВЕЛИЧИНЫ, РАБОЧАЯ — область значений влияющей ФВ, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний СИ.

ОБЛАСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ — совокупность измерений ФВ, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой.

ОБНОСКА — временное приспособление, применяемое на строительной площадке при выносе и закреплении осей сооружения на местности. О. делают либо из деревянных столбов и горизонтальных досок, либо из стальных труб.

ОБОРУДОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЕ — средство испытаний, представляющее собой техническое устройство для воспроизведения испытаний.

ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЯ — тело (физическая система, процесс, явление), характеризующееся одной или несколькими измеряемыми ФВ.

ОБЪЕКТИВ — составная часть трубы зрительной, линзовая (или зеркально-линзовая) система которой применяется для получения изображения объектов наблюдения.

ОЖИДАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ — предел, к которому стремится среднее арифметическое простое результатов равнооточных измерений при неограниченном возрастании числа измерений.

ОКУЛЯР — часть трубы зрительной, расположенная непосредственно перед глазом наблюдателя. О. служит для рассматривания изображения, образуемого объективом.

ОПЕРАЦИЯ ПОВЕРКИ — совокупность действий, приемов по определению (контролю) конкретной МХ средств измерения в процессе их поверки.

ОРИЕНТИРОВАНИЕ ЛИНИИ — определение направления линии относительно заданного исходного направления. См также *Азимут геодезический*, *Азимут магнитный*.

ОСЬ ВИЗИРНАЯ — прямая линия, соединяющая главную заднюю точку объектива тру-

бы зрительной с перекрестием его сетки нитей.

ОСЬ ВРАЩЕНИЯ ПРИБОРА (вертикальная) — ось, вокруг которой осуществляется поворот прибора в горизонтальной плоскости. Для приведения оси вращения в положение, совпадающее с линией отвесной, используют уровень и винты подъемные.

ОСЬ ВРАЩЕНИЯ ТРУБЫ (горизонтальная) — ось, вокруг которой осуществляется поворот трубы зрительной теодолита в отвесной плоскости.

ОСЬ СООРУЖЕНИЯ ПРОТЯЖЕННОГО — трасса, проходящая по середине сооружения линейного типа в продольном его направлении. На местности О. с. п. обозначается точками поворота и пикетами, которые закрепляются знаками геодезическими.

ОСЬ РАЗБИВОЧНАЯ — ось сооружения, по отношению к которой в разбивочных чертежах указывают данные для выноса в натуру всего сооружения или отдельных его частей.

ОСЬ УРОВНЯ КРУГЛОГО — радиус сферы ампулы, опущенный из нуля-пункта круглого уровня. О. у. к. отвесна, если центр пузырька уровня расположен в нуле-пункте уровня.

ОСЬ УРОВНЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО — касательная к внутренней поверхности ампулы в нуле-пункте уровня цилиндрического.

ОТВЕС — механический центрир маятникового типа. Под действием силы тяжести нить О. принимает направление линии отвесной.

ОТКАЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ (средства измерений) — выход характеристики метрологической СИ за установленные пределы.

ОТМЕТКА АБСОЛЮТНАЯ — численное значение высоты абсолютной.

ОТМЕТКА НУЛЯ СТРОИТЕЛЬНОГО — высота уровня чистого пола первого этажа. Эта отметка выносится на строительной площадке нивелированием геометрическим.

ОТМЕТКА ОТНОСИТЕЛЬНАЯ — численное значение высоты относительной.

ОТМЕТКИ УСЛОВНЫЕ — высоты точек, отсчитанные от условной поверхности уровня.

ОТРАЖАТЕЛЬ СВЕТОДАЛЬНОМЕРА — составная часть светодальномера, служащая для отражения светового пучка от приемопередатчика.

ОТСЧЕТ НАПРАВЛЕНИЯ — угол между нулевым делением лимба и указателем (нулевым штрихом) отсчетного приспособления теодолита.

ОШИБКА АБСОЛЮТНАЯ — алгебраическая разность Δ между измеренным L и точным значением X какой-либо величины, $\Delta = L - X$.

ОШИБКА ВЕРОЯТНАЯ — значение ошибки случайной, по отношению к которому ошибки,

меньшие этого значения по абсолютной величине, встречаются так же часто, как и ошибки большие. Значение О. в. r вычисляют по формуле $r = 0,675m$, где m — ошибка средняя квадратическая.

ОШИБКА ВЕРОЯТНЕЙШАЯ — разность между результатом измерения и значением вероятнейшим измеренной величины (для заданных условий отыскания этого значения).

ОШИБКА ЕДИНИЦЫ ВЕСА — краткое название ошибки средней квадратической результата, вес измерения которого принят равным единице. Если p — вес результата, независимый от средней квадратической ошибки m этого результата, то О. е. в. может быть получена по формуле $\mu = m\sqrt{p}$. В случае ряда многократных измерений одной величины

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p_i \delta_i^2}{n-1}},$$

где p_i — веса результатов, δ_i — ошибки вероятнейшие, n — число результатов измерений.

ОШИБКА ОКРУГЛЕНИЯ — ошибка случайная, возникающая вследствие округления чисел при измерениях или вычислениях. Например, число 1,20, полученное в результате округления числа 1,24, будет содержать О. о., равную $1,20 - 1,24 = -0,04$.

ОШИБКА ОТНОСИТЕЛЬНАЯ — отношение ошибки абсолютной Δ какой-либо величины L к самой этой величине:

$$\frac{\Delta}{L} = \frac{1}{L/\Delta} = \frac{100}{L/\Delta} \%,$$

ОШИБКА ПРЕДЕЛЬНАЯ — наибольшее значение ошибки случайной, которого она может достигать, при заданных условиях измерений равнооточных. В теоретических расчетах для надежной оценки точности выдерживается условие: $n \geq 8$. При этом О. п. $\Delta_{пр}$ принимают (с вероятностью $P=0,997$) равной утроенному значению ошибки средней квадратической, $\Delta_{пр}=3m$. В практических расчетах, при числе измерений $n \geq 8$, с вероятностью $P=0,95$ в качестве О. п. принимают величину $2m$.

ОШИБКА СРЕДИННАЯ — значение ошибки вероятной, найденное расположением ряда ошибок абсолютных в порядке возрастания их величин. При нечетном числе измерений О. с. принимают равной ошибке, расположенной в середине ряда, а при четном — среднему из абсолютных значений двух ошибок, расположенных посредине ряда.

ОШИБКА СРЕДНЯЯ — величина ошибки, равная среднему арифметическому из абсолютных значений ошибок случайных Δ_i ряда

измерений равнооточных,

$$\Delta_{ср} = \frac{\sum |\Delta_i|}{n} = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2| + \dots + |\Delta_n|}{n}.$$

Соотношение между средней $\Delta_{ср}$ и ошибкой m — средней квадратической: $m = 1,25\Delta_{ср}$.

ОШИБКА СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧЕСКАЯ — основной критерий точности измеренных и вычисленных значений искомого величин. По отклонениям δ_i (ошибкам вероятнейшим) О. с. к. m вычисляется по формуле Бесселя:

$$m = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}}.$$

О. с. к. m_m самой О. с. к. зависит от числа измерений n : $m_m = m/\sqrt{2n}$. Величина m_m характеризует надежность суждения о точности измерений.

О. с. к. среднего арифметического простого из n измерений равнооточных:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n(n-1)}}.$$

ОШИБКИ ГРУБЫЕ — ошибки измерений, возникающие в результате явных промахов при измерениях, вычислениях или неучетом влияния внешней среды, которое не является малым. В теории ошибок О. г. не рассматриваются, так как их можно исключить контрольными и повторными измерениями (вычислениями). См. также *Погрешности грубые*.

ОШИБКИ ИЗМЕРЕНИЙ — отклонения результатов измерений от истинных их значений (или более точно измеренных). О. и. неизбежны при любых измерениях, вследствие неизбежности малых случайных различий в условиях проведения каждого измерения. Практикой установлено, что ряды случайных ошибок измерений равнооточных подчиняются закону распределения нормального и компенсируются при возрастании числа измерений. См. также *Ошибки и погрешности*, *Погрешности измерения*, *Погрешности случайные*.

ОШИБКИ И ПОГРЕШНОСТИ — термины синонимы, которые, при их явном смысловом сходстве, в геодезических дисциплинах имеют некоторые различия. Происхождение погрешностей измерений обычно субъективное, т. е. они, в принципе, могут не допускаться. Термин же «Ошибки измерений» отражает их неизбежность и по своей сути совпадает со смыслом термина «Погрешности случайные».

ОШИБКИ СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ (однообразные: односторонние и периодические) — ошибки измерений, вызванные конкретным их источником: неисправностью прибора, неточностью метода измерений, неполным учетом

влияния внешней среды, индивидуальными свойствами наблюдателя. См. также *Погрешности систематические*.

ОШИБКИ СЛУЧАЙНЫЕ — то же, что *Ошибки измерений*. См. также *Ошибки и погрешности*.

П

ПЗ-90 — координатная система Параметров Земли 1990 г., началом координат которой помещено с центром масс Земли с точностью около 1 м. Система закреплена координатами трех десятков пунктов КГС, 7 из которых установлены в Антарктиде. Погрешность положения пунктов — менее 30 см на 10 000 км.

ПАРАЛЛАКС СЕТКИ НИТЕЙ — кажущееся смещение положения предмета в *трубе зрительной* при перемещении глаза наблюдателя. Параллакс возникает в случаях, когда сетка нитей не совпадает с плоскостью изображения предмета. Для устранения параллакса сначала нужно установить трубу «по глазу» перемещением линзы окуляра. Затем с помощью *кремальеры* добиваются четкого и резкого изображения предмета.

ПАРАМЕТР ФИЗИЧЕСКИЙ — ФВ, рассматриваемая при измерении данной ФВ как вспомогательная.

ПИКЕТ — точка *трассы*, предназначенная для закрепления заданного интервала. При *нивелировании* трассы П. служит для установки на них реек. П. устанавливаются по оси трассы через каждые 100 м (как правило), а на застроенной территории чаще — 40, 20 и 10 м.

ПИКЕТАЖ — система обозначения и закрепления на месте точек *трассы*. Нумерацию точек ведут с начальной точки трассы, обозначаемой *пк0* (нулевой *пикет*), и продолжают ее в порядке возрастания по ходу трассы (*пк1*, *пк2* и т. д.).

ПЛАН КРАСНЫХ ЛИНИЙ — часть проекта детальной планировки города, на котором указаны установленные границы застройки. На основании П. к. л. определяют координаты *линий красных* и отметки для застраиваемых в городе участков.

ПЛАН ТРАССЫ — горизонт трассы — горизонт контуров *местности*, построенная вдоль *трассы* в заданном масштабе для полосы установленных размеров.

ПЛОСКОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНАЯ — любая плоскость, проходящая через *линию отвесную* в данной точке.

ПЛОСКОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ — плоскость, перпендикулярная к *линии отвесной* в данной точке.

ПЛОСКОСТЬ КОЛЛИМАЦИОННАЯ — плоскость, которая образуется при вращении *оси визирной* вокруг горизонтальной *оси трубы*

зрительной.

ПЛОСКОСТЬ МЕРИДИАНА МАГНИТНОГО — плоскость *вертикальная*, проходящая через концы магнитной стрелки (см. также *Меридиан магнитный*).

ПЛОСКОСТЬ ОТВЕСНАЯ — то же, что и *Плоскость вертикальная*.

ПЛОСКОСТЬ ФОКАЛЬНАЯ — геометрическое место фокусов оптической системы в геодезических приборах. П. ф. служит местом изображения бесконечно удаленной плоскости, перпендикулярной оптической оси системы. См. также *Фокусировка изображения*.

ПЛОТНОСТЬ ВЕРОЯТНОСТИ — см. в ст. *Распределение непрерывное*.

ПОВЕРКА (средств измерений) — совокупность операций, выполняемых аккредитованной МС с целью определения и подтверждения соответствия СИ установленным техническим требованиям.

ПОВЕРКА КОМПЛЕКСНАЯ (средств измерений) — *поверка*, при которой определяют МХ средства измерения, присущие ему как единому целому.

ПОВЕРКА НЕЗАВИСИМАЯ — *поверка* СИ, не требующая передачи размеров *единиц* ФВ от *эталона*.

ПОВЕРКА ПЕРИОДИЧЕСКАЯ — *поверка*, проводимая в сфере эксплуатации СИ через установленный межповерочный интервал.

ПОВЕРКА ПОЗЛЕМЕНТАРНАЯ (средств измерений) — *поверка*, при которой значения МХ средства измерения устанавливаются по МХ его элементов или частей.

ПОВЕРКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ — совокупность операций, выполняемых исполнителем до начала и (или) в процессе геодезических работ с целью определения технических характеристик СИ, необходимых для подтверждения готовности СИ к измерениям.

ПОВЕРХНОСТЬ УРОВЕННАЯ — поверхность, пересекающая *линии отвесные* во всех точках под прямым углом. П. у. образуют бесконечно большое семейство поверхностей. За основную П. у. Земли принят *геоид*.

ПОГРЕШНОСТИ — отклонения (ошибки) приведенные в результаты измерений в случаях: 1) когда при измерениях допускаются (по причинам разного рода) отступления от строгого их выполнения; 2) если при численных расчетах пользуются приближенными формулами; 3) когда количественные оценки выдаются при недостатке данных; 4) если теория вопроса недостаточно разработана и т. п. См. также *Погрешность измерения*.

ПОГРЕШНОСТИ ГРУБЫЕ — *погрешности* измерений возникающие в результате промахов при измерениях и вычислениях. Такие погрешности недопустимы, они полностью исклю-

чаются измерениями *избыточными*.

ПОГРЕШНОСТИ СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ — *погрешности* измерений возникающие за счет: инструментальных погрешностей мерных приборов, погрешности метода измерений, влияния внешней среды и личных качеств наблюдателя. П. с. стремятся по возможности исключить или учесть при организации и проведении самих измерений.

ПОГРЕШНОСТИ СЛУЧАЙНЫЕ — *погрешности* измерений сопутствующие всем измерениям неизбежно. Можно лишь ослабить их влияние на искомый результат за счет *измерений избыточных*. Закономерность распределения П. с. обнаруживается лишь при массовых испытаниях (измерениях). См. также *Гаусса распределение*, *Ошибки измерений*, *Ошибки и погрешности*.

ПОГРЕШНОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ — *погрешности* измерений, существующие в реальном приборе. Для *геодезических приборов* устанавливают пределы допустимых погрешностей.

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ — алгебраическая разность (отклонение) между полученным значением измеренной величины и истинным (или более точно измеренным) значением размера той же величины. Знак П. и. устанавливается по правилу вычитания — «измеренное значение минус более точное».

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ — определение по спутникам параметров пространственно-временного состояния объектов, таких как пространственные координаты объекта наблюдения, *вектор скорости* его движения, *приращение координат* по каждой координатной оси между двумя объектами (см. *Вектор базовый*), точное время наблюдения.

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ АБСОЛЮТНОЕ — *позиционирование* полных значений геоцентрических координат *приемника спутникового* (например, *засечкой линейной пространственной*). См. также *Засечка линейная*.

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ АВТОНОМНОЕ — *позиционирование* (одним *приемником спутниковым*) координат пункта *засечкой линейной пространственной* по *псевдодальностям* кодовым.

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ — способ определения координат *приемника спутникового* путем их уточнения по данным, получаемым с другого приемника, установленного на станции с известными координатами, называемой базовой, опорной, контрольно-корректирующей или референц-станцией.

ПОГРЕШНОСТЬ (средства измерений) — разность между показанием СИ и значением *истинным* (действительным) измеряемой ФВ.

ПОГРЕШНОСТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ (средства измерений) — составляющая *погрешности* СИ, возникающая дополнительно к *погрешности основной* вследствие отклонения какой-либо из влияющих ФВ от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

ПОГРЕШНОСТЬ ОСНОВНАЯ (средства измерений) — *погрешность* СИ, применяемого в нормальных условиях.

ПОГРЕШНОСТЬ ПРИВЕДЕННАЯ (прибора измерительного) — отношение погрешности прибора к нормирующему значению.

ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЕ — определение *приращений координат* по каждой координатной оси между двумя пунктами, на которых установлены антенны *приемников спутниковых*, выполняющих измерения в режимах *статики* или *кинематики*.

ПОЛЕ ЗРЕНИЯ — часть пространства, видимую в неподвижно расположенную *трубу зрительную* прибора. П. з. зрительной трубы характеризуется *углом поля зрения*.

ПОЛИГОН ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — 1) участок *местности* для проведения геодезических работ (учебных, исследовательских, испытательных); 2) построение геодезическое, элементы которого образуют многоугольник.

ПОЛИГОН ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ — территория и испытательные сооружения на ней, оснащенные средствами испытаний и обеспечивающие испытания объектов в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта.

ПОЛИГОНОМЕТРИЯ — метод построения *сети геодезической* в форме многоугольников, в которых измеряют все стороны и углы.

ПОПРАВКА — некоторая малая величина, алгебраически суммируемая с измеренным значением для получения более надежного результата в заданных условиях. Например, П. за провес мерного прибора (ленты, проволоки, рулетки) всегда вычитается из результата измерений.

ПОСТОБРАБОТКА — обработка данных после измерений.

ПОСТОЯННАЯ ДАЛЬНОМЕРА — *поправка*, сохраняющая свое значение и знак при измерениях *дальномером*.

ПРАВИЛЬНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ — качество измерений ФВ, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в *результатах измерения* этих величин.

ПРЕВЫШЕНИЕ — разность *высот* двух точек земной поверхности.

ПРИБОР (измерительный) — СИ, предназначенное для получения значения измеряемой ФВ в установленном диапазоне.

ПРИБОРЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ — *приборы измерительные* (механические, оптические и

электронные), служащие для производства измерений геодезических. П. г. подразделяются на приборы для измерения: 1) углов (теодолиты), 2) линий (мерные ленты, проволоки, рулетки, дальномеры), 3) превышений (нивелиры) и др.

ПРИБОРЫ ЛУЧЕВЫЕ — приборы геодезические, использующие энергию света для передачи информации. П. л. имеют источник излучения, оптическую систему (формирующую луч), отсчетное и установочное устройства. По источнику излучения П. л. делятся на приборы лазерные и тепловые.

ПРИБОРЫ ЛАЗЕРНЫЕ — приборы лучевые снабженные лазером, световой луч которого параллелен линии визирования, служащей для наведения луча. При выполнении наблюдений лазерный луч принимается за опорную линию, относительно которой производятся измерения.

ПРИБОРЫ МЕРНЫЕ ЛИНЕЙНЫЕ — приборы мерные, предназначенные для измерения длины линий на местности путем последовательного откладывания мерных лент, рулеток или проволоки.

ПРИБОРЫ УГЛОМЕРНЫЕ — приборы геодезические, предназначенные для измерения углов: теодолиты, угломеры, эклиметры и другие.

ПРИЕМ ИЗМЕРЕНИЙ (геодезических) — совокупность измерений, необходимая для однозначного получения результата геодезических измерений с заданной точностью.

ПРИЕМНИК ГЛОНАСС/GPS — приемник спутниковый, способный одновременно принимать радиосигналы ГЛОНАСС и GPS.

ПРИЕМНИК СПУТНИКОВЫЙ — основная составляющая аппаратуры пользователя (АП), предназначенная для позиционирования с использованием системы позиционирования глобальной (ГСЛ).

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ (средства измерения) — физический принцип, положенный в основу построения СИ данного вида.

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЙ — физическое явление или эффект, положенное в основу измерений.

ПРИНЦИП НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ — математическое условие, налагаемое на искомую совокупность поправок δ к приближенным значениям связанных между собой исследуемых величин. Например, к результатам геодезических измерений — условие, состоящее в требовании, чтобы сумма квадратов поправок

была минимальной, т. е. чтобы $\sum \delta^2 = \min$ при измерениях равноточных и $\sum p\delta^2 = \min$ при измерениях неравноточных, где p — вес измерений, к которым отыски-

ваются поправки δ (см. также *Способ наименьших квадратов*).

ПРИСПОСОБЛЕНИЯ РАЗБИВОЧНЫЕ — устройства, позволяющие повысить точность разбивочных работ на строительстве или установке оборудования. Например, установка анкерных болтов для закрепления металлоконструкций требует высокой точности разбивки и в плане, и по высоте. Часто применяемые виды П. Р.: шаблоны, монтажные кондукторы, отвес-линейки, специальные рейки, кроштинки и др.

ПРОВОЛОКА ИНВАРНАЯ — мерная проволока, изготовленная из инвара и предназначенная для точных измерений приборами мерными линейными.

ПРОВОЛОКИ И ЛЕНТЫ СО ШКАЛАМИ (стальные подвесные) — мерные линейные приборы длиной 24 и 48 м, измерения которыми производятся по головкам специальных штативов с натяжением проволоки динамометрами с той же силой, что и при компарировании. Линии измеряются с точностью до 1:10000.

ПРОВОЛОКИ ПОДВЕСНЫЕ ИНВАРНЫЕ — мерные линейные приборы со шкалами, имеющие длину 24 м. П. п. и. применяются в комплекте базисного прибора.

ПРОЛОЖЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ — проекция линии местности на горизонтальную плоскость.

ПРОФИЛЬ ТРАССЫ ПОПЕРЕЧНЫЙ — вертикальный разрез местности в перпендикулярном к трассе направлении. П. т. п. разбивают на 15 — 30 м (и более, при необходимости) в обе стороны от оси трассы; горизонтальный и вертикальный масштабы профиля берутся, как правило, одинаковыми.

ПРОФИЛЬ ТРАССЫ ПРОДОЛЬНЫЙ — след сечения местности по оси сооружения (трассы) на вертикальной плоскости. Горизонтальные масштабы, чаще всего: 1/2000 и 1/5000. Вертикальный масштаб для большей наглядности укрупняют, обычно в 10 раз.

ПСЕВДОДАЛЬНОСТЬ — искаженная погрешностями дальность от объекта наблюдения до спутника. П. отличается от дальности истиной на величину, пропорциональную расстоянию шкал времени на спутнике и в приемнике пользователя.

ПСЕВДОСКОРОСТЬ — скорость изменения расстояния между спутником и приемником, определенная без учета отличия частоты соответствующих электрических колебаний в приемнике пользователя от номинальных значений частоты на спутнике. Используется для определения вектора скорости перемещения приемника спутникового.

ПУНКТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — точка сети геодезической закрепленная на местности заложенным в землю центром и возведенным

над ним знаком геодезическим, окопанным канавой. Координаты центра П. г. и углы направлений на пункты ориентирные указываются в каталогах геодезических.

ПУНКТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ГРУНТОВЫЙ — пункт геодезический, состоящий из заложенных в землю бетонных монолитов ниже глубины промерзания грунта. Центр пункта обозначают чугунными марками, заделанными в верхние грани монолита. Сверху ставят опознавательный столб, несколько возвышающийся над уровнем земли.

ПУНКТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ ИСХОДНЫЙ — геодезический пункт, относительно которого определено положение других пунктов геодезических.

ПУНКТ ОРИЕНТИРНЫЙ — пункт, закрепляющий на местности направление с заданного пункта геодезического. П. о. отмечаются заложенным в землю центром и установленным на нем столбом, окопанным круговой канавой. От пункта заданного П. о. располагается на расстоянии 250 — 1000 м, т. е. так, чтобы он мог быть виден в теодолит.

ПУНКТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ (временные) — пункты геодезические, закрепленные на местности деревянными кольями (стальными трубками) длиной несколько дециметров, которые забиваются в грунт вровень с уровнем земли. Рядом, для их обозначения, забивают другой колышек (сторожок) с поясняющими надписями.

ПУНКТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ (стенные) — пункты геодезические, закрепленные в цоколе капитальных зданий. Г. п. с. представляют собой чугунные марки или реперы, изготовленные из стального уголка, с обозначенной точкой центра геодезического.

ПЯТКА РЕЙКИ — основание рейки нивелирной, предназначенной для установки на репер, башмак или костыль. Нулевой отсчет по черной стороне рейки совпадает с П. р. Нулевой отсчет по красной стороне смещается на 48 см.

Р

РАБОТЫ ПОЛЕВЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ — геодезические работы, выполняемые на местности. Это: рекогносцировка, закладка центров и постройка знаков, линейные и угловые измерения, пикетирование и др. работы.

РАБОЧАЯ ОБЛАСТЬ — то же, что Область значений влияющей величины, рабочая.

РАБОЧИЕ УСЛОВИЯ — то же, что Условия измерений, рабочие.

РАДИОДАЛЬНОМЕРЫ — дальномеры электрооптические, состоящие, как правило, из 2-х приемо-передающих радиостанций. Р. отличаются большим разнообразием технических и конструктивных особенностей: даль-

стью действия — от 30 м до 150 км, точностью измерения — от одного до нескольких сантиметров, габаритами и др.

РАЗМЕР (физической величины) — количественная определенность ФВ, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

РАЗМЕР ЕДИНИЦЫ (физической величины) — количественная определенность единицы ФВ, воспроизводимой или хранимой средством измерения.

РАЗМЕРНОСТЬ (физической величины) — выражение, отражающее связь ФВ с основными величинами системы, в котором коэффициент пропорциональности принят равным 1.

РАЗНОСТИ ВТОРЫЕ — разности, образуемые при позиционировании относительно из разностей первых фазовых измерений с двух спутниковых приемников на два разных спутника.

РАЗНОСТИ ПЕРВЫЕ — разности, образуемые в позиционировании относительно из фазовых измерений, выполняемых с двух станций на один и тот же спутник.

РАЗНОСТИ ТРЕТЬИ — разности, образованные из разностей вторых, сформированных в две разные эпохи.

РАЗРЕШЕНИЕ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ — определение неизвестного целого числа электромагнитных волн, укладывающихся в расстоянии, измеряемом методом фазовым.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕПРЕРЫВНОЕ — распределение случайной величины X (измерения), при котором существует функция $p(x)$ такая, что вероятность попадания величины X в любой интервал (a, b) равна интегралу

$$\int_a^b p(x) dx.$$

Функцию $p(x)$ называют плотностью вероятности. Пример Р. н. — Распределение нормальное.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНОЕ — то же, что Гаусса распределение.

РЕЗУЛЬТАТ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ — совокупность данных измерений, полученных после их завершения, постобработки и оформления в виде конечной или промежуточной информации.

РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ — значение ФВ, полученное путем ее измерения.

РЕЙКА НИВЕЛИРНАЯ — геодезический инструмент, применяющийся в комплекте с нивелиром для определения превышений. Р. н. изготавливают в виде жесткого стержня прямоугольного или двутаврового сечения длиной 3 — 4 м со шкалой, нанесенной на лицевой поверхности. Для технического нивелирования применяют складные и раздвижные рейки. Раз-

личают Р. н. *подвесные, шашечные и штриховые*.

РЕЙКИ НИВЕЛИРНЫЕ ПОДВЕСНЫЕ — рейки *нивелирные*, применяемые для привязки ходов *нивелирных* к стенным *маркам нивелирным*. Длина Р. н. п. около 1 м, подвешивают ее на штифте, который вставляется в отверстие марки.

РЕЙКИ НИВЕЛИРНЫЕ ШАШЕЧНЫЕ — рейки *нивелирные*, имеющие деления с одной или с 2-х сторон. Окраска делений: на одной стороне черно-белая, на другой — красно-белая. Каждая шашка имеет ширину 1 см, цифровые надписи — через дециметр. Нули шкал на лицевой и обратной сторонах смещены на 48 см.

РЕЙКИ НИВЕЛИРНЫЕ ШТРИХОВЫЕ — рейки *нивелирные* для высокоточного нивелирования. На лицевой стороне реек имеется продольный паз, в котором натянута инварная полоса с двумя рядами штрихов толщиной 1 мм и расстоянием между их осями 5 мм. Две шкалы смещены на 2,5 мм одна от другой и обозначены цифрами через 5 см. На одной шкале пятисантиметровые надписи пронумерованы от 1 до 60, на другой — от 60 до 119. Р. н. ш. снабжены круглым уровнем.

РЕКОГНОСЦИРОВКА — осмотр и обследование местности с целью уточнения: проекта проведения *работ полевых геодезических*, местоположения пунктов геодезического обоснования, взаимной видимости между соседними пунктами и условий для проведения измерений.

РЕЛЬЕФ — совокупность неровностей (суши, дна водоемов, морей и океанов) разнообразных по очертанию, размерам, происхождению и возрасту. Слагается из выпуклых и вогнутых форм. См. также *Горизонталь*.

РЕПЕР — *знак геодезический*, заделанный в стену сооружения или в грунт. Обозначает и закрепляет на местности точку, *высота абсолютная* которой определена *нивелированием*.

РЕПЕР ГЛУБИННЫЙ — *репер*, устанавливаемый на строительной площадке для наблюдений за осадками сооружений. Р.г. закладывают на большую глубину, его головка (из бронзы или нержавеющей стали) имеет вид полусферы. Над репером устанавливают защитное устройство (колпак с крышкой) заполненное опилками до уровня головки.

РЕПЕР ГРУНТОВЫЙ — *репер*, закладываемый в грунт ниже глубины промерзания. Выполняется из бетонного монолита с полусферической маркой, заделанной в верхней части. Головку Р. г. устанавливают на 0,5 м ниже земной поверхности. На расстоянии 1 м от репера ставят опознавательный столб с охранной табличкой, обращенной в сторону репера.

РЕПЕР ИСХОДНЫЙ — наиболее надежный

из системы *реперов глубинных*, отметка которого принята в качестве исходной при наблюдениях за осадками сооружений.

РЕПЕР СТЕННОЙ — *репер нивелирной сети геодезической*, закладываемый в цоколи каменных зданий и сооружений, обеспечивающих неизменность его положения по высоте. Репер имеет сектор с ребром, на который устанавливают рейку при нивелировании.

РЕФЕРЕНЦ-СТАНЦИЯ — см. *Позиционирование дифференциальное*.

РЕФЕРЕНЦ-ЭЛЛИпсоИД — земной эллипсоид, служащий вспомогательной математической поверхностью, к которой приводят результаты геодезических измерений на земной поверхности. Р.-э. характеризуется большой и малой полуосями, а также полярным сжатием.

РСИ — рабочее средство измерений; то же, что *Средство измерений, рабочее*.

РУЛЕТКИ — *мерные линейные приборы* длиной 5, 10, 20 и 50 м, применяемые для измерения коротких линий. Точность измерения стальной Р. может быть доведена до 1:5000. Тесьманные Р. применяют в случаях, когда погрешностью в несколько сантиметров можно пренебречь.

РЭ — рабочий эталон; то же, что *Эталон рабочий*.

С

СВЕТОДАЛЬНОМЕРЫ — точные или высокоточные *дальномеры электрооптические* светового диапазона, предназначенные для измерения расстояний, измерения *базисов геодезических*, смещений и деформаций при строительстве и эксплуатации сооружений. По дальности различают С.: большие — до 30—50 км, средние — до 15 км и малые — до 2 км.

СЕРТИФИКАЦИЯ (средств измерения) — деятельность по подтверждению соответствия СИ установленным требованиям.

СЕТКА НИТЕЙ — система штрихов, расположенных в плоскости изображения, даваемого объективом *трубы зрительной геодезического прибора*, служащая для обозначения *оси визирной* и наведения ее на изображенные наблюдаемых предметов, путем совмещения пересечения нитей с направлением на предмет.

СЕТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — система пунктов на земной поверхности, закрепленных на *местности* специальными знаками и центрами, положение которых определено в плановом отношении и по высоте.

СЕТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ — *сеть геодезическая*, служащая основой для общегосударственных съемок и для развития сетей специального назначения; то же, что *ГГС*.

СЕТЬ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ ДОПЛЕРОВСКАЯ — *сеть геодезическая*, созданная в России в 1984-1993 гг. малогабаритными приборами с дециметровой точностью; то же, что *ДГС*.

СЕТЬ ПУНКТОВ ITRF — *сеть пунктов геодезических*, в которой закрепляют начало координат в центре масс Земли и ориентируют оси координат относительно экватора и плоскости *Гринвича меридиана*. Точность положения пунктов оценивается *погрешностью* до 10 см.

СЕТЬ СТАНЦИЙ IGS — *сеть пунктов геодезических* с непрерывно действующими на них приемниками (см. *Приемник ГЛОНАСС/GPS*). В России на начало 2000 г. имелось 12 станций *IGS*.

СИГНАЛ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ — сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой *величине физической*.

СИСТЕМА ЕДИНИЦ (физических величин) — совокупность основных и производных единиц ФВ, образованная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы ФВ.

СИСТЕМА, ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ — функционально объединенные меры, приборы, преобразователи, ЭВМ и другие ТС, размещенные в разных точках контролируемого объекта для измерений одной или нескольких ФВ, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов в разных целях.

СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНАЯ — система ИСЗ, предназначенная для *позиционирования*; то же, что *ГСП*. С. п. г. состоит из трех подсистем: 1) Наземного комплекса управления (НКУ), 2) Космических аппаратов (КА), 3) Аппаратуры пользователей (АП).

СИСТЕМА WGS-84 — Мировая координатная система 1984 г., в которой работает *ГСП (GPS)*, см. *Система позиционирования глобальная*.

СК-95 — единая система координат 1995 г., установленная Постановлением Правительства РФ от 28 июля 2000 г. для геодезических и картографических работ. Система СК-95 построена на *эллипсоиде Красовского*, оси которого ориентированы параллельно соответствующим осям в координатной системе ПЗ-90.

СКП — средняя квадратическая погрешность. См. также *Ошибка средняя квадратическая, Ошибки и погрешности*.

СЛИЧЕНИЕ МЕР (или приборов измерительных) — разновидность *поверки*, при которой проводится прямое сравнение двух мер (или показаний двух приборов).

СЛУЖБА МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ — служба, создаваемая в соответствии с законодательством для выполнения работ по ОЕИ и для осуществления *контроля и надзора метрологического*.

СОЗВЕЗДИЕ СПУТНИКОВ — вполне определенное расположение в космическом пространстве спутников *системы позиционирования глобальной*.

СООБЩЕНИЕ НАВИГАЦИОННОЕ — послание, передаваемое каждым спутником, содержащее системное время, параметры исправления часов, параметры модели ионосферной задержки, данные о «здоровье» спутника, его *эфемериды и альманах*. Информация используется для обработки результатов *позиционирования*, а также для планирования измерений *геодезических*.

СПОСОБ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ — математический метод обработки результатов измерений, базирующийся на *принципе наименьших квадратов*. При наличии избыточных измерений возникает задача удовлетворения численных соотношений между измененными величинами путем введения поправок в результаты измерений. Если названные поправки подчинить требованию, чтобы сумма их квадратов была минимальной, то поставленная задача будет иметь решение. Существует различные приемы ее решения.

СРЕДНЕЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ ВЕСОВОЕ — среднее арифметическое *L* из *n* результатов *L_i* *неравноточных измерений* какой-либо величины, найденное с учетом *весов измерений p_i* по формуле:

$$L = \sum p_i L_i / \sum p_i$$

СРЕДНЕЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ ПРОСТОЕ — среднее арифметическое *L* из *n* результатов *L_i* *измерений равноточных* какой-либо величины, найденное по формуле

$$L = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n} = \frac{\sum L_i}{n}$$

См. также *Среднее арифметическое весовое*.

СРЕДСТВО ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ — техническое *средство измерений* (приборы, меры, установки, системы), предназначенные для выполнения измерений в геодезическом производстве.

СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ — техническое средство для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее или хранящее единицу ФВ, *размер* которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течении известного интервала времени

СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ, РАБОЧЕЕ — *средство измерений*, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы ФВ другим средствам измерения.

СРЕДСТВО ПОВЕРКИ — *эталон, установка поверочные* и другие СИ, применяемые при *поверке* в соответствии с установленными правилами.

СТАБИЛЬНОСТЬ (средства измерений) — качественная характеристика СИ, отражающая неизменность во времени его характеристик метрологических.

СТАНДАРТ — см. *Дисперсия и стандарт.*

СТАНЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — точка на местности, в которой устанавливаются приборы геодезические для наблюдений.

СТАТИКА — способ позиционирования, при котором методом фазовым измеряются дальности от двух приемников спутниковых до 4-х и большего числа спутников и по этим данным определяются приращения координат (вектор базовый) между антеннами приемников.

СТВОР — вертикальная плоскость, проходящая через две точки, не лежащие на одной вертикали. Построить створ точек *A* и *B* — зафиксировать метками на местности ряд точек, лежащих в одной плоскости вертикальной с *A* и *B*.

СХЕМА ПОВЕРОЧНАЯ — нормативный документ, устанавливающий соподчинение СИ, участвующих в передаче размера единицы ФВ от эталона рабочим СИ, утвержденный в установленном порядке. Различают ГПС и ЛПС.

СХЕМА ПОВЕРОЧНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ — поверочная схема, действующая в масштабе всей страны.

СХЕМА ПОВЕРОЧНАЯ ЛОКАЛЬНАЯ — поверочная схема, применяемая в масштабе отрасли или отдельного предприятия.

СХОДИМОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ — качество измерений ФВ, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях измерений.

СХЕМА ХОДОВ — чертеж, на который наносят исходные пункты, проложенные ходы и узловые точки. С. х. составляется для выбора правильной последовательности вычислений и обработки полученных результатов измерений.

СЪЕМКА ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — установление фактического положения элементов местности (или объектов сооружения) в плоскости вертикальной и в плане с использованием приборов геодезических.

СЪЕМКА ГЛАЗОМЕРНАЯ — упрощенный способ съемки с целью быстрого получения приближенного схематического плана участка местности.

СЪЕМКА ТЕОДОЛИТНАЯ — съемка геодезическая, выполняемая при помощи теодолита и мерной ленты (или дальномера) для определения координат точек, необходимых при составлении контурного плана участка местности.

СЪЕМКА ТОПОГРАФИЧЕСКАЯ — см. в ст. *Топография.*

СЪЕМКА МЕНЗУЛЬНАЯ — вид топографической съемки, выполняемой на местности при помощи мензулы и кипрегеля.

при помощи мензулы и кипрегеля. Результат С. м. — оригинал карты, вычерченной в карандаше. Применяется как вспомогательный метод при аэрофотографической съемке.

Т

ТАХЕОМЕТР — прибор геодезический, предназначенный для измерений на местности углов горизонтальных, углов вертикальных, расстояний и превышений, т. е. это теодолит с дальномером. Различают оптико-механические и электроннооптические тахеометры.

ТАХЕОМЕТР ЭЛЕКТРОННЫЙ — тахеометр, в конструкции которого объединены: теодолит кодовый и светодальномер малый. Визирной целью служит специальная вежа с призмным отражателем. Результаты измерений высвечиваются на электронном цифровом табло и заносятся в память прибора.

ТАХЕОГРАФ — тахеометр, снабженный столиком в виде диска, позволяющим в процессе съемки графически отображать ее результаты. При этом не ведется абрис.

ТЕОДОЛИТ — прибор геодезический для измерения и построения на местности углов горизонтальных. Конструкция большинства Т. позволяет измерять и углы вертикальные, но с меньшей точностью, чем горизонтальные.

ТЕОДОЛИТ КОДОВЫЙ — теодолит, который содержит, для автоматической регистрации отсчетов по лимбу, преобразователь типа «угол — код».

ТЕОДОЛИТ ОПТИЧЕСКИЙ — теодолит, отсчетные устройства которого выполнены в виде оптических микрометров и микроскопов, а круги угломерные — из особого стекла.

ТИП СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ — совокупность СИ одного и того же назначения, основанная на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же ТД.

ТОПОГРАФИЯ — раздел геодезии, занимающийся изучением земной поверхности и разработкой способов ее изображения в виде топографических карт или планов. Комплекс работ по созданию топографических карт называется топографической съемкой.

ТОЧКА ЗАКЛАДНАЯ — точка, закрепленная в фундаменте (или иной конструкции) на монтажном горизонте, фиксирующая одну из осей возводимого сооружения.

ТОЧКА РЕЕЧНАЯ — точка местности, на которой устанавливают рейки нивелирные (в местах перегиба местности), чтобы обеспечить точность съемки рельефа. При съемке контура Т. р. располагают на всех поворотах.

ТОЧКА УЗЛОВАЯ — точка, общая для трех или более ходов нивелирных, теодолитных и полигонометрических.

ТОЧКИ БАЗИСНЫЕ — конечные точки базиса геодезического, закрепленные на местности постоянными центрами.

ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ — степень приближения результатов геодезических измерений к истинному значению измеряемой величины. Термин «Т. и.» по смыслу понятие обратное ошибке измерений, но не имеет своего обозначения. Т. и. характеризуется ошибкой относительной результата измерений и ошибкой средней квадратической.

ТОЧНОСТЬ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ — характеристика качества СИ, отражающая близость погрешности СИ к нулю.

ТРАССА — ось проектируемого протяженного (линейного) сооружения, обозначенная на местности или нанесенная на карте. См. также План трассы, Продольный профиль трассы, Поперечный профиль трассы.

ТРЕУГОЛЬНИК ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИЙ — треугольник, по элементам которого определяют расстояние в дальномерах оптических. См. также Угол параллактический.

ТРИАНГУЛЯЦИЯ — метод построения сети геодезической в виде смежно расположенных треугольников, в которых измеряют их углы и длину хотя бы одной стороны.

ТРИЛАТЕРАЦИЯ — метод определения взаимного планового положения геодезических пунктов путем построения на местности систем расположенных смежно треугольников, в которых измеряются длины их сторон.

ТРУБА ЗРИТЕЛЬНАЯ — увеличительный оптический прибор для визуального наблюдения удаленных предметов. Т. з. включает в себя объектив, окуляр и др. элементы.

У

УВЕЛИЧЕНИЕ ТРУБЫ ЗРИТЕЛЬНОЙ — отношение угла, под которым виден предмет в трубу зрительную, к углу, под которым виден предмет невооруженным глазом. Для теодолитов технической точности У. т. з. обычно равно 20 — 25.

УГОЛ ВЕРТИКАЛЬНЫЙ — угол, лежащий в плоскости вертикальной. У. в. измеряется углом наклона теодолита относительно горизонта. Для измерения У. в. теодолит снабжен кругом вертикальным угломерным, алидаду которого устанавливают в рабочее положение по уровню или с помощью компенсатора маятникового.

УГОЛ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ — плоский угол в плоскости горизонтальной, выражающий величину двугранного угла, образованного

плоскостями вертикальными, проходящими через отвесную линию.

УГОЛ НАКЛОНА — угол, образованный линией визирования и горизонтальной плоскостью.

УГОЛ ЗАСЕЧКИ — угол, образованный двумя направлениями с 2-х исходных пунктов на определяемый пункт (в случае его определения методом засечки прямой угловой). У. з. не должен быть менее 30 и более 120°.

УГОЛ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИЙ — угол, под которым в дальномерах оптических виден базис дальномера с концов измеряемой линии.

УГОЛ ПОВОРОТА ТРАССЫ — угол отклонения трассы от предыдущего направления. У. п. т. может быть левым или правым.

УГОЛ ПОВОРОТА ХОДА ТЕОДОЛИТНОГО — угол между направлениями на две смежные точки хода теодолитного, исходящими из вершины ломаной линии хода.

УГОЛ ПОЛЯ ЗРЕНИЯ — угол, вершина которого находится в оптическом центре объектива, а стороны опираются на диаметр диафрагмы сетки нитей. В трубах зрительных обычно У. п. з. равен 1,0 — 1,5°. При малых углах поля зрения наведение трубы на цель затрудняется.

УКЛОН — величина *i*, характеризующая крутизну угла наклона линии. У. вычисляют по формуле: $i = \text{tg} \alpha = (h/d)$, где *h* — превышение между точками, *d* — продолжение горизонтальное. Крутизна участка трассы характеризуется уклоном поперечным и продольным.

УКЛОН ПРЕДЕЛЬНЫЙ — термин, обозначающий величину предельно допустимых углов наклона трассы (максимальных или минимальных).

УРОВЕНЬ — 1) самостоятельный прибор для проверки горизонтальности линий и поверхностей, а также для измерений малых углов наклона; 2) устройство для определения положения прибора геодезического (или его отдельных узлов) относительно линии отвесной.

УРОВЕНЬ ЖИДКОСТНЫЙ — уровень с прозрачной ампулой, заполненной жидкостью с одним газовым пузырьком. У. ж. снабжен оправой для крепления, регулировки и защиты от внешних влияний. Различают уровни цилиндрические и уровни круглые.

УРОВЕНЬ КОНТАКТНЫЙ — уровень цилиндрический, снабженный системой призм, позволяющих получить совмещенное изображение двух концов пузырька. Уровень считается установленным в нуль-пункте уровня, если изображения 2-х половин концов пузырька совмещены.

УРОВЕНЬ КРУГЛЫЙ — уровень жидкостный, внутренняя поверхность ампулы которого

имеет форму сферы. На наружную поверхность ампулы наносятся концентрические окружности, центр которых определяет положение нуль-пункта уровня круглого.

УРОВЕНЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ — уровень жидкостный, внутренняя поверхность ампулы которого имеет форму тороида вращения дуги (окружности радиусом от 3 до 200 м). Ампула заполняется жидким эфиром, пузырек — его парами. На наружной поверхности ампулы нанесены деления (по окружности через 2 мм). См. также Нуль-пункт уровня, Ось уровня цилиндрического.

УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ — условия, характеризующиеся пятью признаками, дополняющими друг друга в процессе измерения. Это признаки: объекта измерения, метода измерения, прибора мерного, субъекта измерения и внешней среды.

УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, НОРМАЛЬНЫЕ — условия измерений, характеризующие совокупностью значений влияющих величин, при которых изменением результата измерений пренебрегают вследствие малости.

УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ, РАБОЧИЕ — условия измерений, при которых значения влияющих физических величин находятся в пределах их рабочих областей.

УСТАНОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ — совокупность функционально объединенных мер, приборов, преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких ФВ, расположенная в одном месте.

УСТАНОВКА ПОВЕРОЧНАЯ — установка измерительная, укомплектованная эталонами рабочими и предназначенная для проверки рабочих средств измерений и подчиненных рабочих эталонов.

УСТРОЙСТВО ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ — часть прибора измерительного (установки), связанная с измерительным сигналом и имеющая обособленную конструкцию и назначение.

УСТРОЙСТВО ОТСЧЕТНОЕ — часть конструкции СИ, предназначенная для отсчитывания значения измеряемой ФВ.

УСТРОЙСТВО ПОКАЗЫВАЮЩЕЕ — совокупность элементов СИ, которые обеспечивают визуальное восприятие значений измеряемой ФВ или связанных с ней величин.

УСТРОЙСТВО РЕГИСТРИРУЮЩЕЕ — совокупность элементов СИ, которые регистрируют значение измеряемой ФВ или связанной с ней величины.

УТВЕРЖДЕНИЕ ТИПА (средств измерений) — решение уполномоченного органа о признании типа СИ законным для применения на основании результатов их испытаний специализированной организацией, аккредитованной Госстандар-

том России.

Ф

ФАКТОР ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ — характеристика влияния взаимного расположения спутников на небосводе на точность вычисляемого по измеряемым параметрам местоположения точки. Ф. г. оценивается числами, показывающими, во сколько раз потеряна точность в положении точки (в плоскости — $HDOP$, по высоте — $VDOP$, в пространстве — $PDOP$) по отношению к точности определения этих параметров.

ФВ — физическая величина; то же, что Величина физическая.

ФОКУСИРОВКА ИЗОБРАЖЕНИЯ — операция перемещения отдельных частей оптической системы для получения отчетливого изображения объекта наблюдения. В трубах зрительных Ф. и. сводится к четкости изображения в плоскости сетки нитей.

ФОКУСИРОВКА ИЗОБРАЖЕНИЯ ВНЕШНЯЯ — фокусировка изображения, осуществляемая перемещением окулярной части трубы зрительной до совмещения плоскости нитей сетки нитей с изображением предмета в трубе.

ФОКУСИРОВКА ИЗОБРАЖЕНИЯ ВНУТРЕННЯЯ — фокусировка изображения, осуществляемая перемещением фокусирующей линзы внутри трубы зрительной до совмещения плоскости нитей сетки нитей с изображением предмета наблюдения.

ФОТОГРАММЕТРИЯ — техническая дисциплина, изучающая способы определения координат точек объектов по их изображениям на фотоснимках.

Х

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ — характеристика одного из свойств СИ, влияющая на результат измерений и на его погрешность.

ХАРАКТЕРИСТИКИ, НОРМИРУЕМЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ — совокупность характеристик метрологических данного типа СИ, устанавливаемая нормативно-техническими документами на СИ.

ХОД ВИСЯЧИЙ — разомкнутый ход нивелирный или ход теодолитный, опирающийся на один пункт геодезический исходный и не имеющий привязки в конце хода.

ХОД ЗАМКНУТЫЙ — геодезическое построение на местности в виде ломаных линий, образующих замкнутую геометрическую фигуру. Теоретические суммы приращений координат и превышений в Х. з. равны нулю.

ХОД НИВЕЛИРНЫЙ — система точек на местности, через которые последовательно производится нивелирование. В начале и конце

Х. н. в качестве пунктов геодезических исходных принимают пункты более высокого класса точности. Длина Х. н. и его точность регламентируется «Инструкцией по нивелированию».

ХОД ТЕОДОЛИТНО-НИВЕЛИРНЫЙ — один из способов создания плано-высотного обоснования при выполнении работ полевых геодезических на строительной площадке. См. также Ход нивелирный, Ход теодолитный.

ХОД ТЕОДОЛИТНЫЙ — проложенная на местности ломаная линия для определения координат пунктов съемочного обоснования данной местности. По форме Х. т. может быть замкнутым, разомкнутым или в виде системы ходов с узловыми точками. В полигонометрии Х. т. называют ходы, в которых стороны многоугольника измеряют стальными мерными лентами (рулетками) или дальномерами, а углы — теодолитами с точностью 30" или 1'.

Ц

ЦЕЛЬ ВИЗИРНАЯ — геодезический знак, устанавливаемый на земной поверхности для наблюдения его с других пунктов. Различают Ц. в. постоянные (закрепленный визирный цилиндр) и временные (веха с шашечной раскраской, визирная марка). Оптимальная ширина Ц. в. четко видима и помещается в биссекторе зрительной трубы геодезического прибора.

ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ — угловая или линейная величина, соответствующая одному делению шкалы прибора мерного. Ц. д. шкал приборов геодезических устанавливается в зависимости от их назначения и точности.

ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ РЕЙКИ — цена деления линейной шкалы рейки. Для высокоточного нивелирования Ц. д. р. равна 5 мм, для точного и технического нивелирования — 10 мм.

ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ УГЛОМЕРНОГО КРУГА — цена деления, характеризующаяся центральным углом между радиусами круга угломерного, проходящими через соседние штрихи шкалы. У теодолитов технической точности Ц. д. у. к. равна 10, 20, 30" или 1°.

ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ УРОВНЯ — угол наклона, на который надо изменить положение оси уровня цилиндрического, чтобы его пузырек переместился на одно деление. У теодолитов с точностью отсчета 30"—1' цена деления уровня цилиндрического в пределах 30 — 60", уровня круглого — порядка 3 — 5'.

ЦЕНТР АНТЕННЫ ФАЗОВЫЙ — точка антенны приемника спутникового, к которой отнесены все измерения; именно она центрируется над пунктом и до нее измеряется высота антенны.

ЦЕНТР ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — устройство, являющееся материальным носителем координат пункта геодезического.

Ч

ЧЕРТЕЖ РАЗБИВОЧНЫЙ — чертеж, содержащий все необходимые данные для перенесения элементов разбивочных сооружений в натуру.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ УРОВНЯ — цена деления и четкость, с которой пузырек уровня фиксирует углы наклона оси уровня. Ч. у. зависит от радиуса кривизны и качества внутренней поверхности ампулы уровня. Чувствительность уровней контактных примерно в 3 раза выше Ч. у. цилиндрических при той же цене деления и прочих равных условиях.

Ш

ШАГОМЕР — прибор для измерения расстояний в шагах.

ШИРОТА ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ — угол, составленный направлением нормали к референц-эллипсоиду в данной точке с плоскостью геодезического экватора.

ШКАЛА — отметки и числа, нанесенные на отсчетном устройстве вдоль прямой (или кривой) линии и изображающие ряд последовательных значений измеряемой величины.

ШПИЛЬКИ ЗЕМЛЕМЕРНЫЕ — стальные шпильки длиной 25 — 40 см и диаметром 5 — 6 мм. Один конец Ш. з., втыкаемый в землю, заострен, а на ее другом конце имеется кольцо (для переноски и вытаскивания). В комплект ленты мерной входит 10 шпилек.

ШПИЛЬКИ ИСПРАВИТЕЛЬНЫЕ — стальные шпильки длиной до 60 мм с переменным диаметром (от 1,5 до 3 мм), используемые для вращения винтов установочных.

ШТАТИВ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — принадлежность прибора геодезического, предназначенная для установки на грунт и закрепления на нем прибора в рабочем положении.

Э

ЭЛЕМЕНТЫ РАЗБИВОЧНЫЕ — линейные, угловые и высотные проектные параметры сооружения, необходимые для определения их положения на местности.

ЭЛЛИПСОИД КРАСОВОСКОГО — эллипсоид, принятый в качестве референц-эллипсоида в 1946 г; его параметры: полуось — 6378245 м, сжатие — 1/298,3.

ЭКВАТОР ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ — сечение референц-эллипсоида плоскостью, проходящей

через центр эллипсоида и перпендикулярной к его малой оси.

ЭКЗАМЕНАТОР — контрольно-измерительное средство для высокоточных измерений или воспроизведения малых углов наклона в ограниченном диапазоне.

ЭКЗАМЕНАТОР УРОВНЕЙ — экзаменатор, предназначенный для определения цены деления уровней. Для исследования уровней приборов геодезических используют Э. у. с ценой делений $\tau = 1''$, иногда с $\tau = 2$ или $\tau = 5''$.

ЭККЕР — портативный прибор геодезический для определения планового положения пунктов путем построения на местности углов, кратных 90 или 45°. Применяется при съемке небольших участков местности.

ЭКЛИМЕТР — портативный геодезический прибор для измерения углов наклона линий на местности с точностью до десятых долей градуса.

ЭКСЦЕНТРИСИТЕТ АЛИДАДЫ — несовпадение центров лимба и алидады. У теодолитов оптических Э. а. исключается измерением угла в двух положениях трубы зрительной, т. е. при «круге право» КП и «круге лево» КЛ.

ЭПОХА — опорная точка на шкале времени; фиксированный момент начала одновременно приема приемниками спутниковыми сигналами всех наблюдаемых спутников системы позиционирования глобальной (ГСП).

ЭТАЛОН (единицы физической величины) — средство измерений или комплекс СИ, предназначенные для воспроизведения и (или) хранения единицы ФВ и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме СИ и утвержденное в установленном порядке.

ЭТАЛОН ИСХОДНЫЙ — эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами из имеющихся эталонов, от которого получают размер единицы подчиненные СИ.

ЭТАЛОН РАБОЧИЙ — эталон, предназначенный для передачи размера единицы ФВ рабочим СИ.

ЭФЕМЕРИДЫ — 1) таблицы, содержащие заранее вычисленные значения быстро изменяющихся во времени величин (координат Солнца, например) на выбранные даты и моменты суток; 2) данные, содержащие информацию, позволяющую пользователю определить с высокой точностью текущие координаты конкретного спутника, входят в сообщение навигационное, передаваемое этим спутником ГСП.

Ю

ЮСТИРОВКА ПРИБОРА — исправление взаимного положения отдельных частей прибора геодезического для восстановления нарушенной геометрической схемы прибора. Осуществляют Ю. п. с помощью винтов исправительных.

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИБОРНОЙ ПОПРАВКИ ДАЛЬНОМЕРА

П2.1. Пример определения приборной поправки из измерений интервала базиса со смещением отражателя

Дата: 17.09.98, $t = +14,5^\circ\text{C}$

$P = 757$ мм рт. ст. (1009,25 кПа)

Светодальномер СГ-20 № 004, погрешность интервала контрольного базиса не более 1,5 мм

Номер точки стояния отражателя	Длина контрольного интервала D_0 , мм	Длина интервала измеренная даль- номером $D_{\text{изм}}$, м	$K = D_0 - D_p$ мм	$v = K_j - K_{\text{ср}}$ мм
1.	443,070	443,262	- 192	+ 7
2.	443,570	443,769	- 199	0
3.	444,070	444,274	- 204	- 5
4.	44,570	443,777	- 207	- 8
5.	445,070	445,275	- 205	- 6
6.	445,570	445,774	- 204	- 5
7.	446,070	446,263	- 193	+ 6
8.	446,570	446,765	- 195	+ 4
9.	447,070	447,266	- 196	+ 3
10.	447,570	447,767	- 197	+ 2
11.	448,070	448,263	- 193	+ 6
$n = 11$			$K_{\text{ср}} = - 199$ $\Sigma v = 300$	
СКП определения K : $m_K = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n(n-1)}} = 1,7 \text{ мм}$				

П2.2. Пример определения приборной поправки светодальномера из измерений различных интервалов базиса

Дата: 05.07. — 07.07.97

$t = +19,5^\circ\text{C}$

Светодальномер 2СТ-2 № 30105, погрешность интервалов контрольного базиса не более 1,0 мм

Дата, °C	Длина интервала контрольного ба- зиса, D_0 , м	Длина интервала, измеренная даль- номером, D_n , м	$K = D_0 - D_n$, мм	$v = K_i - K_{cp}$, мм
5.07.97	95,770	95,832	- 62	- 1
+ 18,5				
6.07.97	215,534	215,597	- 63	- 2
+ 22,2				
6.07.97	348,463	348,526	- 63	- 2
+ 21,0				
7.07.97	527,671	527,736	- 65	- 4
+ 20,6				
7.07.97	876,134	876,194	- 60	+ 1
+ 20,4				
5.07.97	1115,560	1115,617	- 57	+ 4
+ 19,2				
5.07.97	1475,201	1475,256	- 55	+ 6
+ 18,0				
			$K_{cp} = - 61$;	$\Sigma v_i^2 = 78$
СКП определения K : $m_K = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n(n-1)}} = 1,4 \text{ мм}$				

ПРИМЕРЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛА i

П3.1. Определение угла i первым способом (см. рис. 4.5)

Дата: Нивелир Н-05, № 00005
Время: $t = +20,7^\circ\text{C}$ $S = 50,0\text{ м}$

Номер приема	Номер точки	Высота нивелира, h (в делениях рейки)	Отсчеты по дальней рейке L_1 (в делениях рейки)	$X = h - L_1$ (в делениях рейки)	$i = Xp/S$, угл. сек
1	1	2860	3487		
	2	2978	2341		
		2919	2914	+ 5	+ 10,3
2	1	8785	9411		
	2	8901	8265		
		8843	8838	+ 5	+ 10,3
3	1	2800	3429		
	2	2933	2296		
		2866,5	2862,5	+ 4,0	+ 8,2
4	1	8726	9354		
	2	8859	8220		
		8792,5	8787	+ 5,5	+ 11,3
Среднее				+ 4,9	+ 10,0

П3.2. Определение угла i вторым способом (см. рис. 4.6)

Дата: Нивелир Н-05, № 00005
Время: $t = +20,7^\circ\text{C}$ $S = 50,5\text{ м}$

Метод измерения превышения	Обозначения	Отсчеты по рейкам, L	$h_{\text{ср.}}$, мм
Превышение, измеренное из середины	L_1	1400	1148
	L_2	1715	1465
	$h = L_1 - L_2$	- 315	- 316
Превышение, измеренное из положения нивелира в точке 3	L'_1	1470	1747
	L'_2	1150	1429
	$h' = L'_1 - L'_2$	- 320	- 318
$h' - h = -319 - (-316) = -3\text{ мм}$			$i = -3 \cdot 206265 / 50500 = -12,3''$

П3.3. Определение угла i по третьему способу (см. рис. 4.7)

Дата: Нивелир Н-05, № 00005
Время: $t = +20,7^\circ\text{C}$ $S = 50,0\text{ м}$

Номер полуприема	Номер точки	Отсчеты по рейкам (в делениях рейки)		X , в делениях рейки	$i = Xp/S$, угл. сек
		по ближней	по дальней		
1	1	28,605	34,873		
	2	29,784	23,408		
		29,194	29,140	+ 5,4	+ 11,1
2	1	87,852	94,120		
	2	89,038	82,660		
		88,445	88,390	+ 5,5	+ 11,3
3	1	28,002	34,288		
	2	29,334	22,962		
		28,668	28,625	+ 4,3	+ 8,9
4	1	87,253	93,540		
	2	88,597	82,212		
		87,925	87,876	+ 4,9	+ 10,1
Среднее				+ 5,0	+ 10,3

П4. ПРИМЕР ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА РАБОТЫ КОМПЕНСАТОРА НИВЕЛИРА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ

Дата: Нивелир Ni 067, № 14567
Время: $t = +11,5^\circ\text{C}$ $S = 50,0\text{ м}$

Номер серии измерений	Измеренное превышение h , мм				
	при положении пузырька в нуль-пункте	при продольном наклоне		при поперечном наклоне	
		на угол +10'	на угол -10'	на угол +10'	на угол -10'
1	1575,4	1575,4	1575,0	1575,4	1575,7
	1575,6	1575,5	1575,7	1575,4	1575,9
2	1576,0	1575,8	1576,0	1575,8	1576,0
	1575,8	1575,7	1575,8	1575,6	1575,8
3	1575,5	1575,3	1575,6	1575,4	1575,8
	1575,8	1575,4	1575,6	1575,6	1575,8
4	1575,9	1575,0	1576,2	1575,7	1575,9
	1575,9	1575,4	1575,9	1575,7	1576,1
5	1575,4	1575,5	1575,6	1575,2	1575,8
	1575,5	1575,4	1575,8	1575,6	1575,8
Вычисленные значения					
$h_{\text{вн}}$, мм	1575,68	1575,44	1575,78	1575,54	1575,86
$h_{\text{вн}} - h_0$, мм	0	-0,24	0,1	-0,14	0,18
$\sigma_{\text{к}}$, угл. с	0	-0,05"	0,02"	0,03"	0,04"

П5. ПРИМЕР ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИНЫ МЕТРОВОГО ИНТЕРВАЛА ДЕРЕВЯННОЙ РЕЙКИ

Рейка № 2342, черная сторона
Дата: Контрольная линейка (КЛ) № 0721
 $L = 1000,00 + 0,01 + 0,018(t - 16,6^\circ\text{C})$, мм

Интервал рейки	Осчет по линейке, мм			($P-L$), мм	Поправка за длину КЛ и температуру, мм	Длина интервала рейки, мм
	Л	П	П - Л			
$t = +8,6^\circ\text{C}$						
1 - 10	0,00	900,14	900,14			
	0,44	900,54	900,10	900,12	- 0,11	900,01
10 - 20	0,10	1000,24	1000,14			
	0,36	1000,55	1000,19	1000,16	- 0,12	1000,14
20 - 29	0,08	900,06	899,98			
	0,30	900,24	899,94	899,96	- 0,11	899,85
29 - 20	0,14	900,10	899,96			
	0,28	900,18	899,90	899,93	- 0,11	899,82
20 - 10	0,00	1000,10	1000,10			
	0,50	1000,64	1000,14	1000,12	- 0,12	1000,00
10 - 1	0,12	900,22	900,10			
	1,36	901,48	900,12	900,11	- 0,11	900,00
$t = +8,7^\circ\text{C}$						
Σ	3,68	11204,49	11200,81	5600,40	- 0,68	5599,72
Средняя длина метрового интервала рейки № 2342 по черной стороне равна $5599,72 / 5,6 = 999,95\text{ мм}$.						

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ И ФОРМУЛЫ

П5.1 АЛГЕБРА

Степени

$$a^n = a \cdot a \cdot a \cdot \dots \cdot a \quad (n \text{ раз}), \quad (ab)^k = a^k b^k, \quad a^n \cdot b^m = a^{n+m}, \quad (a^n)^m = a^{nm},$$

$$\left(\frac{a}{b}\right)^k = \frac{a^k}{b^k}, \quad \frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}, \quad a^{-m} = \frac{1}{a^m}, \quad \frac{a^m}{a^m} = a^0 = 1.$$

Корни

$$\sqrt[n]{a} = a^{1/n}, \quad \sqrt[n]{a \cdot b \cdot c} = \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[n]{b} \cdot \sqrt[n]{c}, \quad \sqrt[n]{a/b} = \sqrt[n]{a}/\sqrt[n]{b},$$

$$\sqrt[n]{a^m} = a^{m/n}, \quad \sqrt[n]{a} \cdot \sqrt[m]{a} = \sqrt[nm]{a^{n+m}}.$$

Корень нечетной степени из положительного числа — положительное число.

Корень нечетной степени из отрицательного числа — отрицательное число.

Корень четной степени из положительного числа имеет два значения с противоположными знаками ($\pm$) и одинаковой абсолютной величиной.

Решения уравнений

а) Уравнение 1-й степени (линейное)

$$ax + b = 0, \quad x = -b/a.$$

б) Уравнение 2-й степени (квадратное)

$$ax^2 + bx + c = 0 \quad \text{или} \quad x^2 + px + q = 0;$$

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad x_{1,2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\frac{p^2}{4} - q},$$

где x_1 и x_2 — корни квадратного уравнения,

$$p = \frac{b}{a} = -(x_1 + x_2), \quad q = \frac{c}{a} = x_1 \cdot x_2.$$

в) Система двух уравнений 1-й степени с двумя неизвестными:

$$a_1x + b_1y = c_1, \quad a_2x + b_2y = c_2;$$

$$x_1 = \frac{b_2c_1 - b_1c_2}{a_1b_2 - a_2b_1}, \quad x_2 = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1}.$$

П5.2 ПЛОСКАЯ ТРИГОНОМЕТРИЯ

Углы измеряются в градусах ($^\circ$), градах (g) и радианах (ρ). Центральный угол, равный одному градусу (1°), опирается на дугу равную $1/360$ части окружности. В 1° содержится 60 минут ($60'$), в одной минуте ($1'$) — 60 секунд ($60''$). Центральный угол, равный одному граду (1^g), опирается на дугу равную $1/400$ части окружности. Один градус делится на 100 градовых минут ($100''$), а минута на 100 градовых секунд ($100'''$).

Центральный угол, равный одному радиану (ρ) — опирается на дугу окружности, длина которой равна радиусу этой окружности. Переход от градусной меры ($^\circ$) к радианной (ρ), и наоборот:

$$\alpha^\circ = \frac{\rho}{\pi} 180^\circ, \quad \rho = \pi \frac{\alpha^\circ}{180^\circ};$$

$$\rho \approx 57,2958^\circ \approx 3437,75' \approx 206265''.$$

В прямоугольном треугольнике с длинами a, b, c его сторон и противолежащими им углами $\alpha, \beta, \gamma = \pi/2$ значения тригонометрических функций определяется отношениями:

$$\sin \alpha = a/c, \quad \cos \alpha = b/c, \quad \operatorname{tg} \alpha = a/b, \quad \operatorname{ctg} \alpha = b/a, \quad \sec \alpha = c/b, \quad \operatorname{cosec} \alpha = c/a.$$

Основные формулы:

$$\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha = 1, \quad \sin 2\alpha = 2 \sin \alpha \cdot \cos \alpha, \quad \cos 2\alpha = \cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}, \quad \operatorname{ctg} \alpha = \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha}, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha}, \quad \operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2 \operatorname{tg} \alpha}{1 - \operatorname{tg}^2 \alpha},$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \alpha}{2}}, \quad \cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1 + \cos \alpha}{2}},$$

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta, \quad \cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta.$$

Формулы косогоугольного треугольника ($\pi/2 < \gamma < \pi$).

Теорема косинуса: $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos \alpha,$

Теоремы синусов и тангенсов: $\frac{a}{\sin \alpha} = \frac{b}{\sin \beta} = \frac{c}{\sin \gamma}, \quad \frac{a+b}{a-b} = \frac{\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha + \beta)}{\operatorname{tg} \frac{1}{2}(\alpha - \beta)}.$

П5.3 ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ФОРМУЛЫ

Поправка за компарирование Δ_k на всю линию L :

$$\Delta_k = \delta_k L / 20,$$

где δ_k — поправка за компарирование ленты длиной 20 м.

Поправка за температуру (стальной ленты):

$$\Delta_t = 0,000012(t - t_k)L,$$

где t и t_k — температуры мерного прибора при измерении и компарировании соответственно.

Поправка за приведение линий к горизонту

$$\Delta_{\text{гор}} = -2L \sin^2 \frac{\beta}{2} \approx -\frac{h^2}{2L},$$

где β — угол наклона измеряемой линии, h — превышение ее концов.

Поправка за провес рулетки (ленты)

$$\Delta_f = \frac{8f^2}{3L},$$

где f — стрела провеса рулетки, L — длина измеряемого отрезка.

Среднее арифметическое простое значение измеренных величин L_i :

$$L = \frac{\sum L_i}{n} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{n},$$

где n — число измерений.

Отклонения δ_i отдельных результатов измерений от среднего арифметического

$$\delta_i = L_i - L.$$

Средняя квадратическая ошибка (СКО) одного измерения (формула Бесселя)

$$m = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2}{n-1}}.$$

СКО среднего арифметического из n равнозначных измерений:

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{n(n-1)}}.$$

Предельные ошибки измерений:

$$\Delta_{пред} = 3m, \quad \text{либо} \quad \Delta_{пред} = 2m.$$

Вес неравнозначных измерений (степень доверия к результату измерения)

$$p_i = c \cdot \frac{1}{m_i^2},$$

где c — коэффициент пропорциональности.

Вес p_L общей арифметической середины L

$$p_L = p_1 + p_2 + \dots + p_n = \sum p_i.$$

Среднее арифметическое весовое из n результатов L_i *неравнозначных* измерений

$$L = \frac{p_1 L_1 + p_2 L_2 + \dots + p_n L_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum p_i L_i}{p_L}.$$

где $i = 1, 2, \dots, n$.

СКО μ измерения, вес которого равен единице (*ошибку единицы веса*)

$$\mu = \sqrt{\frac{\sum p_i \delta_i^2}{n-1}}.$$

Средняя квадратическая ошибка m_L общей арифметической середины L

$$m_L = \frac{\mu}{\sqrt{p_L}} = \sqrt{\frac{\sum p_i \delta_i^2}{(n-1) \sum p_i}}.$$

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОДЕЗИИ	5
1.1 Инженерная геодезия и виды инженерно-геодезических работ	5
1.2 Геодезические измерения	6
1.3 Меры и мерные приборы	8
1.4 Классификации геодезических приборов	9
1.5 Правовые основы геодезической метрологии	10
1.6 Поверочные схемы средств измерения	12
1.7 Технологическая поверка приборов	13
2. ЛИНЕЙНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ	16
2.1. Измерения прямые	16
2.2. Измерения косвенные	19
2.3. Поверочные схемы для средств измерений длины	22
2.4. Поверка электромагнитных дальномеров	24
2.5. Поверка рулеток и землемерных лент	27
3. ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ	28
3.1. Теодолит	28
3.2. Измерение горизонтальных углов	29
3.3. Измерение вертикальных углов	30
3.4. Локальные поверочные схемы для теодолитов	33
3.5. Методические указания по поверке теодолитов	34
4. ИЗМЕРЕНИЕ ПРЕВЫШЕНИЙ	41
4.1 Гидростатическое нивелирование	41
4.2 Геометрическое нивелирование	42
4.3 Нивелирная рейка	43
4.4 Локальные поверочные схемы для нивелиров	44
4.5. Методические указания по поверке нивелиров	46
4.6. Указания по поверке нивелирных реек	51
5. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ОШИБОК ИЗМЕРЕНИЙ	53
5.1. Задачи теории и виды ошибок	53
5.2. Свойства случайных ошибок	54
5.3. Оценка точности результата измерений	55
5.4. Ошибки функций измеренных величин	58
5.5. Обработка неравнозначных измерений	60
5.6. Обработка двойных измерений	62
НОРМАТИВНАЯ ЛИТЕРАТУРА	64
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	65
ПРИЛОЖЕНИЯ	66
Приложение 1. Словарь-справочник терминов по основам инженерной геодезии и геодезической метрологии	66
Сокращения латинские	67
Приложение 2. Примеры определения приборной поправки дальномера	91
Приложение 3. Примеры определения угла i	92
Приложение 4. Пример проверки качества работы компенсатора нивелира в полевых условиях	93
Приложение 5. Пример определения длины метрового интервала деревянной рейки	93
Приложение 6. Математические величины и формулы	94