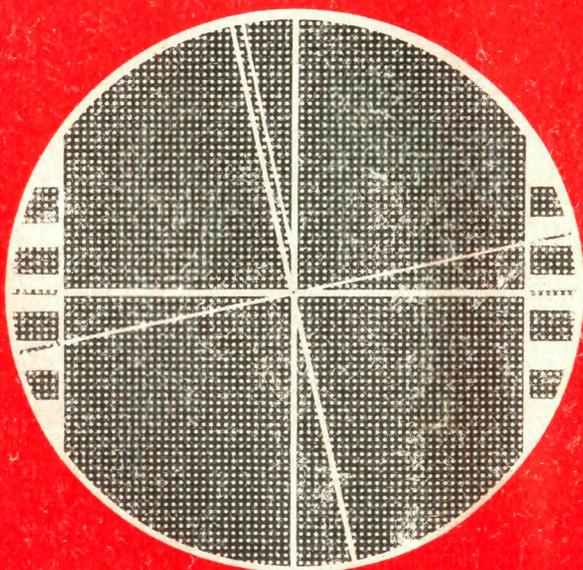


А. И. СПИРИДОНОВ, Ю. Н. КУЛАГИН, М. В. КУЗЬМИН

# ПОВЕРКА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ





А. И. СПИРИДОНОВ, Ю. Н. КУЛАГИН, М. В. КУЗЬМИН

# ПОВЕРКА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ



МОСКВА «НЕДРА» 1981

**Спирidonov А. И., Кулагин Ю. Н., Кузьмин М. В.**

Поверка геодезических приборов.—М.: Недра, 1981.— с. 159.

Изложены основы метрологического обеспечения эксплуатации и выпуска геодезических приборов, методические вопросы поверок и исследований. Проведены расчеты точности и указаны оптимальные программы исследований и поверок.

Описаны средства поверок геодезических приборов (теодолитов, нивелиров, дальномеров, кипрегелей, тахеометров, лент и т. д.), методы оценки погрешностей измерений, приведены технические характеристики современной геодезической измерительной техники.

Для работников метрологических служб министерств, инженерно-технических работников топографо-геодезического производства. Может быть использована студентами учебных заведений геодезического, маркшейдерского, строительного и метрологического профилей.

Табл. 64, ил. 19, список лит. — 50 названий.

Рецензент: проф., д-р географ. наук *Л. С. Хренов*  
(МИИТ)

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

В топографо-геодезическом производстве основной объем работ связан с выполнением измерений. Для обеспечения достаточной точности геодезических измерений наряду со строгим соблюдением технологической дисциплины и высокой квалификацией исполнителей необходимы надежные средства измерений, отвечающие задачам единства и достоверности измерений. Поэтому вопросам создания нормативной базы в области измерений, разработки и внедрения методов и средств поверки и исследования геодезических приборов в топографо-геодезическом производстве уделяется большое внимание.

Неточности измерений, не выявленные своевременно дефекты измерений приносят ощутимый ущерб. Проблема управления качеством продукции тесно связана с задачей повышения качества и надежности измерений. Этим объясняется постоянно возрастающее значение метрологического обеспечения любого производственного процесса, связанного с измерениями. Большое значение этому придается в наши дни, когда повсеместно развернута борьба за повышение производительности труда и увеличение объемов выпуска высококачественной продукции.

В настоящее время методических проблем в области метрологического обеспечения отраслей народного хозяйства не существует. Государственным комитетом по стандартам Совета Министров СССР (Госстандартом) при участии министерств (ведомств) разработан комплекс организационно-методических стандартов и нормативных документов по обеспечению единства измерений в стране [Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ)]. В развитии ГСИ в отраслях народного хозяйства созданы отраслевые стандарты и технические материалы, устанавливающие организацию и порядок проведения работ по метрологическому обеспечению.

Для однородных групп приборов основным нормативным документом, регламентирующим проведение поверок приборов при выпуске из производства, после ремонта и в эксплуатации, служит стандарт «Методы и средства поверки». Подобные стандарты распространяются и на некоторые виды геодезических приборов.

Создание нормативной базы — лишь первый шаг в метрологическом обеспечении производства. Другой важной и сложной задачей является создание системы эталонов, в том числе рабочих, и образцовых средств измерений. Особенно трудна задача по разработке эталонов и образцовых мер и средств для высокоточных приборов. Решение этой задачи может быть успешно осуществлено только с учетом интегрирования современных достижений различных направлений науки и техники. В настоящее время наша страна имеет более 70 эталонов, в ближайшие годы их число достигнет 140.

Для исследований, испытаний и поверок геодезических приборов в разное время создавались и применялись специализированные рабочие эталоны и образцовые средства, некоторые из них рассмотрены в предлагаемой вниманию читателей книге.

Приведенные операции поверки носят рекомендательный характер и не распределены относительно стадий жизненного цикла приборов, как это требует ГСИ. Подобная задача должна решаться нормативно-техническими документами вида «Методы и средства поверки», которые для геодезических приборов регламентируют стадии выпуска из производства и после ремонта. Поверку в процессе эксплуатации для геодезических приборов устанавливают действующие инструкции ГУГК, которые являются обязательными для всех организаций нашей страны, проводящих топографо-геодезические работы.

Указанные в работе методы поверки отнесены только к серийно выпускае-

мым в настоящее время приборам. Это ни в коей мере не означает, что их нельзя применять при поверке других приборов, в том числе и зарубежных аналогов, находящихся в обращении в народном хозяйстве страны.

Поскольку содержание и границы понятия «поверка» в книге трактуются в метрологическом значении, методические вопросы изложены применительно к определению только метрологических характеристик приборов, которые, по мнению авторов, являются необходимыми и достаточными для оценки качества приборов как средств измерений в геодезии.

Предлагаемые методы поверки неоднократно апробировались при проведении государственных испытаний и метрологической аттестации геодезических приборов в ЦНИИГАиК. В книге также широко использованы известные достижения и предложения других геодезических организаций нашей страны и зарубежных специалистов.

Предисловие, гл. I, II, VII, VIII, § 19 и §22 гл. V написаны канд. техн. наук А. И. Спиридоновым, гл. IV, VI и VIII и § 21 гл. V — инж. Ю. Н. Кулагиным, гл. III и § 20, 21 гл. V — инж. М. В. Кузьминым.

Учитывая, что книга по вопросам метрологического обеспечения геодезических приборов издается впервые, опыт применения нормативно-технических документов вида «Методы и средства поверки» в геодезическом приборостроении еще мал, авторы будут весьма признательны организациям и отдельным специалистам за все замечания и предложения по содержанию книги. Наш адрес: 103633, Москва, Третьяковский проезд, 1/19. Изд-во «Недра».

# Глава I

## КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ МЕТРОЛОГИИ

---

### § 1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕТРОЛОГИИ

В соответствии с ГОСТ 16263—70 метрология определяется как «наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности». При этом под единством измерений понимается такое состояние измерений, при котором их результаты с заданной вероятностью удовлетворяют установленным требованиям и выражены в принятой системе единиц.

Единство и достоверность измерений в народном хозяйстве достигаются системой мероприятий, составляющих основу метрологического обеспечения, главное содержание которого раскрывают ГОСТ 1.25—76 и ГОСТ 8.054—73. Оно заключается в установлении и применении правил и норм точности измерений, выявлении оптимальной номенклатуры параметров средств измерений, обеспечении технологических процессов современными методиками измерений, разработке образцовых мер и средств измерений для передачи единиц физических величин от эталонов к рабочим приборам, обеспечении готовности средств измерений к выполнению измерений с заданной точностью.

Оценка метрологических качеств средства измерений и готовности последнего к выполнению измерений осуществляется путем контроля его параметров и метрологических характеристик. Понятие метрологической характеристики средства измерений охватывает такие параметры, как диапазон измерений физической величины, погрешность измерений, соотношение выходного и входного измерительных сигналов.

Контроль метрологических характеристик проводит государственная или ведомственная метрологическая служба путем испытаний, проверок, аттестации средств измерений, а также надзора за их состоянием и применением.

Приведем определения основных понятий метрологического обеспечения.

**Испытания** — совокупность экспериментальных операций, проводимых с целью установления соответствия изделия по своим техническим параметрам, размерам и характеристикам требованиям нормативно-технической документации на изделие. Испытания, проводимые для утверждения типа изделия, называются **примочными**. Для подтверждения соответствия ранее

утвержденному типу изделия проводят контрольные (периодические) испытания. Испытаниям подвергают как средства измерений, так и изделия, к ним не относящиеся.

Поверка средств измерений заключается в контроле метрологической исправности средства измерений и (или) определении конкретных значений его метрологических характеристик. Под метрологической исправностью понимается такое состояние средства измерений, при котором его метрологические характеристики отвечают установленным требованиям. В зависимости от того, кем осуществляется поверка — государственной или ведомственной метрологической службой, различают государственную и ведомственную поверку средств измерений соответственно. Государственной поверке подлежат средства измерений, входящие в состав государственной системы приборов (ГСП).

Поверка, осуществляемая при выпуске средства измерений из производства или ремонта, называется первичной. Поверка, осуществляемая при эксплуатации или хранении средства измерений через определенные интервалы времени, называется периодической.

Составными элементами поверки прибора являются метод, средство и операция. Методы поверки — совокупность правил и приемов проведения поверки. Средства поверки — техническое средство (прибор, аппаратура, устройство), предназначенное для контроля метрологических характеристик поверяемых приборов. Операция поверки — отдельный самостоятельный этап поверки, в результате которого выявляется фактическое значение метрологической характеристики поверяемого прибора.

Следующий вид метрологического контроля средств измерений — метрологическая аттестация. Она представляет собой совокупность экспериментальных операций (исследований), проводимых с целью установления соответствия средства измерений его назначению. На основании аттестации выдается официальный документ.

Метрологический надзор — контроль за производством, состоянием, применением и ремонтом средств измерений.

Поверка, или аттестация, средства измерений заключается в передаче размера единицы физической величины от эталона или образцового средства измерений к рабочим средствам измерений (приборам). Эта передача происходит на основании нормативного документа, называемого поверочной схемой, устанавливающей соподчинение средств измерений различных уровней точности по целесообразной системе. В зависимости от широты распространения поверочной схемы на применяемые средства измерений различают государственные, ведомственные и локальные поверочные схемы.

## § 2. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам в целях унификации единиц физических величин приняла единую Международную систему единиц (СИ), которая образована по принятой в физике методике построения систем единиц. Эта методика, впервые примененная в 1832 г. К. Гауссом, заключается в том, что за основу системы принимают несколько независимых единиц, из которых как производные получают единицы остальных физических величин.

В 1961 г. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР (ныне Госстандарт) утвердил (проект) ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», которым рекомендовано применение системы единиц СИ во всех областях науки, техники и отраслях народного хозяйства страны.

При установлении и внедрении системы СИ исходили прежде всего из того, чтобы сократить существующее многообразие единиц, создать основу образования производных единиц различных физических величин, упростить запись уравнений и формул в различных областях науки и техники, обеспечить четкое разграничение единиц и принять удобные для практики размеры основных единиц. Немаловажно также, чтобы выбранные единицы были воспроизводимы с помощью эталонов возможно с наибольшей точностью. Всем указанным требованиям отвечает система единиц СИ.

Окончательный состав основных единиц (табл. 1) системы СИ был утвержден в 1971 г. XIV Генеральной конференцией по мерам и весам.

Приведем определения основных единиц СИ.

Ампер — сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади сечения, рас-

Таблица 1

| Физическая величина           | Размерность | Единица      |             |               |
|-------------------------------|-------------|--------------|-------------|---------------|
|                               |             | наименование | обозначение |               |
|                               |             |              | русское     | международное |
| Длина                         | $L$         | метр         | м           | m             |
| Масса                         | $M$         | килограмм    | кг          | kg            |
| Время                         | $T$         | секунда      | с           | s             |
| Сила тока                     | $I$         | ампер        | А           | A             |
| Температура термодинамическая | $Q$         | кельвин      | К           | K             |
| Сила света                    | $J$         | кандела      | кд.         | cd            |
| Количество вещества           | $N$         | моль         | моль        | mol           |

положенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, вызывает между этими проводниками силу, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н на каждый метр длины.

Погрешность воспроизведения размера единицы силы тока государственным эталоном ампера, хранящимся во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева (г. Ленинград), не превышает  $1 \cdot 10^{-3}\%$ .

Кандела — сила света, испускаемого с поверхности площадью  $1/600\,000$  м<sup>2</sup> полным излучателем в перпендикулярном направлении при температуре излучателя, равной температуре затвердевания платины при давлении 101 325 Па.

В государственном первичном эталоне силы света полный излучатель (абсолютно черное тело) представляет собой тонкостенную трубку из плавленной окиси тория, погруженную в сосуд с чистой платиной. Среднее квадратическое отклонение воспроизведения и передачи единицы силы света не превышает  $2 \cdot 10^{-3}$ .

Кельвин —  $1/273,16$  части термодинамической температуры тройной точки воды.

Для точного осуществления термодинамической температурной шкалы служат эталонные газовые термометры ВНИИМ. Погрешность эталона составляет от  $2 \cdot 10^{-4}$  К в тройной точке воды до  $1-4 \cdot 10^{-1}$  К в области высоких температур, в диапазоне низких температур среднее квадратическое отклонение результата измерений  $1 \cdot 10^{-3}$  К.

Килограмм — масса, равная массе международного прототипа килограмма.

Копия международного прототипа килограмма, хранящаяся во ВНИИМ, представляет собой платино-иридиевую гирю в виде прямого цилиндра диаметром и высотой 39 мм. Масса прототипа равна  $1 \text{ кг} \pm 0,085$  мг. Эталонные весы обеспечивают передачу размера единицы массы от прототипа эталонам-копиям и рабочим эталонам с погрешностью не более  $3 \cdot 10^{-2}$  мг.

Метр — длина, равная  $1\,650\,763,73$  длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями  $2p_{10}$  и  $5d_5$  атома криптона-86. Единица длины — метр — имеет большое значение в геодезии.

Государственный первичный эталон СССР единицы длины состоит из комплекса аппаратуры: газоразрядной лампы с изотопом криптона-86, интерферометра с фотоэлектрическим микроскопом и рефрактором для измерений в диапазоне от 0 до 1000 мм, спектроинтерферометра, интерферометра Фабри-Перо и фотоэлектрического регистратора. Место хранения эталона — ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Единица длины воспроизводится и передается со средним квадратическим отклонением не более  $3 \cdot 10^{-8}$ .

Моль — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в

углероде-12 массой 0,012 кг. Моль — единица расчетная, эталон не обеспечена.

Секунда — время, равное 9 192 631 770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Государственный первичный эталон времени и частоты представляет собой сложный комплект аппаратуры, включающей водородные генераторы, кварцевые генераторы, делители частоты от 100 кГц до 1 Гц, оборудование для сличения частот, аппаратуры энергопитания, автоматического программирования, дистанционного контроля температуры термостатов и напряжения питания. Погрешность воспроизведения единицы времени и частоты —  $2 \cdot 10^{-13}$ .

Кроме рассмотренных основных единиц, упомянем дополнительные единицы СИ — радиан и стерадиан, а также производные единицы физических величин, применяемых в геодезии, — давления, частоты, силы, ускорения, освещенности, напряжения.

Радиан — плоский угол между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу. В градусном исчислении радиан равен  $57^\circ 17' 44,8''$ .

Стерадиан — телесный угол с вершиной в центре сферы, вырезающий на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы. Число стерадианов  $\tau$  телесного угла находят по формуле

$$\tau = \frac{S}{r^2}, \quad (1.1)$$

где  $r$  — радиус сферы,  $S$  — площадь.

Вольт — единица электрического напряжения, электрического потенциала, разности потенциалов. Уравнение для определения напряжения:

$$U = \frac{P}{I}, \quad (1.2)$$

где  $P$  — мощность в ваттах,  $I$  — сила тока в амперах.

Вольт — электрическое напряжение на участке электрической цепи с постоянным током 1 А, в котором затрачивается мощность 1 Вт.

Герц — единица частоты. Уравнение для получения частоты колебания:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1.3)$$

где  $T$  — период колебаний в секундах.

Герц — частота периодического процесса, при котором за 1 с происходит один цикл периодического процесса.

Метр на секунду в квадрате — единица ускорения.  
Уравнение для ускорения:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}, \quad (1.4)$$

где  $v_1$  и  $v_2$  — скорости в двух точках прямолинейного движения, выраженные в метрах в секунду;  $t$  — время в секундах. Метр на секунду в квадрате — ускорение прямолинейно и равноускоренно движущейся точки, при котором за 1 с скорость точки изменяется на 1 м/с.

Ньюто н — единица силы. Определяющее уравнение для силы:

$$F = ma, \quad (1.5)$$

где  $m$  — масса в килограммах,  $a$  — ускорение в метрах на секунду в квадрате.

Ньюто н — сила, сообщающая телу массой 1 кг ускорение 1 м/с<sup>2</sup> в направлении действия силы.

Паскаль — единица давления. Давление найдем по формуле

$$P = \frac{F}{S}, \quad (1.6)$$

где  $F$  — сила в ньютонах,  $S$  — площадь в квадратных метрах. Паскаль — давление, вызываемое силой 1 Н, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 м<sup>2</sup> и нормальной к ней.

Люкс — единица освещенности. Уравнение для определения освещенности:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \quad (1.7)$$

где  $\Phi$  — световой поток в люменах,  $S$  — площадь в метрах квадратных.

Люкс — освещенность поверхности площадью 1 м<sup>2</sup> при световом потоке падающего на нее излучения 1 лм.

Наряду с единицами СИ допускаются некоторые внесистемные единицы, получившие широкое распространение в науке и технике. Кроме того, имеются временно допущенные к применению единицы, порядок изъятия которых предполагается устанавливать после заключения соответствующих международных соглашений.

В табл. 2 представлены некоторые из таких единиц, применяемых в геодезии, и указаны их соотношения с единицами СИ.

Т а б л и ц а 2

| Физическая величина | Единица                 |             | Соотношение с единицей СИ  | Примечание                         |
|---------------------|-------------------------|-------------|--|------------------------------------|
|                     | наименование            | обозначение |  |                                    |
| Длина               | астрономическая единица | а. е.       | $1,496 \cdot 10^{11}$ м  | ЕВ                                 |
|                     | световой год            | св. год     | $9,4605 \cdot 10^{15}$ м   | ЕВ                                 |
|                     | морская миля            | м. миля     | 1852 м   | ЕВД (только в навигации)           |
| Масса               | тонна                   | т           | $10^3$ кг  | ЕД                                 |
| Время               | минута                  | мин         | 60 с   | ЕД                                 |
|                     | час                     | ч           | 3600 с   | ЕД                                 |
| Плоский угол        | сутки                   | сут         | 86 400 с   | ЕД                                 |
|                     | градус                  | ...°        | $1,745329 \cdot 10^{-2}$ рад                                     | ЕД                                 |
|                     | минута                  | ...'        | $2,908882 \cdot 10^{-4}$ рад                                     | ЕД                                 |
|                     | секунда                 | ...''       | $4,848137 \cdot 10^{-6}$ рад                                     | ЕД                                 |
| Площадь             | град                    | ...g        | $1,57 \cdot 10^{-2}$ рад   | ЕВ                                 |
|                     | гектар                  | га          | $10^4$ м <sup>2</sup>  | ЕД (только для земельных участков) |
| Температура         | ар                      | а           | $10^2$ м <sup>2</sup>  | ЕВ                                 |
|                     | градус Цельсия          | °С          | $T_0 = T - 273,15$ К<br>$T_0$ — по Цельсию,<br>$T$ — по Кельвину | ЕД                                 |

В графе «Примечание» обозначены: ЕД — единицы, допущенные наравне с единицами СИ; ЕВД — временно допущенные к применению единицы; ЕВ — внесистемные единицы.

### § 3. СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) — это комплекс установленных стандартами взаимоотношений правил и положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений.

Комплекс стандартов, объединенных общим наименованием «Государственная система обеспечения единства измерений», регламентирует: единицы физических величин, методы и средства воспроизведения единиц физических величин, порядок передачи размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений, номенклатуру и способы выражения метрологических характеристик, организацию и порядок проведения госиспытаний и поверок средств измерений, требования к методикам выполнения измерений, формы представления результатов измерений.

В систему стандартов по обеспечению единства измерений входят: ГОСТ 8.000—72 «ГСИ. Основные положения», ГОСТ 8.001—80 «ГСИ. Организация и порядок проведения государственных испытаний средств измерений», ГОСТ 8.002—71 «ГСИ. Организация и порядок проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений», ГОСТ 8.009—72 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений», ГОСТ 8.010—72 «ГСИ. Общие требования к стандартизации и аттестации методик выполнения измерений», ГОСТ 8.011—72 «ГСИ. Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений», ГОСТ 8.042—72 «ГСИ. Требования к построению, содержанию и изложению стандартов методов и средств поверки мер и измерительных приборов», ГОСТ 8.054—73 «ГСИ. Метрологическое обеспечение подготовки производства. Общие положения», ГОСТ 8.057—73 «ГСИ. Порядок утверждения, хранения и применения эталонов и образцовых средств измерений», ГОСТ 8.061—73 «ГСИ. Содержание и построение поверочных схем».

На основе широкого внедрения положений ГСИ осуществляется метрологическое обеспечение разработки производства и эксплуатации продукции в отраслях народного хозяйства. Основные положения метрологического обеспечения сформулированы в ГОСТ 1.25—76. Метрологическое обеспечение осуществляется метрологической службой, организуемой в системе Госстандарта СССР, и ведомственными метрологическими службами в отраслях народного хозяйства. Среди многих важных задач метрологического обеспечения перед государственными и ведомственными метрологическими службами стоит задача — проведение поверки средств измерений при выпуске их из производства, после ремонта и в эксплуатации.

#### **§ 4. ПОРЯДОК ПЕРЕДАЧИ РАЗМЕРА ЕДИНИЦ РАБОЧИМ СРЕДСТВАМ ИЗМЕРЕНИЙ**

Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц физических величин рабочим средствам измерений (мерам) осуществляется с помощью эталонов и образцовых средств измерений (мер).

Согласно ГОСТ 16263—70, «эталон — средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке».

Эталон, воспроизводящий единицу с наивысшей точностью, называется первичным. В некоторых случаях первичный

эталон не может быть применен вообще, вместо него используют специальный эталон, также утверждаемый в установленном порядке. Первичный и специальный эталоны относятся к государственным эталонам.

В метрологической практике, как правило, используют вторичные эталоны, подчиненные первичным. Их главное назначение — предотвратить износ государственных первичных эталонов и обеспечить их наилучшую сохранность.

По своему назначению вторичные эталоны делятся на эталоны-копии, эталоны сравнения, эталоны-свидетели и рабочие эталоны. Эталон-копия предназначается для передачи размера единицы непосредственно рабочим эталонам. Эталон-свидетель служит для проверки сохранности государственного эталона, а также и для замены его в случае утраты. Эталон сравнения — вторичный эталон, предназначенный для сличения эталонов, хранящихся в разных местах и не подлежащих непосредственному сличению друг с другом.

Хранителями государственных эталонов являются метрологические институты Госстандарта СССР.

Промежуточным звеном между эталоном и рабочим средством измерений является образцовое средство измерений. За образцовое средство измерений принимают меру, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащий для поверки других средств измерений и прошедший аттестацию в качестве образцового. Образцовые средства измерений по своей точности разделяются на разряды.

Соподчинение эталонов, образцовых средств измерений и рабочих средств измерений устанавливается поверочной схемой (рис. 1).

В поверочной схеме показывают передачу размера единицы, как правило, только одной физической величины.

Общее количество разрядов образцовых средств измерений (число ступеней поверочной схемы) должно обеспечивать рациональную систему передачи размера единицы всем применяемым рабочим средствам измерений данного вида.

Число ступеней поверочной схемы определяют по формулам

$$q_{\min} = \frac{\lg 2N_{\Sigma}}{\lg 2N_{\Pi}} + 1, \quad (1.8)$$

$$q_{\max} = \frac{\lg \gamma_1}{\lg \gamma_2} + 1, \quad (1.9)$$

где  $N_{\Sigma}$  — общее число средств измерений, на которые распространяется поверочная схема;  $N_{\Pi}$  — число средств измерений, которое может быть поверено в течение межповерочного интер-

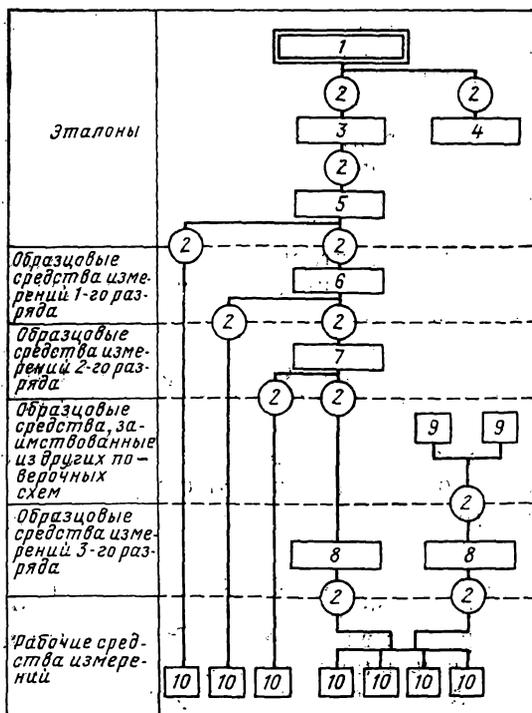


Рис. 1. Общесоюзная поверочная схема:

1 — государственный эталон; 2 — метод передачи размера единиц; 3 — эталон-копия; 4 — эталон-свидетель; 5 — рабочий эталон; 6, 7, 8 — образцовые средства измерений; 9 — образцовые средства измерений из других поверочных схем; 10 — рабочие средства измерений

вала  $T_n$  по эталону или исходному образцовому средству; определяется по формуле:

$$N_n = \frac{T_n \tau_0 N'_n}{T_1} \quad (I.10)$$

( $\tau_0$  — доля времени, в течение которого эталон или образцовое средство используется для поверочных целей;  $T_1$  — время, затрачиваемое на поверку средства измерений;  $N'_n$  — число средств измерений, которые можно проверять одновременно);

$\gamma_1$  — отношение доверительной погрешности эталона к пределу допускаемой погрешности рабочего средства измерений;

$\gamma_2$  — расчетное отношение пределов допускаемых погрешностей для соседних ступеней поверочной схемы.

Значение  $q$  в интервале  $q_{\min} \div q_{\max}$  выбирают на основании технико-экономического анализа поверочной схемы.

В метрологической практике различают общесоюзные, ведомственные и локальные поверочные схемы в зависимости от области их применения.

Поверочные схемы должны состоять из чертежа, поясняющего схему передачи размера единиц, и текстовой части. На чертеже поверочной схемы должны быть указаны: наименования средств измерений, диапазоны значений физических величин, обозначения и оценки погрешностей при заданной доверительной вероятности, наименования методов поверки. Текстовая часть поясняет элементы поверочной схемы. Требования к текстовой части установлены стандартами ГСИ.

## § 5. МЕТОДЫ ПОВЕРКИ

Применяемые методы поверки должны отражать специфические особенности данного вида средств измерений.

В метрологии известны следующие основные методы поверки: 1) непосредственное сличение поверяемого средства измерений с образцовым средством измерений того же вида; 2) сличение поверяемого средства измерений с образцовым средством измерений того же вида с помощью компаратора; 3) прямое измерение поверяемым измерительным прибором величины, воспроизводимой образцовым средством измерений; 4) прямое измерение образцовым средством величины, воспроизведенной поверяемой мерой; 5) косвенные измерения величины, воспроизводимой мерой или измеряемой прибором, подвергаемым поверке.

Применение того или иного метода поверки регламентируется действующей нормативной документацией на методы и средства поверки и поверочными схемами.

Отдельные операции поверки осуществляются: внешним (визуальным) осмотром; опробованием, проверкой соблюдения заложенных в приборе геометрических, физических или иных условий; определением (исследованием) его характеристик (поэлементно или комплексно).

При внешнем осмотре проверяют: комплектность поставки, маркировку, упаковку, обозначения на шкалах, четкость делений отсчетных устройств, освещенность поля зрения, качество покрытий и т. п.

К операциям опробования могут относиться: проверка органов управления, настройки и юстировки; проверка качества изображения; проверка взаимодействия подвижных частей и элементов; наличие мертвого хода, люфтов, жесткости соединений; проверка нульпунктов индикаторов и т. п.

В организационном плане можно выделить два основных пути выявления метрологических свойств прибора. Первый путь — поэлементная поверка, при которой метрологическая исправность средства измерений оценивается по характе-

ристикам отдельных элементов прибора; другой путь — комплексная поверка, при которой оцениваются метрологические характеристики прибора в целом.

Кроме того, следует указать на возможность проведения независимой поверки, при которой не требуется передача размеров единиц образцовых средств измерений рабочим приборам.

Методы и средства поверки конкретных измерительных приборов устанавливаются в нормативно-технических документах (стандартах, руководящих материалах, инструкциях, методических указаниях), содержание и порядок построения которых должны соответствовать ГОСТ 8.042—72.

**ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ  
КАК СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИИ**

---

**§ 6. КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Геодезические приборы можно классифицировать по различным признакам: назначению, точности, конструктивным особенностям, степени автоматизации какой-либо отдельной операции или комплекса операций, характеру выдаваемой информации, в зависимости от используемого носителя информации и т. п. Что положить в основу такой классификации, будет зависеть от поставленной задачи.

Если поставить задачу и охарактеризовать геодезические приборы как средства получения информации в геодезии, то представляется в этом случае целесообразным использовать такие классификационные признаки, как назначение, вид выходной информации и частично-конструктивные особенности (рис. 2).

Верхний уровень этой классификации образован с учетом характера выдаваемой геодезической информации. При этом выделены следующие пять основных группировок: угломерные приборы; приборы для измерения высот (превышений); приборы для измерения длин линий; комбинированные приборы, позволяющие получать несколько характеристик или их функцию (некоторые авторы называют такие приборы универсальными); наконец, прочие приборы и вспомогательное оборудование и принадлежности.

С точки зрения метрологии среди геодезических приборов можно выделить средства измерений и приборы, не являющиеся измерительными.

Измерительные геодезические приборы характеризуются комплексом метрологических характеристик и подлежат поверке и метрологической аттестации.

Единого подхода в классификации геодезических приборов по точности измерений еще не достигнуто. Ряд авторов [12, 37] и некоторые нормативно-технические документы [18, 19] рекомендуют подразделять геодезические приборы на высокоточные, точные и технические. В других источниках предлагается дополнительно выделять приборы повышенной и пониженной точности [10], средней и малой точности [11].

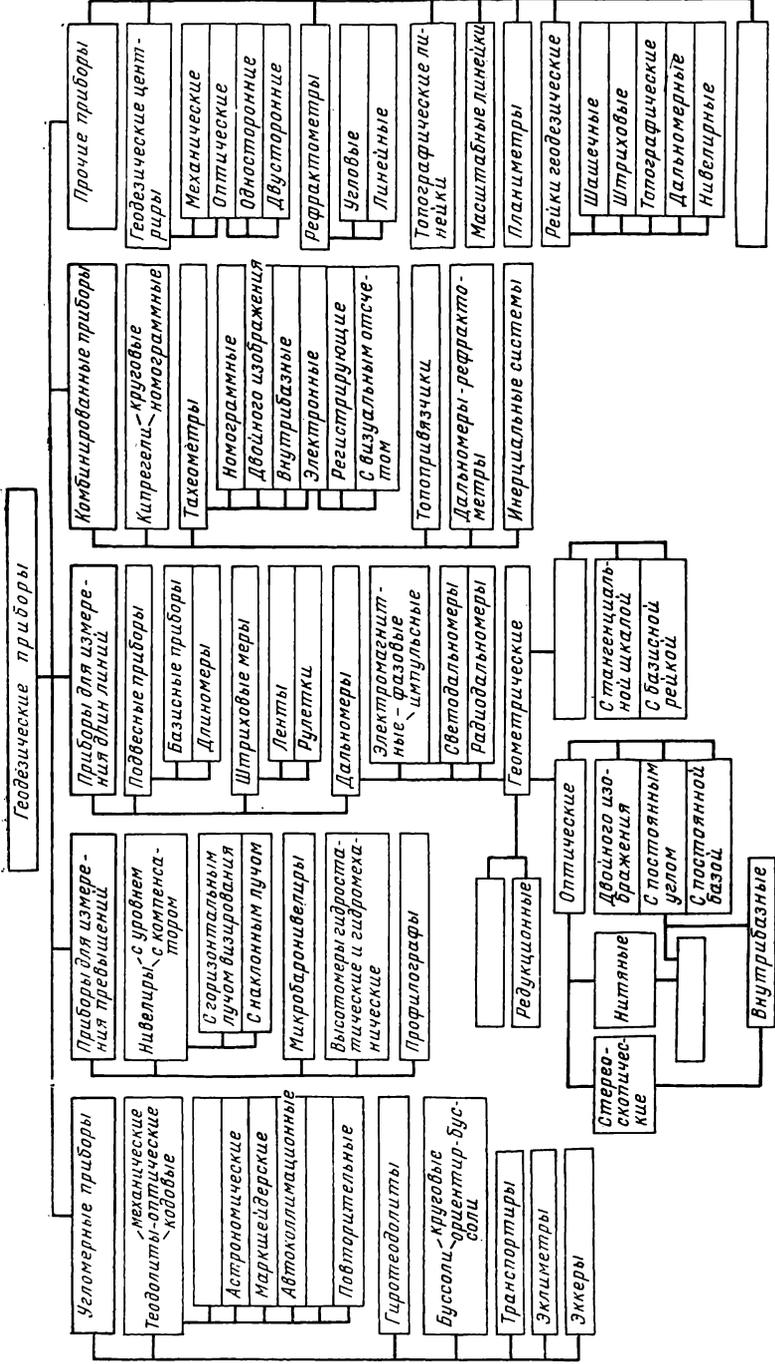


Рис. 2. Классификация геодезических приборов

В стандартах на нивелиры и теодолиты к высокоточным отнесены приборы со средней квадратической погрешностью не более 1 мм на 1 км хода и 1" соответственно, к точным — с погрешностью не более 4 мм на 1 км хода и 10" для углов, к техническим — с погрешностью более 5 мм на 1 км и более 10" для углов.

## § 7. СТАНДАРТИЗАЦИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

Стандартизация геодезических приборов строится на основе классификации и типизации приборов с учетом потребностей народного хозяйства.

Стандартизация в геодезическом приборостроении получила современное развитие с 1961—1962 гг., когда были разработаны первые стандарты на теодолиты и нивелиры. В настоящее время действуют более 20 ГОСТов, охватывающих различные геодезические приборы и их составные элементы.

Стандартизация решает следующие основные задачи: а) установление необходимой геодезическому производству номенклатуры приборов с современными параметрами; б) своевременная замена морально устаревших, малопроизводительных и ненадежных приборов; в) обеспечение контроля качества приборов на различных этапах их жизненного цикла.

Разработкой стандартов и координацией работ в этой области занимается базовая организация по стандартизации в системе ГУГК—ЦНИИГАиК.

В соответствии с поставленными в процессе стандартизации задачами различают несколько видов стандартов. Стандарты вида «Типы, основные параметры и технические требования» устанавливают типоразмерный ряд для приборов определенной группы, регламентируют параметры для каждого типа приборов и определяют технические требования к ним. Стандарты вида «Технические условия» (или «Общие технические условия») сверх того устанавливают правила приемки готовых изделий, методы контроля, порядок маркировки, транспортирования, упаковки и хранения приборов. Стандарты вида «Методы и средства поверки» регламентируют вопросы проведения поверочных работ средств измерений при выпуске из производства, после ремонта и в период эксплуатации.

Разработка стандартов производится с учетом требований Государственной системы стандартизации (ГСС), изложенных в ГОСТ 1.0—68÷ГОСТ 1.5—68. Каждый стандарт при его разработке проходит шесть основных стадий: разработку, согласование и утверждение технического задания (ТЗ); разработку первой редакции проекта стандарта; сбор и анализ отзывов по проекту стандарта; разработку окончательной редакции проекта стандарта; его согласование; утверждение стандарта и введение в действие.

В настоящее время стандартами охвачены геодезические приборы, выпускаемые крупносерийным производством. Среди них: теодолиты (ГОСТ 10529—79), нивелиры (ГОСТ 10528—76), тахеометры (ГОСТ 10812—74), рейки нивелирные (ГОСТ 11158—76), кипрегели (ГОСТ 20778—75), дальномеры двойного изображения (ГОСТ 22549—77), центриры оптические (ГОСТ 22550—77), светодальномеры (ГОСТ 19223—73).

Важную роль должен сыграть основополагающий стандарт в области геодезического приборостроения «Приборы геодезические. Общие технические требования» (ГОСТ 23543—79). В нем обобщены основные технические требования, предъявляемые к различным видам приборов.

Основные понятия в области геодезического приборостроения закреплены в стандарте «Приборы геодезические. Термины и определения» (ГОСТ 21830—76).

## **§ 8. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Геодезические приборы, как известно, предназначены для измерений на местности в разнообразных физико-географических условиях. Цикличность использования геодезических приборов различна: для части из них характерна сезонная эксплуатация (в летний период), некоторая часть приборов находится в работе круглый год. В последние годы целый ряд промышленных предприятий и научно-исследовательских организаций оснащается геодезической техникой, которая используется в качестве контрольно-измерительного оборудования.

Необходимость применения геодезических приборов в разнообразных условиях предъявляет особые требования к их конструкции, чтобы гарантировать высокую сохраняемость параметров во времени и при воздействии факторов внешней среды.

Высокоточные геодезические приборы способны функционировать при температуре от  $-30$  до  $+50$  °С и при относительной влажности до 95% при температуре  $+20$  °С. Для прочих геодезических приборов температурный диапазон еще шире — от  $-40$  до  $+50$  °С.

Все геодезические приборы могут транспортироваться любым видом транспорта. Большая часть приборов приспособлена для переноски в укладочных футлярах на спине — в походном положении.

Работа приборами может выполняться при их установке на штатив, столик геодезического знака, столб. Для некоторых приборов необходимо применение защитного экрана (навеса, зонта) от прямого воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков.

С точки зрения ремонтпригодности геодезические приборы являются восстанавливаемыми изделиями. Их конструкция по-

зволяет проводить полную или частичную разборку, чистку и смазку узлов, регулировку взаимного положения элементов. Из узлов, подчиняющихся сравнительно простой регулировке, доступной даже в полевых условиях, можно указать: уровни, объективы микроскопов отсчетных систем, сетки нитей, подъемные винты, наводящие устройства, осветительные устройства, блоки питания.

Технологические условия проведения геодезических работ различными приборами предусматривают далеко не одинаковые возможности использования времени измерений. Для одних приборов (применяемых, например, в триангуляции, точном нивелировании) необходимы жестко регламентированные периоды работы (как правило, утром и вечером). Для ряда других приборов (топографических светодальномеров, радиодальномеров, длиномеров, лент, тахеометров, кипрегелей) ограничений либо вообще не существует, либо они значительно менее жесткие, чем для указанных выше случаев.

Поскольку геодезические приборы не входят в состав государственной системы приборов (ГСП), оговоренной ГОСТ 8.002—71, их поверка проводится ведомственными метрологическими службами.

## **§ 9. ОСОБЕННОСТИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

По своим метрологическим свойствам геодезические приборы относятся к многозначным средствам измерений, предназначенным для работы в относительно широком диапазоне пространства.

К особенностям геодезических приборов следует также отнести наличие встроенных элементов (уровни, отсчетные шкалы и микроскопы, наблюдательные оптические системы, компенсаторы, индикаторы и т. п.) текущего контроля функционального состояния и правильности проведения технологических операций. Перечисленные конструктивные элементы позволяют проводить метрологическое обслуживание геодезических приборов как в стационарных условиях, так и на полевых объектах.

Отметим также специфику применения геодезических приборов, регламентируемую действующими нормативно-техническими документами (НТД) на уровне инструкций и руководств. В геодезии бесконтрольные измерения не допускаются. Причем методика измерений строится таким образом, чтобы о качестве работы системы «наблюдатель — среда — прибор» можно было судить не только по сходимости повторных измерений, но и по соблюдению (с установленными допусками) заданных математических условий.

Указанные особенности геодезических приборов определяют широкие возможности их метрологического обслуживания.

ния. При этом поверку можно осуществлять различными известными методами: сравнением с эталоном при проведении прямых или косвенных измерений физических величин, калибровкой средств измерений, сличением средств измерений. Поверка геодезических приборов зачастую должна проводиться непосредственно на производственных объектах. Особую ценность в системе метрологического обслуживания геодезических приборов имеют технологические критерии работоспособности — невязки замкнутых фигур (полигонов), соблюдение условия горизонта, сходимость прямых и обратных измерений, оговоренные в технологических НТД.

С точки зрения периодичности метрологического обслуживания следует выделить несколько уровней поверки в эксплуатации:

1. Межсезонная поверка — проводится в профилактических целях в межсезонный период.

2. Текущая периодическая поверка — проводится перед выездом на полевые работы. Ее результаты документально прикладываются к материалам полевых работ и сдаются в виде ведомостей и сводок отделу технического контроля.

3. Внеочередная поверка — после длительной транспортировки в тяжелых условиях или иных, не свойственных эксплуатации нагрузок.

4. Частичная технологическая поверка — контроль сохранения основных геометрических условий проводится на каждом пункте (объекте) после переезда на него, а также ежедневно перед началом наблюдений.

Таким образом, геодезические приборы поверяются, по крайней мере, один раз в год в полном объеме контроля метрологических параметров. Кроме того, перед началом наблюдений проверяются элементы, характеризующие геометрические и оптико-механические условия, положенные в основу конструкции прибора.

Периодичность поверки геодезических приборов устанавливается действующими инструкциями по проведению топографо-геодезических работ [18—20].

Анализ некоторых методов расчета межповерочных интервалов показывает, что для геодезических приборов, используемых без технологических и сезонных перерывов, наиболее приемлемы два метода: по экономическим критериям и на основе анализа данных о времени безотказной работы.

Указанные методы можно распространить и на топографо-геодезическую технику, используемую сезонно. Однако поскольку межповерочный интервал, как правило, у большинства таких приборов больше продолжительности сезона, целесообразно руководствоваться теми требованиями и указаниями в отношении времени поверки приборов, которые изложены в инструкциях [18—20].

Объем поверки устанавливается в каждом конкретном случае в зависимости от типа и вида прибора, а также и от задач поверки; содержание поверочных работ для конкретных технологических процессов указывается в инструкциях [18—20].

На предприятиях-изготовителях проводятся первичная и послеремонтная поверки. Их содержание и объем регламентируются в стандартах вида «Методы и средства поверки» или в эксплуатационной документации.

Нестандартизованные средства измерений узковедомственного назначения, а также средства измерений, не предназначенные для серийного или массового производства, подлежат индивидуальной поверке или метрологической аттестации.

Порядок проведения метрологической аттестации средств измерений установлен методическими указаниями МУ 8.7—77, разработанными Госстандартом.

Методы экспериментального определения метрологических характеристик, как правило, должны основываться на методах, установленных действующими нормативно-техническими документами (для геодезических приборов — действующие инструкции ГУГК).

#### **§ 10. ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Порядок выбора, правила нормирования и форма представления метрологических характеристик средств измерений установлены ГОСТ 8.009—72 «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» и ГОСТ 8.011—72 «Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений».

При выборе основных метрологических характеристик геодезических приборов необходимо учесть следующие три обстоятельства:

- а) геодезические приборы являются многозначными средствами измерений, как правило, с равномерной шкалой системы отсчета;
- б) геодезические приборы предназначены для использования по отдельности (вне системы или комплекса);
- в) случайные погрешности измерений геодезическими приборами существенно влияют на суммарную их погрешность.

С учетом этих особенностей ГОСТ 8.009—72 рекомендует следующие основные метрологические характеристики для их нормирования в НТД:

$Y_n$  — диапазон измерений,

$\gamma_n$  — цена деления шкалы,

$\Delta_c$  — систематическая составляющая погрешности средства измерений,

$\Delta^0$  — случайная составляющая погрешности средства измерений,

$\Delta$  — суммарная погрешность средства измерений,  
 $b$  — вариация показаний прибора,  
 $t_{\gamma}$  — время установления показаний,  
 $\psi(\xi)$  — функция влияния.

Систематическую составляющую  $\Delta_c$  можно представить комплексом характеристик:

$\Delta_{сд}$  — пределом допускаемого значения систематической составляющей погрешности,  
 $M[\Delta_c]$  — математическим ожиданием  $\Delta_c$ ,  
 $\sigma(\Delta_c)$  — средним квадратическим отклонением систематической составляющей погрешности.

Причины появления систематических составляющих погрешностей геодезических приборов и их классификация детально рассмотрены в работах [2, 6, 11, 27, 37].

Случайные составляющие  $\Delta^0$  нередко оказывают превалирующее влияние на конечные результаты измерений геодезическими приборами. ГОСТ 8.009—72 допускает погрешность  $\Delta^0$  характеризовать с помощью:  $\sigma_d(\Delta^0)$  — предела допускаемого значения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности средства измерений,  $A(\Delta^0)$  — стандартной аппроксимацией функции распределения.

Систематические и случайные составляющие при поэлементной поверке геодезического прибора позволяют судить о суммарной погрешности средства измерений, которая должна нормироваться пределом допускаемого значения

$$\Delta_d = \Delta_{сд} + K\sigma_d(\Delta^0), \quad (\text{II.1})$$

где  $K$  — коэффициент, зависящий от принятой доверительной вероятности  $P$ .

Зависимость вида

$$K = F(P) \quad (\text{II.2})$$

должна быть определена из исследований разработчиком и внесена в конструкторскую и эксплуатационную документацию.

Остановимся на некоторых замечаниях относительно других рекомендуемых характеристик средств измерений.

Средняя разность отсчетов по измерительному прибору в данной точке диапазона измерений соответствующих одинаковым входным сигналам, устанавливаемым независимо, характеризует вариации показаний  $b$  прибора. Примерами вариаций показаний геодезического прибора могут быть: изменения отсчетов по рейке дальномера двойного изображения при совмещении штрихов движением установочного винта на ввинчивание и вывинчивание; изменения отсчетов по лимбу теодолита после наведения зрительной трубы на цель вращением алидады по ходу и против хода часовой стрелки; разброс отсчетов по шкале фазовращателя светодальномера при установке нуля индикаторного

устройства движением стрелки в двух противоположных направлениях и т. п.

Время установления показаний  $t_y$  является динамической характеристикой прибора. Эта характеристика может быть применена к тем средствам измерений, в конструкции отсчетной системы которых содержится чувствительный элемент маятникового, индуктивного, механического или иного типа. Например, время успокоения колебаний подвесной системы компенсатора вертикального круга теодолита является метрологической характеристикой вида  $t_y$ .

Дополнительные динамические характеристики — амплитудно- и фазочастотные — должны использоваться при описании электромагнитных дальномеров, электронных тахеометров, гиroteодолитов, лазерных приборов.

Функция влияния  $\psi(\xi)$  определяют как функцию изменения метрологических характеристик прибора от внешних факторов (температура среды, давление, влажность, вибрация, ударные нагрузки — тряска, нестабильность напряжения питания, односторонний нагрев — охлаждение, изменение освещенности объекта наблюдений и т. п.).

Функцию влияния рекомендуется нормировать для тех метрологических характеристик, которые регламентируются для нормальных условий эксплуатации. Если метрологические характеристики прибора нормированы для рабочих условий эксплуатации прибора, то  $\psi(\xi)$  в нормативно-технической документации не оговаривается.

## **§ 11. НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОРГАНИЗАЦИИ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ**

Меры и измерительные приборы на предприятиях (в организациях) поверяют органы ведомственной метрологической службы согласно поверочным схемам, стандартам, методикам или инструкциям на методы и средства поверки.

Периодическая поверка средств измерений должна проводиться по календарному графику, составленному на предприятии (в организации). График поверки составляет и подписывает лицо, ответственное за состояние измерительной техники, а утверждает главный инженер (заместитель руководителя) предприятия. Графики поверки рекомендуется составлять по видам измерений. После утверждения график поверки должен храниться у лица, ответственного за состояние измерительной техники.

На каждый прибор, прошедший ведомственную поверку, выдается документ. Для этой цели применяют паспорт (или формуляр) и аттестат.

В паспорте (формуляре) отражают данные о состоянии прибора в эксплуатации, результаты ремонта и периодической поверки.

Аттестат — разовый документ, содержащий технические данные по результатам поверки прибора.

Для простых по конструкции приборов низкой точности вместо аттестата применяют клеймо.

Поверка может выполняться в специально оборудованных лабораторных помещениях или на рабочих местах.

Для обеспечения нормальных условий проведения измерений необходимо соблюдение целого ряда требований по ограничению всевозможных внешних воздействий в рабочем пространстве.

Необходимо стремиться к тому, чтобы в лабораторном помещении были обеспечены следующие условия:

- а) температура воздуха 20 °С, допускаемые отклонения температуры  $\pm 5$  °С;
- б) относительная влажность воздуха 60%, допускаемое отклонение  $\pm 20$ %;
- в) атмосферное давление 101324,72 Па (760 мм рт. ст.);
- г) наибольшая скорость движения воздуха в рабочем пространстве не должна быть более 0,2 м/с;
- д) частота возмущающих гармонических вибраций, воздействующих на объект поверки и средства контроля, не должна превышать 30 Гц;
- е) допускаемый уровень освещенности должен соответствовать уровню, приведенному в табл. 3;
- ж) уровень шума в рабочем пространстве допускается не более 80 дБ.

Поверяемое изделие должно быть помещено в рабочее пространство за 2 ч до начала измерений, образцовое средство измерений — за 24 ч до начала измерений.

При подготовке и проведении измерений рекомендуется соблюдать следующие основные правила:

1. Установка, монтаж и размещение оборудования должно проводиться так, чтобы было исключено их взаимное влияние, а также воздействие окружающих объектов (окон, отопительных систем, дверей).

2. Контрольно-измерительные приборы располагают с учетом удобства управления ими, обеспечения высокой производительности поверочных работ, предохранения их от порчи, сохранения режима измерений.

3. Должны быть предусмотрены меры по технике безопасности и производственной санитарии.

4. Измерения проводят по заранее разработанной программе, строго соблюдая порядок выполнения измерительных операций.

Таблица 3

| Тип отсчетного устройства   | Освещенность, лк, для ламп |             |
|---|----------------------------|-------------|
|   | люминесцентных             | накаливания |
| Экран, световой указатель, микроскоп с окуляром, шкала на световом фоне | 150—250                    | 50—150      |
| Стрелочный индикатор  | 300—500                    | 150—300     |
| Шкала на темном фоне  | 500—750                    | 300—500     |

5. Необходимо избегать перерывов во время начатой серии измерений, поскольку от регулярности отсчетов зависит исключение некоторых систематических погрешностей, действующих пропорционально времени.

6. Во всех случаях, когда появляются сомнения в правильности полученных результатов, измерения необходимо повторить, сопроводив их пояснительной записью.

7. Журнал наблюдений следует вести аккуратно, не допуская исправлений цифр и помарок. Вычеркивание результатов должно сопровождаться пояснением его причины. В журнале указывают время измерений, наименования и номера приборов, основные их метрологические характеристики, вид измерений, номера серий и приемов измерений.

8. Отсчеты целесообразно записывать в виде таблицы так, чтобы четко была видна их последовательность. Запись должна отражать показания приборов без каких-либо изменений. Пересчеты показаний приборов в уме не допускаются.

9. Вычисления полезно проводить в процессе измерений, во-первых, для того чтобы их не накапливать, а во-вторых, для непосредственного суждения о ходе измерений и необходимости выполнения дополнительных (повторных) наблюдений.

После завершения поверочных работ измерительное и вспомогательное оборудование должно быть отключено и убрано (сдано) в помещение для хранения. Результаты поверки должны быть обработаны и оформлены в виде документа установленной формы.

## Глава III

### ПОВЕРКА ТЕОДОЛИТОВ

---

#### § 12. ТИПЫ ТЕОДОЛИТОВ И ИХ ОПИСАНИЕ

В настоящее время в нашей стране серийно выпускаются шесть типов оптических теодолитов: Т05, Т1, Т2, Т5, Т15 и Т30. Кроме того, разработаны и выпускаются модификации теодолитов: автоколлимационные — Т2А и Т5А; с компенсатором при вертикальном круге — Т5К и Т15К (последний со зрительной трубой прямого изображения); в маркшейдерском исполнении — Т30М.

Указанные теодолиты являются оптическими со стеклянными кругами и совмещенным расположением, наводящих и зажимных устройств; отсчетывание по кругам проводят по одному микроscopesу, расположенному рядом со зрительной трубой; большинство из теодолитов с оптическими центрирами, встроенными в алидадную часть прибора; зрительные трубы всех теодолитов с внутренней фокусировкой и высококачественной оптикой, обеспечивающей получение неискаженных, ясных и четких изображений даже при неблагоприятных условиях освещенности.

Теодолиты Т05, Т1 и Т2 обладают двухсторонней системой отсчетывания и оптическим микрометром. В теодолитах Т5 и Т15 система отсчетывания односторонняя по шкаловым микроscopesам, и в теодолите Т30 использован микроскоп с индексом. Исследования показали [12, 37], что в лабораторных условиях предельная погрешность отсчета не превышает 0,5—0,7 средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла данным прибором.

Теодолиты снабжены уровнями с ампулами в соответствии с ГОСТ 2386—73. Номинальная цена деления ампулы уровня в пределах 6—60".

Рабочий диапазон температур для теодолитов Т05 и Т1 находится в пределах от +50 до —25 °С, для остальных теодолитов от —40 до +50 °С.

Срок службы теодолитов, как правило, не менее 7—8 лет. Для более универсального использования теодолитов промышленность выпускает целый ряд приспособлений к ним: — комплекты визирных целей, оптические двухсторонние центриры, накладные уровни, буссоли, центрировочные плиты, комплект электрооборудования.

Рассмотрим основные конструктивные особенности современных теодолитов.

Теодолит Т05 предназначен для измерения горизонтальных и вертикальных углов на пунктах триангуляции и полигонометрии I класса. Кроме того, прибор используется как контрольно-измерительное оборудование при различных исследованиях.

Теодолит состоит из двух частей. Верхняя съемная часть включает: зрительную трубу, горизонтальную ось и вертикальный круг. Нижняя часть содержит: несъемную подставку с подъемными винтами, вертикальную осевую систему, горизонтальный круг, алидаду с колонками, несущими лагерами, оптическую отсчетную систему горизонтального круга.

Вертикальная ось цилиндрическая, полая, саморегулирующаяся, жестко соединена с алидадной частью и опирается через шарики на коническую часть баксы. В нижней части прибора находится разгрузочное приспособление, предохраняющее рабочие части при транспортировке прибора.

Горизонтальная ось имеет стальные цилиндрические цапфы открытого типа, которые ложатся на несущие лагеры нижней части, одна из которых имеет исправительные винты для исключения неравенства подставок.

Зрительная труба — центральная, астрономическая. Плоскопараллельная пластинка окулярного микрометра помещена перед сеткой нитей. Пластинка поворачивается вокруг вертикальной оси на угол  $\pm 5^\circ$ , что вызывает смещение визирного луча на  $30''$ , цена деления барабана окулярного микрометра  $1''$ . Сетка нитей состоит из биссектора с угловым расстоянием  $36''$  и односторонних вертикального и горизонтального штрихов.

Горизонтальный и вертикальный круги имеют раздельное электроосвещение и различный цветовой фон. На кругах нанесены бифилярные штрихи через десятиминутные интервалы, оцифрованные через градус от 0 до 359. Горизонтальный круг имеет устройство для установки требуемого отсчета.

При работе с прибором применимы три уровня: цилиндрический накладной с ценой деления  $4''$ , устанавливаемый на цапфы горизонтальной оси; цилиндрический уровень при алидаде горизонтального круга с ценой деления  $6-7''$ ; и цилиндрический контактный уровень при алидаде вертикального круга с ценой деления  $10-12''$  и поворотной призмой.

Теодолит Т1 предназначен для угловых измерений в триангуляции и полигонометрии 2 класса. В конструкции теодолита несъемная подставка, алидадная часть, связанная конструктивно с колонками, несущими горизонтальную ось прибора и отсчетную систему.

Оси цилиндрические полые, жестко соединенные — вертикальная с алидадной частью прибора, горизонтальная — с трубой.

Зрительная труба астрономическая, центральная со сменными окулярами на разное увеличение. Сетка состоит из биссектора с угловым расстоянием  $40''$ , штрихи сетки нанесены на плос-

копараллельную пластину. Труба имеет окулярный микрометр с ценой деления  $1''$  и пределом измерения  $30''$ , изображение шкалы микрометра передается в поле зрения трубы.

Наименьшее деление круга  $10'$ , горизонтальный круг может перемещаться с помощью винта перестановки, вертикальный круг жестко скреплен с горизонтальной осью прибора. В отсчетной системе использован клиновой микрометр с ценой деления шкалы  $1''$ , нанесенной на стекле.

В конструкции теодолита использованы три уровня: накладной с ценой деления  $4-6''$ , при алидаде горизонтального круга с ценой деления  $6-8''$  и при алидаде вертикального круга с ценой деления  $10-12''$ .

Оптико-механической промышленностью выпускается два типа точных теодолитов: Т2 и Т5.

Теодолит Т2 предназначен для угловых измерений в триангуляции 3 и 4 классов и при различных инженерных работах.

Вертикальная ось цилиндрическая, полая, жестко связана с алидадной частью прибора. Горизонтальная ось жестко связана с корпусом зрительной трубы, опирается на несущие лагёры в колонках, при этом одна из лагёр имеет возможность регулировки положения по высоте горизонтальной оси.

Зрительная труба центральная, астрономическая. Сетка нитей состоит из биссектора с угловым расстоянием  $40''$ , вертикальной и горизонтальной нитей, образующих перекрестие, а также двух дальномерных нитей, составляющих нитяный дальномер.

Круги теодолита разделены через  $20'$ , оцифровка градусная, вертикальный круг разделен одинарными штрихами, горизонтальный — двойными. В отсчетной системе прибора применен оптический клиновой микрометр, содержащий шкалу с ценой деления  $1''$ .

Конструкцией теодолита предусмотрены два уровня — при алидаде горизонтального круга с ценой деления  $15''$  и при вертикальном круге с ценой деления  $20''$ , последний контактного типа.

На основе базовой модели выпускается модификация прибора — теодолит Т2А [13].

Теодолит Т5 предназначен для измерения углов в теодолитных ходах, аналитических сетях и полигонометрии 1 и 2 рядов.

Вертикальная ось цилиндрическая, полая, саморегулирующаяся. Горизонтальная ось жестко скреплена с корпусом зрительной трубы и установлена во втулках — лагёрах колонки. Лагёры выполнены в виде эксцентриков, что позволяет регулировать положение горизонтальной оси. Горизонтальный круг может быть соединен с алидадой и вращаться с ней. Соединение осуществляется с помощью защелки повторительного устройства.

Теодолит с двухканальной оптической системой, обеспечивающей независимое построение изображений обоих кругов в плос-

кости шкалы микроскопа. В отсчетной системе применен шкаловой микроскоп с ценой деления 1'. Круги разделены через 1<sup>0</sup> одинарными штрихами.

Конструкция теодолита предусматривает использование двух уровней — при алидаде горизонтального круга с ценой деления 45" и при алидаде вертикального круга с ценой деления 15".

На базе теодолита Т5 промышленность выпускает модификации — приборы Т5А и Т5К. Теодолит Т5К отличается от базовой модели наличием компенсатора при вертикальном круге с диапазоном работы  $\pm 3'$  и точностью установки линии визирования 3".

В последнее время оптико-механической промышленностью освоен выпуск теодолитов улучшенных технических характеристик и эксплуатационных свойств; это серия теодолитов 2Т — 2Т2, 2Т5, 2Т5К [12]. Отличительные черты новых теодолитов:

- 1) в теодолите типа Т2 применена новая отсчетная система, предусматривающая цифровую индикацию десятков минут в дополнительном окошке диафрагмы поля зрения микроскопа;
- 2) в теодолитах типа Т5 и Т5К имеется односторонняя двухканальная система отсчета с различным цветовым фоном изображения вертикального и горизонтального кругов;
- 3) применены закрепительные устройства куркового типа;
- 4) имеется унифицированный футляр для всей серии;
- 5) снабжены кругом-искателем для установки начального отсчета.

Кроме того, теодолитам серии 2Т присуща большая степень унификации отдельных элементов и узлов, достигающая 70—90%. Унификации подверглись алидадная часть, подставка и колонки теодолитов, детали управления. Полностью унифицированы зрительные трубы, по-новому решен ряд узлов, упрощающих юстировку и подготовительные операции с приборами. Повышены эстетические показатели теодолитов. Основные технические данные новой серии приведены в табл. 4.

Теодолит Т15 предназначен для угловых измерений в теодолитных и тахеометрических ходах, в съемочных сетях, при переносе проектов в натуру, при геологических изысканиях и изысканиях линейного строительства.

Т а б л и ц а 4

| Параметры                            | Теодолит |      |      |
|--------------------------------------|----------|------|------|
|                                      | 2Т2      | 2Т5  | 2Т5К |
| Увеличение зрительной трубы, крат    |          | 27,5 |      |
| Наименьшее расстояние визирования, м |          | 1,5  |      |
| Цена деления круга-искателя, °       |          | 10   |      |
| Высота горизонтальной оси, мм        |          | 225  |      |
| Масса, кг                            | 4,2      | 3,8  | 3,6  |

Угломерные круги прибора разделены через 1°, в отсчетной системе использован шкаловой микроскоп с ценой деления 1', система отсчитывания односторонняя. В конструкции теодолита два цилиндрических уровня: при алидаде горизонтального круга с ценой деления 45" и при алидаде вертикального круга с ценой деления 30".

На базе теодолита Т15 выпускается теодолит Т15К. Прибор отличается от базовой модели наличием трубы прямого изображения и компенсатора при вертикальном круге. Теодолит с неповторительной системой осей, горизонтальный круг может переставляться с помощью винта перестановки.

Теодолит Т30 предназначен для угловых измерений при инженерно-строительных изысканиях. Теодолит с повторительной системой осей. Круги разделены через 10', оцифровка градусная, в отсчетной системе использован микроскоп с индексом с точностью отсчета 1'. Прибор имеет уровень при алидаде горизонтального круга с ценой деления 45". Отверстие в алидаде позволяет центрировать теодолит зрительной трубой через полувертикальную ось.

### § 13. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕОДОЛИТОВ

К метрологическим характеристикам теодолитов, подлежащим контролю в процессе поверки, следует отнести: погрешности измерения горизонтальных и вертикальных углов, систематические составляющие погрешности измерений, значение цены де-

Т а б л и ц а 5

| Характеристики   | Тип теодолита |       |       |       |       |        |
|--|---------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|  | Т05           | Т1    | Т2    | Т5    | Т15   | Т30    |
| Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла, " | 0,5           | 1     | 2     | 5     | 15    | 30     |
| Средняя квадратическая погрешность измерения вертикального угла, "   | 1             | 1,5   | 3     | 8     | 20    | 45     |
| Погрешности диаметров горизонтального круга, "                       | ± 1,0         | ± 1,2 | ± 1,5 | ± 2,5 | ± 6,0 | ± 10,0 |
| Коэффициент нитяного дальномера, %                                   | —             | —     | 100   | ± 0,5 | 100   | ± 1    |
| Цена деления окулярного микрометра, "                                | 1 ± 0,05      | —     | —     | —     | —     | —      |
| Рен отсчетного устройства горизонтального круга, "                   | 0,5           | 0,7   | 1     | 3     | 6     | —      |
| вертикального, "   | 1             | 1     | 2     | 3     | 6     | —      |
| Погрешность за ход фокусирующей линзы, "                             | 2             | 2     | 2     | 3     | 6     | 30     |
| Эксцентриситет вертикального круга, "                                | —             | —     | —     | 10    | 15    | 60     |
| Коллимационная погрешность, "  | —             | —     | 5     | 15    | 30    | 60     |
| Место нуля вертикального круга, "                                    | —             | —     | 10    | 15    | 60    | 120    |

ления шкал рабочих мер (или их отклонения от номинальных значений). Метрологические характеристики теодолитов, выпускаемых по ГОСТ 10529—79, приведены в табл. 5.

#### § 14. СОДЕРЖАНИЕ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ

Содержание поверочных работ для теодолитов при метрологическом контроле приведено в табл. 6.

В настоящее время поверочной схемы для теодолитов не существует, обязательность выполнения того или иного вида поверки зависит от типа теодолита, условий его применения, а также от стадии жизненного цикла прибора (разработка, серийное производство, ремонт или эксплуатация).

Т а б л и ц а 6

| № п. п. | Содержание поверочных работ   | Методы и средства поверки  | Тип теодолита  |
|---------|---|--|--|
| 1       | Проверка внешнего состояния и комплектности   | Визуальный осмотр  | Все типы   |
| 2       | Оценка работоспособности подвижных частей   | Опробование  | Все типы   |
| 3       | Определение средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла         | Автоколлиматоры по ГОСТ 11899—77 или коллиматоры с $f > 350$ мм или коллиматор УК-1                        | Все типы   |
| 4       | Определение средней квадратической погрешности измерения вертикального угла           | То же  | Все типы   |
| 5       | Определение погрешности диаметров горизонтального круга                               | Автоколлиматор по ГОСТ 11899—77, многогранные призмы I разряда по ГОСТ 2875—75, коллиматоры с $f > 350$ мм | Кроме Т15 и Т30  |
| 6       | Определение коэффициента нитяного дальномера  | Эталонный базис или теодолиты по ГОСТ 10529—79   | Кроме Т05 и Т1   |
| 7       | Определение цены деления окулярного микрометра  | Автоколлиматоры по ГОСТ 11899—77   | Т05 и Т1   |
| 8       | Определение рена отсчетной системы  | Многokrатные измерения по шкале  | Кроме Т30  |
| 9       | Определение погрешности за смещение визирной оси при перефокусировке зрительной трубы | Визирные марки, автоколлиматоры по ГОСТ 11899—77   | Для теодолитов, используемых для наблюдений на разноудаленные цели |
| 10      | Определение эксцентриситета вертикального круга                                       | Автоколлиматоры по ГОСТ 11899—77   | Т5, Т15, Т30   |
| 11      | Определение коллимационной погрешности  | Измерение направлений на визирную цель   | При использовании теодолитов для наблюдений при одном круге        |
| 12      | Определение места нуля вертикального круга  | То же  |  |

Методика проведения поверки определяется наличием контрольно-измерительного оборудования и требуемой точностью контроля параметров.

## **§ 15. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ ПОВЕРКИ ТЕОДОЛИТОВ**

Перед началом проведения поверок теодолит и применяемые средства поверки должны устанавливаться на прочном фундаменте, изолированном от внешних воздействий. До начала испытаний теодолит и средства поверки выдерживаются на месте испытаний в течение 1 ч. Подготовка теодолита и средств поверки к измерениям должна проводиться в соответствии с инструкцией по их эксплуатации.

### *1. Поверка внешнего состояния и комплектности теодолита*

Поверку внешнего состояния проводят визуальным осмотром. При этом выявляют повреждения механических и оптических деталей, проверяют наличие параллакса и четкость изображения, установку уровней и регулировочных приспособлений, равномерность освещения отсчетной системы, наличие электрических контактов. Кроме того, опробованием должна быть проверена однозначность и стабильность монтажа на теодолит его съемных узлов (осветителя, буссоли, накладного уровня и т. д.), удобство и правильность укладывания приборов в укладочный ящик, замки и приспособления для переноски последнего, а также маркировка теодолита и упаковки.

Комплектность теодолита проверяется путем сличения с комплектом, указанным в паспорте теодолита (или иной документации).

### *2. Оценка работоспособности подвижных частей*

Поверку выполняют опробованием. При этом выявляют и устраняют в подвижных частях люфты и неплавности хода, осязаемые деформации. Проверяют работоспособность фокусирующего приспособления, расход окуляров, работоспособность микрометров отсчетной системы и зрительной трубы и т. д., расход регулировочных приспособлений, кроме того, проверяют наличие ограничителей и стопорных устройств, где это необходимо.

### *3. Определение средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла*

Одна из важнейших характеристик качества теодолита — средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла. Она в наиболее полной степени характеризует метрологи-

ческие качества теодолита. Эту погрешность можно получить двумя путями: косвенно — на основе частных значений инструментальных погрешностей [34, 40] и непосредственно — по результатам измерений углов необходимым числом приемов (ГОСТ 20063—74).

Первый путь трудоемок, и сравнительно сложен в реализации, так как требует образцовых средств контроля. Второй путь менее продолжителен и не требует наличия разнообразных технических средств. В практике испытаний часто применяют оба способа.

В лабораторных условиях горизонтальный угол образуют направлениями на вертикальные нити автоколлиматоров, коллиматоров или используют для этой цели коллиматор УК-1.

Обычно применяют две визирные цели. Угол выбирают в пределах  $90 \pm 30^\circ$ , разность вертикальных углов двух визирных целей, между которыми измеряют угол, должен быть не менее  $20-25^\circ$ . Испытуемым теодолитом выполняют четыре серии измерений по 12 приемов, каждый из которых состоит из двух полу-приемов. Между каждым приемом необходимо переставлять лимб на  $15^\circ$ . Среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла вычисляют по формуле

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}, \quad (\text{III.1})$$

где  $n$  — число приемов;  $v$  — уклонение измеренного значения угла от среднего в данной серии.

Среднюю квадратическую погрешность величины  $m_{\beta}$  вычисляют по формуле

$$m_{m_{\beta}} = \frac{m_{\beta}}{\sqrt{2(n-1)}}. \quad (\text{III.2})$$

Пример записи и обработки результатов измерений при определении средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла приведен в табл. 7, 8, 9.

Т а б л и ц а 7

Журнал записи измерений

Дата: 25.08.79 г.

$T_{\text{н}} = +21,8^\circ \text{C}$ ;

$T_{\text{д}} = +21,9^\circ \text{C}$ ;

III серия

Теодолит 2Т2 № 1948.

$\beta = 85^\circ 40'$ .

$\alpha_2 = 25^\circ 16'$   $\alpha_1 = +0^\circ 02'$ .

Наблюдатель: В. С. Петров.

$\varphi = 30^\circ 00'$

| № приема | Коллиматор | Отсчеты горизонтального круга |                        |                 |                   | Значение угла         |
|----------|------------|-------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-----------------------|
|          |            | Л                             | П                      | $Л-П+180^\circ$ | $1/2 \cdot (Л+П)$ |                       |
| 4        | 1          | $30^\circ 00' 16,4''$         | $210^\circ 00' 18,2''$ | $-1,8''$        | $17,3''$          | $85^\circ 40' 09,0''$ |
|          | 2          | $115 40 26,4$                 | $295 40 26,2$          | $+0,2$          | $26,3$            |                       |

Таблица 8

Вычисление средней квадратической погрешности  $m_{\beta}$   
III серия

| № приема | Значение угла                            | $\sigma$ |
|----------|--|----------|
| 1        | 85°40'06,8"                              | -2,5"    |
| 2        | 07,2                                     | -2,1     |
| 3        | 09,7                                     | +0,4     |
| 4        | 09,0                                     | -0,3     |
| 5        | 10,0                                     | +0,7     |
| 6        | 09,2                                     | -0,1     |
| 7        | 12,6                                     | +3,3     |
| 8        | 12,0                                     | +2,7     |
| 9        | 13,2                                     | +2,9     |
| 10       | 09,2                                     | -0,1     |
| 11       | 07,2                                     | -2,1     |
| 12       | 06,4                                     | -2,9     |
| Среднее  | 85°40'09,3"<br>[ $\sigma\sigma$ ]=51,95. | -0,1"    |

Средняя квадратическая погрешность измерения горизонтального угла из одного приема:  $m_{\beta}=2,2''$ .

Средняя квадратическая погрешность величины  $m_{\beta}:m_{m_{\beta}} = 0,47''$

Более достоверным является способ получения средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла по истинным погрешностям при наличии эталонного горизонтального угла заранее измеренного с погрешностью в два-три раза менее, чем у поверяемого прибора, в этом случае

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{qn}}, \quad (\text{III.3})$$

Таблица 9

## Сводка величин

| № серии | Наблюдатель | $m_{\beta}$ | $m_{m_{\beta}}$ |
|---------|-------------|-------------|-----------------|
| I       | Петров      | 1,8"        | 0,38"           |
| II      | Иванов      | 1,9         | 0,40            |
| III     | Петров      | 2,2         | 0,47            |
| IV      | Иванов      | 1,8         | 0,38            |
| Среднее |             | 1,92"       | 0,20"           |

где  $n$  — число приемов;  $\Delta$  — отклонение измеренного значения угла от эталонного;  $q$  — число углов.

Погрешность прибора при измерении горизонтального угла можно также получить по величине уклонения от  $360^\circ$  суммы трех углов  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ , образующих замкнутый контур, с вершинами углов, расположенными в одной точке.

Горизонтальные углы выбирают в пределах  $90$ — $150^\circ$ , при этом углы наклона между направлениями должны отличаться друг от друга не менее чем на  $20^\circ$ . Измерение горизонтальных углов выполняют несколькими сериями по шесть приемов в каждой, с перестановкой круга между приемами на  $30^\circ$ . Углы измеряют последовательно и независимо.

Погрешность прибора при измерении горизонтального угла вычисляют по формуле (III.3), в которой

$$\Delta = (\beta_1 + \beta_2 + \beta_3) - 360^\circ.$$

Для исключения остаточного влияния наклона вертикальной оси теодолитов Т05, Т1 и Т2 необходимо ввести поправку в среднее из двух полуприемов значение направления за погрешность наклона оси  $\delta I$  по формуле

$$\delta I = \frac{1}{2} I \tau \operatorname{tg} \alpha, \quad (\text{III.4})$$

где  $I$  — наклон оси;  $I = 2\text{НП} - (Л + П)_L$  при круге лево;  $I = (Л + П)_R - 2\text{НП}$  при круге право;  $Л$  и  $П$  — отсчеты по концам пузырька уровня;

$$\text{НП} = \frac{(Л + П)_L + (Л + П)_R}{4},$$

где НП — нульпункт уровня;  $\tau$  — цена деления, уровня;  $\alpha$  — угол наклона линии визирования должен быть известен с точностью до  $1^\circ$ .

Кроме вышеописанных методов получения средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла можно провести оценку точности по отдельным составляющим, т. е. выполнить поверку поэлементным способом. В этом случае  $m_\beta$  вычисляют по формуле

$$m_\beta = \sqrt{(m_\beta^{\text{виз}})^2 + (m_\beta^0)^2 + (m_\beta^{\text{ом}})^2 + (m_\beta^r)^2 + (m_\beta^{\text{рф}})^2 + (m_\beta^{\delta\beta})^2 + \rightarrow \\ \rightarrow (m_\beta^i)^2 + (m_\beta^{\text{л}})^2 + (m_\beta^{\text{л}})^2 + (m_\beta^{\text{л}})^2 + (m_\beta^{\delta\beta})^2}, \quad (\text{III.5})$$

где  $m_\beta^{\text{виз}}$  — средняя квадратическая погрешность визирования;  $m_\beta^0$  — средняя квадратическая погрешность отсчета по кругу;  $m_\beta^{\text{ом}}$  — средняя квадратическая погрешность оптического микрометра;  $m_\beta^r$  — средняя квадратическая погрешность, вызываемая репом отсчетной системы;  $m_\beta^{\text{рф}}$  — средняя квадратическая

погрешность за влияние полных погрешностей диаметров круга;  $m_{\beta}^{\Delta}$  — средняя квадратическая погрешность за влияние азимутального сдвига подставки;  $m_{\beta}^{\prime}$  — средняя квадратическая погрешность, вызываемая наклоном вертикальной оси прибора;  $m_{\beta}^{\ddagger}$  — средняя квадратическая погрешность за влияние неправильностей форм цапф;  $m_{\beta}^{\zeta}$  — средняя квадратическая погрешность, обусловленная гнутием зрительной трубы;  $m_{\beta}^{\circ}$  — средняя квадратическая погрешность за влияние механических деформаций частей прибора;  $m_{\beta}^{\delta}$  — средняя квадратическая погрешность, обусловленная смещением зрительной трубы прибора по азимуту при наклоне трубы в вертикальной плоскости.

При использовании формулы III. 5 необходимо помнить, что в зависимости от типа теодолита формула может видоизменяться.

Рассмотрим инструментальные погрешности измерений теодолитом, включенные в формулу III. 5.

Погрешности визирования определяется не только геометрическими и физическими параметрами оптики. Она зависит также от личных качеств наблюдателя, освещенности и качества визирной цели. Составляющая погрешности визирования, обусловленная инструментальными погрешностями, носит случайный характер и при нормальных условиях измерений выражается формулой

$$m_{\beta}^{\text{виз}} = \frac{15''}{\Gamma}, \quad (\text{III.6})$$

где  $\Gamma$  — увеличение зрительной трубы теодолита.

Погрешность отсчитывания по кругу зависит от увеличения отсчетной системы, ее конструкции, качества изображения штрихов. При наличии в отсчетной системе оптического микрометра погрешность отсчитывания зависит также от сборки, правильной работы оптических и механических элементов микрометра, а также от погрешностей его шкалы. В этом случае под погрешностью отсчета следует понимать суммарную величину, включающую погрешность совмещения штрихов и погрешность оценки на глаз долей наименьшего деления шкалы. С известной степенью приближения погрешность отсчета по кругам, при наличии в отсчетной системе оптического микрометра, вычисляют по формуле

$$m_{\beta}^{\circ} = \frac{\psi''}{\Gamma_0}, \quad (\text{III.7})$$

где  $\Gamma_0$  — общее увеличение отсчетной системы;  $\psi$  — предел ее разрешения.

Погрешности, вызванные реном отсчетной системы, относятся к систематическим и объясняются неточной юстировкой отсчетной системы.

Влияние полных погрешностей диаметров круга на среднее значение угла выразится формулой

$$m_{\beta}^{x_{\phi}} = \sqrt{\frac{[x_{\phi}^2]}{k}}, \quad (\text{III.8})$$

где  $k$  — число диаметров;  $x_{\phi}$  — полные погрешности круга.

Погрешности, вызванные репом и положением диаметров круга, будут рассмотрены ниже более подробно.

Погрешности из-за неправильности формы цапф априорно оценить затруднительно, их выводят из специальных исследований при определении правильности перемещения зрительной трубы по вертикали. Исследования проводятся только для высокоточных теодолитов.

Гнутые зрительной трубы — погрешность систематического характера, зависит от угла наклона трубы и происходит от перераспределения масс деталей трубы. Эту погрешность можно определить расчетным путем из специальных исследований. Устанавливают погрешность только для высокоточных теодолитов.

Погрешность азимутального сдвига трубы связана с наводящим устройством зрительной трубы. Средняя квадратическая погрешность азимутального сдвига вычисляется по формуле

$$m_{\beta}^{\delta_s} = \sqrt{\frac{[\delta_s^2]}{n}}, \quad (\text{III.9})$$

где  $\delta_s$  — величина сдвига зрительной трубы по азимуту, вычисленная из специальных исследований;  $n$  — число приемов.

На величину  $\delta_s$  влияют неправильности сборки и изготовления узла хомутика зрительной трубы.

Сдвиг подставки по азимуту, вызванный люфтом подъемных винтов и проявляющийся при вращении алидады прибора, оценивается величиной  $m_{\beta}^{\delta_{\beta}}$ . Это влияние определяется измерением угла  $\beta = 360^\circ$  не менее чем двадцатью приемами. Погрешность оценивается только у высокоточных теодолитов.

К числу инструментальных погрешностей, влияющих на точность измерения горизонтальных углов теодолитами, следует отнести погрешности случайного характера, связанные с механическими деформациями в установочных приспособлениях. Они оцениваются с известной степенью приближения величиной погрешности визирования, т. е.  $m_{\beta}^{\delta} \approx m_{\beta}^{\text{виз}}$ . Погрешность оценивается только у высокоточных приборов.

С методической точки зрения определение большинства рассмотренных выше погрешностей труда не представляет. Описание методов определения апостериорных значений инструментальных погрешностей можно найти в работах [6, 10, 30,

37]. Данные экспериментального определения точности измерений дополняют априорную оценку, получаемую на основе сведений об отдельных источниках погрешностей и дают объективное представление о суммарной погрешности с учетом взаимодействия сочленяемых рабочих узлов прибора.

При измерении горизонтальных углов необходимо соблюдать следующие правила: 1) окончательное наведение на визирную цель выполнять движением винта на ввинчивание; 2) нельзя сильно затягивать зажимные устройства теодолита; 3) начинать последующий прием при том же положении вертикального круга, при котором закончен предшествующий; 4) приемы, в которых допущены грубые погрешности или просчеты, повторяют на тех же установках круга после наблюдений всей серии.

#### 4. Определение средней квадратической погрешности измерения вертикальных углов

Как правило, для одного и того же теодолита эта погрешность в 1,5—2 раза больше погрешности измерения горизонтального угла. При определении этой погрешности используют три автоколлиматора или коллиматор УК-1. При отсутствии автоколлиматоров можно использовать зрительные трубы теодолитов при условии, что их фокусное расстояние в 1,5—2 раза больше фокусного расстояния испытуемых теодолитов.

Направлениями на горизонтальные нити сетки нитей автоколлиматоров образуют три угла  $\alpha_1 = 0^\circ$ ;  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$  не менее  $\pm 15^\circ$ . Каждый угол измеряют двумя сериями, каждая из которых содержит шесть приемов измерений по средней нити сетки нитей зрительной трубы теодолита. Эта программа определения погрешности для теодолитов Т05 и Т1. Для всех остальных типов выполняют два приема измерений угла по трем нитям сетки нитей зрительной трубы прибора.

Среднюю квадратическую погрешность измерения вертикального угла вычисляют по формуле

$$m_\alpha = \sqrt{(m'_\alpha)^2 + \frac{1}{2}(\mathcal{U}_\Phi)^2}, \quad (\text{III.10})$$

где 
$$m'_\alpha = \sqrt{\frac{[vv]}{k(n-1)}};$$

$v$  — отклонение среднего значения от измеренного угла;  $n$  — число приемов;  $k$  — число углов;  $\mathcal{U}_\Phi$  — среднее квадратическое значение полных погрешностей диаметров.

Пример записи в журнале и камеральной обработки результатов измерений по определению средней квадратической погрешности вертикального угла приведен в табл. 10, 11.

## Журнал записи измерений

Дата: 20.04.79 г.

Теодолит Т1 № 105

I серия

| № приема | Колли-<br>матор | Отсчет по лимбу |              | МО    | $\alpha$     |
|----------|-----------------|-----------------|--------------|-------|--------------|
|          |                 | Л               | П            |       |              |
| 3        | 1               | 339°25'16,1"    | 200°34'48,5" | +2,3" | +20°34'46,2" |
|          | 2               | 0 00 36,8       | 179 59 28,6  | +2,7  | -0 00 34,1   |
|          | 3               | 20 02 13,3      | 159 57 50,5  | +1,9  | -20 02 11,4  |

$$MO = \frac{Л+П+180^\circ}{2}; \quad \alpha = MO - Л = П - MO \pm 180^\circ.$$

Кроме описанного метода определения средней квадратической погрешности измерения вертикального угла применяют также метод взаимобратных направлений. При этом методе используют два коллиматора и испытуемый прибор.

Испытуемый теодолит располагают в середине между коллиматорами, так чтобы их оптические оси совпадали в пределах 0,5—1 мм. Число измеряемых углов должно быть не менее шести, и выбирают их в диапазоне  $\pm 30^\circ$ . Устанавливают заданные значения углов перестановкой коллиматоров.

При этом методе среднюю квадратическую погрешность вычисляют по формуле

$$m_\alpha = \sqrt{\frac{[a_\alpha^2]}{2nk}} \quad (III.11)$$

Таблица 11

Вычисление средней квадратической погрешности  $m'_\alpha$   
I серия

| № приема | $\alpha_1$   | $\nu$ | $\alpha_2$  | $\nu$ | $\alpha_3$   | $\nu$ |
|----------|--------------|-------|-------------|-------|--------------|-------|
| 1        | +20°34'44,3" | -1,4" | -0°00'33,2" | -0,6" | -20°02'11,9" | +1,2" |
| 2        | 47,1         | +1,4  | 32,8        | -1,0  | 09,5         | -1,2  |
| 3        | 46,2         | +0,5  | 34,1        | +0,3  | 11,4         | +0,7  |
| 4        | 45,0         | -0,7  | 35,0        | +1,2  | 10,2         | -0,5  |
| 5        | 45,2         | -0,5  | 34,4        | +0,6  | 09,4         | -1,3  |
| 6        | 46,4         | +0,7  | 33,2        | -0,6  | 12,0         | +1,3  |
| Среднее  | +20°34'45,7" | 0,0"  | -0°00'33,8" | +0,1" | -20°02'10,7" | +0,2" |

$$\Sigma \nu^2 = 15,01''; \quad m'_\alpha = \sqrt{\frac{15,01}{3,5}} = 1,0''.$$

где  $n$  — число приемов;  $k$  — число углов;  $d_\alpha = |\alpha_A| - |\alpha_B|$ ,  $\alpha_A$  — вертикальный угол между испытуемым прибором и коллиматором  $A$ ;  $\alpha_B$  — вертикальный угол между испытуемым прибором и коллиматором  $B$ .

В этом случае порядок записи в журнале и обработки несколько изменится (табл. 12, 13).

Для определения средней квадратической погрешности измерения вертикальных углов можно также использовать заранее измеренные эталонные вертикальные углы  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  и  $\alpha_3$ . Эти эталонные углы должны быть измерены с точностью в два раза выше, чем точность поверяемого теодолита. При этом ме-

Таблица 12

Журнал записи измерений

I серия

| № приема | Направление | Отсчеты по кругу |              | МО    | $\alpha$                               |
|----------|-------------|------------------|--------------|-------|--|
|          |             | П                | Л            |       |  |
| 3        | $A_1$       | 20°02'14,2"      | 150°57'49,6" | +1,9" | +20°02'12,3"                           |
|          | $B_1$       | 339 57 47,0      | 200 02 15,0  | +1,0  | -20 02 14,0<br>$d_{\alpha_1} = -1,7''$ |
|          | $A_2$       | 0 00 37,2        | 179 59 28,4  | +2,8  | +0 00 34,4                             |
|          | $B_2$       | 359 59 26,6      | 180 00 35,8  | +1,2  | -0 00 34,6<br>$d_{\alpha_2} = -0,2''$  |

Таблица 13

Вычисление средней квадратической погрешности  $m'_\alpha$

| № приема | $\alpha_1$ | $v_1$ | $\alpha_2$ | $v_2$ | $\alpha_3$ | $v_3$ |  | $\alpha_4$ | $v_4$ |
|----------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|--|------------|-------|
| 1        | 13,0"      | +0,8" | 34,0"      | 0,0"  | 14,9"      | +0,7" | ...                                    | 15,8"      | 20,2" |
| 2        | 12,3       | +0,1  | 34,4       | +0,4  | 14,2       | 0,0   | ...                                    | 15,2       | -0,8  |
| 3        | 11,8       | -0,4  | 33,2       | -0,8  | 13,2       | -1,0  | ...                                    | 16,6       | +0,6  |
| 4        | 11,2       | -1,0  | 34,0       | 0,0   | 13,6       | -0,6  | ...                                    | 16,0       | 0,0   |
| 5        | 12,6       | +0,4  | 35,0       | +1,0  | 15,2       | +1,0  | ...                                    | 17,0       | +1,0  |
| 6        | 12,0       | -0,2  | 33,6       | -0,4  | 14,2       | 0,0   | ...                                    | 15,4       | -0,6  |
| Среднее  | 12,2       | -0,3  | 34,0       | +0,2  | 14,2       | +0,1  | $[v^2]=12,32;$<br>$[d_\alpha^2]=29,14$ | 16,0       | -0,6  |

По формуле (III.10)  $m_\alpha=0,90''$ ;  $m'_\alpha=0,45''$ .

тоде определения погрешности важно обеспечить с необходимой точностью равенство высот горизонтальных осей поверяемого и образцового приборов.

Среднюю квадратическую погрешность измерения вертикального угла при этом методе получают по формуле

$$m_{\alpha} = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{kn}}, \quad (\text{III.12})$$

где  $\Delta$  — отклонение измеренного значения угла от эталонного;  $n$  — число приемов;  $k=3$  — число углов.

При испытании теодолитов с односторонним отсчитыванием по кругу при оценке средней квадратической погрешности  $m_{\alpha}$  необходимо учесть погрешность за влияние эксцентриситета вертикального круга, неисключаемую при двух положениях круга. Эта погрешность может быть определена из специальных исследований.

### *5. Определение погрешностей диаметров горизонтального круга*

Погрешностью нанесения штрихов лимба называют отклонение действительного положения штрихов лимба от номинального. Это отклонение получают в угловой мере. У теодолитов, как правило, определяют погрешности диаметров лимба.

Процесс исследования погрешностей диаметров круга можно условно разбить на три этапа: 1) образование контрольного угла или нескольких контрольных углов; 2) измерение углов; 3) вычисление погрешностей диаметров и оценка точности результатов.

Для образования контрольных углов существуют различные способы: оптико-механический, контактный, фотоэлектрический и др. Наиболее многочисленны оптико-механические способы, а среди них особый интерес представляют способы, основанные на применении многогранных призм. В отличие от других средств многогранные призмы можно использовать и в методе калибровки, и в методе сличения.

Метод калибровки заключается в последовательном откладывании контрольного угла  $\beta$  на различных участках лимба от 0 до  $180^\circ - \Delta\varphi$  через шаг  $\Delta\varphi$ . Измерения проводят рядами, число которых равно  $\beta/\Delta\varphi$ . Каждый ряд включает измерения на  $180^\circ/\beta$  установках лимба, которые проводят прямым и обратным ходами.

Для повышения точности определения погрешностей диаметров используют сочетания результатов измерений двух или нескольких углов, подбираемых из соответствующих расчетов.

Обработку измерений, выполненных по методу калибровки, осуществляют: 1) способом наименьших квадратов; 2) способом Брунса; 3) способом Елисеева; 4) способом Вильда; 5) спо-

собом Гейвелинка; 6) видоизмененным способом Вильда; 7) способом Витоженца.

Отметим, что способ наименьших квадратов имеет разновидности: способ приближений, способ обратной матрицы, способ Пранис-Праневича, достоинства и недостатки которых хорошо известны. Эти способы применяют обычно при исследовании кругов высокоточных теодолитов при измерении трех углов  $\beta$ : 36, 45 и 60°. Последнее относится к способу С. В. Елисеева и видоизмененному способу Вильда. Однако эти способы являются отступлениями от строгого решения задачи отыскания наиболее вероятных погрешностей диаметров, хотя и относительно небольшими, лежащими в пределах точности наблюдений.

Способы Брунса и Витоженца требуют специальной программы измерений по методу калибровки. В первом способе используется несколько углов, во втором — метод вставок с постепенным уменьшением шага измерений. Способ Брунса является одним из наиболее точных и реально осуществимых. Точность его при определении величин  $x_\varphi$  составляет около 0,1".

Способ Гейвелинка позволяет найти систематические погрешности диаметров круга и среднее квадратическое значение полных погрешностей диаметров путем измерения лишь одного угла  $\beta=45^\circ$ . В нашей стране этот способ почти не применяется.

Наиболее простым с точки зрения программы измерений и обработки результатов является способ Вильда, позволяющий определять полные погрешности диаметров из наблюдений угла  $\beta=45^\circ$ . Для вычисления погрешностей диаметров по способу Вильда используют формулу

$$x_{\varphi+i\beta} = x_{\varphi+i\beta} - x_m, \quad (\text{III.13})$$

где

$$x_m = \frac{1}{k} \sum x_{\varphi+i\beta} \quad (i = 0, 1, 2, \dots, k-1),$$

$$x_\varphi = 0, \quad x_{\varphi+i\beta} = l_{\varphi+(i-1)\beta} + x_{\varphi+(i-1)\beta}. \quad (\text{III.14})$$

При современном уровне развития вычислительной техники предпочтение при исследовании кругов высокоточных и точных теодолитов типа Т05, Т1 и Т2 следует отдавать методам, основанным на строгом решении нормальных уравнений с привлечением быстродействующих ЭВМ. Среди таких методов предпочтение отдается способу обратной матрицы, обработка измерений по которому сводится к следующему:

1) проверка журнала измерений; 2) вычисление свободных членов уравнений погрешностей в виде уклонений измеренных углов на установках  $\varphi$  от среднего для  $j$ -го ряда измерений;

3) вычисление свободных членов нормальных уравнений по формуле

$$L_{\varphi} = l_{\varphi}^I - l_{\varphi+(180^{\circ}-\beta_1)}^I + l_{\varphi}^{II} - l_{\varphi+(180^{\circ}-\beta_2)}^{II} + \\ + l_{\varphi}^{III} - l_{\varphi+(180^{\circ}-\beta_3)}^{III}; \quad (\text{III.15})$$

4) вычисление  $x_{\varphi}$  на ЭВМ по заранее отработанной программе по формуле

$$x_{\varphi} = \sum f_{ij} L_{\varphi}, \quad (\text{III.16})$$

где  $f_{ij}$  — коэффициент обратной матрицы  $i$ -й строки,  $j$ -го неизвестного;  $L_{\varphi}$  — свободный член  $i$ -го нормального уравнения. Значение  $L_{\varphi}$  получают из формулы (III. 15).

Затраты времени на исследование круга по способу обратной матрицы меньше, чем по способу Елисеева, примерно на 40%.

Для исследования кругов теодолитов типа Т5, Т15 и Т30 привлекает своей простотой способ Вильда; точность определения  $x_{\varphi}$  этим способом вполне соответствует требованиям, предъявляемым к оценке качества кругов указанных приборов.

Знание точного значения контрольного угла в методе калибровки не требуется, однако его номинальное значение должно укладываться в окружности целое число раз.

При использовании многогранных призм в методе калибровки контрольный угол  $\beta$  задается двумя его какими-либо гранями, если исследуется круг теодолита с двухсторонним отсчетом, или двумя парами граней, расположенных на диаметрально противоположных частях, если исследуется круг теодолита с односторонним отсчетом.

Оценка точности измерений проводится по известным из теории указанных способов правилам [32, 37].

Метод сличения заключается в сравнении измеренных значений углов многогранной призмы между первой и  $i$ -й гранями с известными из аттестации величинами. Измерения проводят способом, аналогичным способу круговых приемов при измерении на пунктах триангуляции.

Если  $A_1$  и  $A_i$  есть отсчеты по автоколлиматору при наблюдении первой и  $i$ -й граней призмы, соответствующих диаметрам круга  $0^{\circ}$  и  $\varphi^{\circ}$ , то уравнение погрешностей может быть записано так

$$x_{\varphi} - x_0 = A_i - A_1 + v_{1,i} - \beta_i, \quad (\text{III.17})$$

где  $v_{1,i}$  — случайные погрешности измерений;  $\beta_i$  — угол из аттестации.

При наблюдениях через интервал  $\Delta\varphi$ , целое число раз укладываемый в полуокружности, будем иметь  $k/2$  уравнений

погрешностей, поскольку при замыкании горизонта на первой грани возникает еще одно дополнительное уравнение

$$x_{180^\circ} - x_0 = A \frac{k}{2} - A_1 + v_{1,i} \frac{k}{2} - \beta \frac{k}{2}. \quad (\text{III.18})$$

Просуммировав эти уравнения, найдем

$$-\frac{k}{2} x_0 = \sum_{i=1}^{i=k/2} l_i, \quad (\text{III.19})$$

где  $l_i = (A_i - A_1) - \beta_i$ .  
Из формулы (III.19) следует

$$x_0 = -\frac{2}{k} \sum_{i=1}^{i=k/2} l_i, \quad (\text{III.20})$$

последовательно суммируя выражение (III.20) с каждым слагаемым формулы (III.17), определяют все остальные  $x_\phi$  через выбранный шаг  $\Delta\phi$ .

Более подробное описание методов определения погрешностей диаметров лимба горизонтального круга приведено в ГОСТ 13424—68.

### 6. Определение коэффициента нитяного дальномера

Коэффициент нитяного дальномера зрительной трубы  $K$  определяется путем измерения угла  $\psi$  теодолитом, у которого фокусное расстояние зрительной трубы в 1,5—2 раза больше фокусного расстояния испытуемого теодолита. Можно применять и другие способы определения  $K$ , например, по результатам измерений контрольного базиса.

Угол  $\psi$  — параллактический угол дальномера, образованный направлениями на верхний и нижний дальномерные штрихи сетки нитей зрительной трубы теодолита. Коэффициент дальномера теодолита вычисляют по формуле

$$K = \text{ctg } \psi, \quad (\text{III.21})$$

погрешность измерения угла не должна превышать 1,5".

Обычно при определении коэффициента выполняется шесть полуприемов измерения угла  $\psi$ : три при круге право и три при круге лево. Перед измерением зрительные трубы обоих теодолитов фокусируют на бесконечность. Возможно определение значения коэффициента нитяного дальномера и в полевых условиях на базисе методами, применяемыми для оптических дальномеров.

Пример определения коэффициента нитяного дальномера  $k$  приведен в табл. 14.

Таблица 14

Дата: 20.07.79 г.

Теодолит Т5 № 250848.

Время: 10 ч 20 мин — 10 ч 40 мин. Эталонный прибор: теодолита Т05 № 01.

 $T = +21,5^{\circ}C$ .

| № приема | Отсчеты по вертикальному кругу |             | $\psi = A_1 - A_2$             | $v = \psi - \psi_{\text{ср}}$ |
|----------|--------------------------------|-------------|--------------------------------|-------------------------------|
|          | $A_1$                          | $A_2$       |                                |                               |
| 1        | 0°00'23,2"                     | 0°34'01,0"  | 34'22,2"                       | +0,2"                         |
| 2        | 23,9                           | 01,9        | 22,0                           | 0                             |
| 3        | 23,6                           | 01,3        | 22,4                           | +0,4                          |
| 4        | 179 59 16,8                    | 180 23 38,0 | 21,2                           | -0,8                          |
| 5        | 16,0                           | 37,4        | 21,4                           | -0,6                          |
| 6        | 17,0                           | 39,7        | 22,7                           | +0,7                          |
|          |                                |             | $\psi_{\text{ср}} = 34'22,0''$ |                               |

Коэффициент нитяного дальномера зрительной трубы теодолита  $K=100,03$ .  
Средняя квадратическая погрешность измерения угла  $m_{\psi} = 0,24''$ .

Примечание. Отсчет  $A_1$  по вертикальному кругу Т05 соответствует наведению его трубы на изображение нижней нити дальномера теодолита Т5, отсчет  $A_2$  — верхней нити.

### 7. Определение цены деления окулярного микрометра

Цену деления окулярного микрометра зрительной трубы находят из измерения направлений на бесконечно удаленную цель, обычно задаваемую сеткой нитей коллиматора. Измерения выполняют четырьмя приемами с перестановкой лимба через  $45^{\circ}15'$ , одновременно изменяя установки шкалы оптического микрометра через  $1,0'$ . Поскольку оптический окулярный микрометр в теодолитах Т05 и Т1 имеет диапазон  $\pm 30''$ , установки его шкалы в пределах одного приема выполняют через  $15-20''$ , а между приемами — через  $5''$ .

Установки круга и шкалы при исследовании цены деления окулярного микрометра приведены в табл. 15.

Таблица 15

| № приема | Установка |                  |                       |
|----------|-----------|------------------|-----------------------|
|          | круга     | шкалы микрометра | окулярного микрометра |
| 1        | 0°00'     | 1'               | 30—15—0—85            |
| 2        | 45 15     | 2                | 25—10—95—80           |
| 3        | 90 30     | 3                | 20—5—90—75            |
| 4        | 135 45    | 4                | 15—0—85—70            |

Допустимые отклонения в установках окулярного микрометра должны быть не более 2 делений.

В каждом приеме трижды наводят биссектор сетки окулярным микрометром на вертикальную нить коллиматора, сопровождая каждое наведение отсчетами по шкале окулярного микрометра, а также двумя отсчетами по лимбу.

Цену деления окулярного микрометра вычисляют по формуле

$$\mu_j = \frac{[\Delta K_i \Delta M_i]}{[\Delta M_i^2]}, \quad (\text{III.22})$$

где  $i$  — номер установки в приеме;  $j$  — номер приема;  $\Delta K = K_i - K_0$ ;  $K$  — средний отсчет из прямого и обратного хода для

Таблица 16

Дата: 25.08.79 г.

Теодолит Т05 № 01

$T = +22,0^\circ \text{C}$ ;

$E = 500 \text{ мм}$ .

2-й прием.

$\varphi = 45^\circ 10'$ ;

$A = 2'$ ;  $z = 90^\circ 02'$ .

| Прямо |       | Обратно |       | Среднее |        | $\Delta M$ | $\Delta K$ |
|-------|-------|---------|-------|---------|--------|------------|------------|
| $M$   | $K$   | $M$     | $K$   | $M$     | $K$    |            |            |
| 24,6  | 13,0" | 25,3    | 13,4" |         |        |            |            |
| 25,2  | 13,4  | 25,7    | 13,6  |         |        |            |            |
| 25,2  |       | 25,2    |       |         |        |            |            |
| 25,00 | 13,20 | 25,40   | 13,50 | 25,20   | 13,35" | -22,71     | -23,00     |
| ..... | ..... | .....   | ..... | 10,05   | 28,85  | -7,56      | -7,50      |
| ..... | ..... | .....   | ..... | 95,12   | 43,80  | +7,37      | +7,45      |
| 79,7  | 59,2  | 79,4    | 59,6  |         |        |            |            |
| 79,8  | 58,8  | 79,2    | 00,0  |         |        |            |            |
| 79,8  |       | 79,7    |       |         |        |            |            |
| 79,77 | 59,00 | 79,43   | 59,80 | 79,60   | 59,40  | +22,89     | +23,05     |

$M_0 = 2,49$ .

$[\Delta M \Delta K] = 1161,5510$ .

$K_0 = 2 \ 36,35''$ .

$[\Delta M^2] = 1151,1667$ .

Цена деления окулярного микрометра во 2-м приеме

$$\mu_2 = \frac{1161,5510}{1151,1667} = 1,009''.$$

$i$ -й установки приема;  $K_0$  — средний отсчет из всех  $K_i$  данного приема;  $\Delta M = M_0 - M_i$ ;  $M_0$  — средний отсчет из всех  $M_i$  данного приема;  $M_i$  — средний отсчет из отсчетов прямого и обратного хода.

Окончательное значение цены деления окулярного микрометра зрительной трубы  $\mu_0$  вычисляют по формуле

$$\mu_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \mu_i. \quad (\text{III.23})$$

Если вертикальный угол  $\alpha$  наблюдаемой цели отличается от  $0^\circ$  на величину более  $30^\circ$ , вычисленное значение  $\mu_0$  умножают на  $\cos \alpha$ .

Среднюю квадратическую погрешность определения  $\mu_0$  вычисляют по формуле

$$m_{\mu_0} = \sqrt{\frac{[vv]}{3n}}, \quad (\text{III.24})$$

где  $v = \mu_i - \mu_0$ .

Пример определения цены деления окулярного микрометра приведен в табл. 16, 17.

### 8. Определение цены деления системы

В теодолитах с двухсторонним отсчетом по кругам отсчетным приспособлением служит оптический микрометр, в теодолитах с односторонним отсчетом — шкаловой микроскоп.

Таблица 17

Вычисление средней цены деления окулярного микрометра

| № приема | $\mu_i$ | $v_i \cdot 10^{-3}$ |
|----------|---------|---------------------|
| 1        | 1,002"  | -10                 |
| 2        | 1,009   | -3                  |
| 3        | 1,026   | +11                 |
| 4        | 1,015   | +3                  |
| Среднее  | 1,012   | +1                  |

Средняя квадратическая погрешность определения среднего значения цены деления из четырех приемов  $m_{\mu_0} = 0,0045''$ .

Рен оптического микрометра определяют сопоставлением угловой меры его шкалы с величиной изображения наименьшего деления круга. Измерения выполняют прямым и обратным ходами с перестановкой круга для Т05 и Т1 через 45°10', для Т2 через 45°20' в прямом ходе; в обратном ходе установки смещают относительно прямого хода для Т05 и Т1 на 22°40', для Т2 на 22°20'.

Установки алидады при исследовании рена по типам теодолитов приведены в табл. 18.

С помощью механизма оптического микрометра изображения штрихов лимба совмещают в трех комбинациях: ( $\varphi$  и  $\varphi+180^\circ$ ); ( $\varphi-\mu$  и  $\varphi+180^\circ$ ); ( $\varphi$  и  $\varphi+180^\circ-\mu$ ), где  $\mu$  — цена деления лимба, и производят отсчеты соответственно  $a$ ,  $b$ ,  $c$  по шкале микрометра.

Таблица 18

| Прямой ход                            |        | Обратный ход |         |        |        |
|---------------------------------------|--------|--------------|---------|--------|--------|
| Установки алидады по типам теодолитов |        |              |         |        |        |
| Т05 и Т1                              | Т2     | Т05 и Т1     | Т1      |        |        |
| <i>Горизонтальный круг</i>            |        |              |         |        |        |
| 0°00'                                 | 0°00'  | 22°40'       | 22°20'  |        |        |
| 45 10                                 | 45 20  | 67 50        | 67 40   |        |        |
| 90 20                                 | 90 40  | 112 00       | 112 00  |        |        |
| 135 30                                | 135 00 | 157 10       | 157 20  |        |        |
| 180 40                                | 180 20 | 202 20       | 202 40  |        |        |
| 225 50                                | 225 40 | 247 30       | 247 00  |        |        |
| 270 00                                | 270 00 | 292 40       | 292 20  |        |        |
| 315 10                                | 315 20 | 337 50       | 337 40  |        |        |
| <i>Вертикальный круг</i>              |        |              |         |        |        |
| Т05                                   | Т1     | Т2           | Т05     | Т1     | Т2     |
| 350°00'                               | 80°00' | 80°00'       | 353°40' | 83°40' | 83°20' |
| 352 10                                | 82 10  | 82 20        | 355 50  | 85 50  | 85 40  |
| 354 20                                | 84 20  | 84 40        | 357 00  | 87 00  | 87 00  |
| 356 30                                | 86 30  | 86 00        | 359 10  | 89 10  | 89 20  |
| 358 40                                | 88 40  | 88 20        | 1 20    | 91 20  | 91 40  |
| 0 50                                  | 90 50  | 90 40        | 3 30    | 93 30  | 93 000 |
| 2 00                                  | 92 00  | 92 00        | 5 40    | 95 40  | 95 20  |
| 4 10                                  | 94 10  | 94 20        | 7 50    | 97 50  | 97 40  |

Среднее значение рена вычисляют по формуле

$$r = \frac{1}{2} (r_{\text{в}} + r_{\text{н}}). \quad (\text{III.25})$$

Рен по верхнему ( $r_{\text{в}}$ ) и нижнему ( $r_{\text{н}}$ ) изображениям штрихов лимба вычисляют по формулам

$$r_{\text{в}} = \frac{1}{n} \sum_1^n (b - a), \quad (\text{III.26})$$

$$r_{\text{н}} = \frac{1}{n} \sum_1^n (c - a),$$

где  $n$  — число установок.

Поправку за рен вычисляют по формуле

$$\delta_r = \frac{2A}{\mu} r, \quad (\text{III.27})$$

где  $A$  — отсчет по шкале микрометра.

Среднюю квадратическую погрешность определения рена вычисляют по формуле

$$m_r = \sqrt{\frac{[v'v'] + [v''v'']}{n(n-1)}}, \quad (\text{III.28})$$

где  $v' = (b - a) - r_{\text{в}}$ ;  $v'' = (c - a) - r_{\text{н}}$ .

Значение  $m_r$  не должно превышать для Т05 и Т1 0,1'', для Т2 — 0,15''. Пример записи и обработки результатов при определении рена оптического микрометра приведен в табл. 19.

Рен шкалового микроскопа получают как отклонение действительной длины отсчетной шкалы от ее расчетного значения. Определяют рен методом сравнения длины шкалы микроскопа с изображением деления лимба. Измерения выполняют двумя ходами с перестановкой круга через 60°, причем в обратном ходе установки смещают относительно прямого хода на 30°. Установки круга при определении рена шкалового микроскопа приведены ниже.

|                 | <i>Горизонтальный круг</i> |      |      |      |      |       |
|-----------------|----------------------------|------|------|------|------|-------|
| Прямой ход...   | 0;                         | 60;  | 120; | 160; | 240; | 300°. |
| Обратный ход... | 30;                        | 90;  | 150; | 210; | 270; | 330°. |
|                 | <i>Вертикальный круг</i>   |      |      |      |      |       |
| Прямой ход...   | 354;                       | 357; | 0;   | 3;   | 6;   | 9°.   |
| Обратный ход... | 352;                       | 355; | 358; | 1;   | 4;   | 7°.   |

Дата: 25.08.79 г.

Теодолит Т2 № 250848.

 $T_H = 20,0^\circ\text{C};$  $T_K = 21,0^\circ\text{C}.$ 

| Прямой ход |            |      |      |       |       | Обратный ход |            |      |      |       |       |
|------------|------------|------|------|-------|-------|--------------|------------|------|------|-------|-------|
| $\varphi$  | $a$        | $b$  |      | $a-b$ | $a-c$ | $\varphi$    | $a$        | $b$  | $c$  | $a-b$ | $a-e$ |
| 0°00'      | 59,1"      | 0,5" | 0,1" |       |       | 22°40'       | 0,5"       | 1,0" | 0,8" |       |       |
|            | 59,3       | 0,4  | 0,3  |       |       |              | 0,6        | 1,1  | 0,8  |       |       |
|            | 59,2       | 0,4  | 0,2  | -1,2" | -1,0" |              | 0,6        | 1,0  | 0,8  | -0,4" | -0,2" |
|            | 45 20 58,4 | 59,0 | 59,2 |       |       |              | 68 00 59,0 | 0,1  | 0,6  |       |       |
|            | 58,4       | 59,1 | 59,2 |       |       |              | 59,1       | 0,3  | 0,4  |       |       |
|            | 58,4       | 59,0 | 52,2 | -0,6  | -0,8  | 59,0         | 0,2        | 0,5  | -1,2 | -1,5  |       |
| 315 20     | 0,4        | 1,2  | 1,0  |       |       | 338 00       | 0,4        | 1,0  | 0,8  |       |       |
|            | 0,2        | 1,1  | 1,2  |       |       |              | 0,4        | 1,2  | 0,9  |       |       |
|            | 0,3        | 1,2  | 1,1  | -0,9  | -0,8  |              | 0,4        | 1,1  | 0,8  | -0,7  | -0,4  |

$$\Sigma(a-b) = -6,2;$$

$$\Sigma\sigma_I^2 = 2,1046;$$

$$\Sigma(a-c) = -5,8;$$

$$\Sigma\sigma_{II}^2 = 2,4212.$$

Рен верхнего изображения

$$r_B = -0,39",$$

Рен нижнего изображения

$$r_H = -0,36".$$

Среднее значение рена

$$r = -0,38".$$

Средняя квадратическая погрешность определения рена  $m_r = 0,07"$ .

Величину рена шкалового микроскопа вычисляют по формуле

$$r = \frac{1}{n} \sum_1^n (a - N), \quad (\text{III.29})$$

где  $a$  — отсчет по шкале микроскопа при совмещении штриха круга  $\varphi$ , соответствующего заданной установке, со штрихом 0 шкалы;  $N$  — номинальное значение длины шкалы, равное  $60'$ ;  $n$  — число установок.

Поправки за рен вычисляют по формуле

$$\delta_r = \frac{A}{N} r, \quad (\text{III.30})$$

где  $A$  — отсчет по шкале микроскопа.

Сравнивают длину шкалы микроскопа с изображением деления лимба путем отсчета направления по кругу высокоточного теодолита или окулярному микрометру коллиматора при

Дата: 25.08.79 г.

Теодолит Т15 № 120970.

 $T_H = 18,5^\circ\text{C}$ ; $T_K = 18,7^\circ\text{C}$ .

Шкала имеет 60 делений.

Эталонный прибор — теодолит Т05 № 01

Исследуется вертикальный круг

| $\varphi$ | $a$   | $a'$  | $a-a'$ | $\varphi$ | $a$   | $a'$  | $a-a'$ | Вычисления                                       |
|-----------|-------|-------|--------|-----------|-------|-------|--------|--|
| 354°      | 4,5"  | 1,0"  | +3,5"  | 352°      | 12,2" | 10,2" | +1,9"  | $\Sigma v^2 = 159,74$<br>$\Sigma (a-a') = +33,6$ |
| 357       | 7,0   | 5,2   | +1,8   | 355       | 8,0   | 5,4   | +2,6   |  |
| · · ·     | · · · | · · · | · · ·  | · · ·     | · · · | · · · | · · ·  |  |
| 9         | 5,4   | 2,1   | +3,3   | 7         | 8,7   | 6,3   | +2,4   |  |

 $\varphi = +2,8''$ ;  $\delta_r = +0,047''$ .Средняя квадратическая погрешность определения рена  $m_r = 1,1''$ .

наблюдении горизонтальной или вертикальной нити зрительной трубы исследуемого теодолита. С этой целью трубы испытуемого и высокоточного теодолитов (или коллиматоров) устанавливаются на одной оптической оси. Отсчет направлений делают после совмещения штриха  $\varphi$  круга, соответствующего одной из заданных установок, со штрихом 0 шкалы ( $a$ ), а затем штриха ( $\varphi-1^\circ$ ) со штрихом 60 шкалы ( $a'$ ). Для каждой установки круга получают разности этих отсчетов ( $a-a'$ ). Пример определения рена шкалового микроскопа приведен в табл. 20.

### 9. Определение погрешности за смещение визирной оси при перефокусировке зрительной трубы

Смещение визирной оси зрительной трубы, вызванное непрямолинейностью перемещения фокусирующей линзы и внецентренностью трубы, определяют по разностям коллимационных погрешностей  $\Delta C$  и места нуля  $\Delta MO$  для конечных расстояний и бесконечности, т. е. проводят измерения по высоте и по азимуту. При этом используют формулы

$$\Delta C_i = C_i - C_\infty; \quad \Delta MO_i = MO_i - MO_\infty. \quad (\text{III.31})$$

Выбор конечных расстояний зависит от области применения теодолитов и диктуется теми их значениями, для которых необходимо знать определяемую погрешность.

Расстояние, соответствующее бесконечности для телеобъектива с фокусным расстоянием  $f$ , рекомендуется принимать равным  $1000 f$ . В качестве визирных целей могут использоваться

визирные марки, сетки нитей коллиматоров, местные предметы. Визирные цели должны лежать на одной высоте в пределах  $\pm 0,5^\circ$  и в одном створе с отклонением, не превышающим  $\pm 3^\circ$ .

Проводят три серии измерений  $C$  и  $MO$ . Каждая серия состоит из восьми приемов, один прием — из двух полуприемов (один при круге лево, второй при круге право).

В каждом полуприеме выполняют два хода от ближней цели к дальней, причем прямой ход делается при движении кре-

Таблица 21

Дата: 25.08.79 г.

Теодолит Т2 №250848.

Время: 8 ч 00 мин — 8 ч 30 мин.

$T_{cp} = +19,0^\circ C$ .

| № серии | № приема       | $C_1$            | $C_{10}$         | $C_\infty$       | $MO_1$            | $MO_{10}$         | $MO_\infty$      |
|---------|----------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| I       | 1              | -3,4"            | -6,2"            | -4,4"            | +12,3"            | +9,0"             | +8,7"            |
|         | 2              | 2,9              | 5,6              | 4,9              | 8,9               | 9,2               | 8,3              |
|         | · · · · ·<br>4 | · · · · ·<br>4,4 | · · · · ·<br>5,2 | · · · · ·<br>6,1 | · · · · ·<br>9,3  | · · · · ·<br>9,6  | · · · · ·<br>8,7 |
| II      | 5              | 2,5              | 4,7              | 4,7              | 12,1              | 10,4              | 9,2              |
|         | · · · · ·      | · · · · ·        | · · · · ·        | · · · · ·        | · · · · ·         | · · · · ·         | · · · · ·        |
|         | · · · · ·<br>8 | · · · · ·<br>4,1 | · · · · ·<br>4,4 | · · · · ·<br>6,1 | · · · · ·<br>11,7 | · · · · ·<br>10,1 | · · · · ·<br>8,3 |
| Среднее |                | -3,6             | -5,1             | -5,5             | +10,7             | +9,5              | +8,9             |

$$C = +1,9''; +0,4'' \cdot \Sigma v_C^2 = 11,20.$$

$$MO = +1,8''; +0,6'' \cdot \Sigma v_{MO}^2 = 15,44.$$

Средняя квадратическая погрешность среднего значения  $C$

$$m_C = \sqrt{\frac{[v_C^2]}{kn(n-1)}} = 0,35''.$$

Средняя квадратическая погрешность среднего значения  $MO$

$$m_{MO} = \sqrt{\frac{[v_{MO}^2]}{kn(n-1)}} = 0,41''.$$

где  $v_C = C - C_{cp}$ ;  $v_{MO} = MO - MO_{cp}$ ;  $k=3$ ;  $n=8$ .

Средняя квадратическая погрешность  $\Delta C$

$$m_{\Delta C} = m_C \sqrt{2} = 0,49''.$$

Средняя квадратическая погрешность  $\Delta MO$

$$m_{\Delta MO} = m_{MO} \sqrt{2} = 0,58''.$$

мальеры фокусирующей линзы по ходу часовой стрелки, а обратный — против хода часовой стрелки.

Допустимые значения смещений  $\Delta C$  и  $\Delta MO$  для Т05 и Т1 — 2", Т2—3", Т5—9", Т15—30" и Т30—45".

Пример записи измерений и вычислений при определении смещения визирной оси зрительной трубы при перефокусировке приведен в табл. 21.

#### 10. Определение эксцентриситета вертикального круга для теодолитов с односторонним отсчетом

Для выявления влияния эксцентриситета на измеряемый вертикальный угол испытуемый теодолит устанавливают между двумя соосно расположенными коллиматорами, направлениям визирных осей которых задают угол наклона  $\alpha = 0^\circ$ .

Выполняют четыре приема измерений, каждый из которых состоит из двух наведений: вначале на горизонтальную нить первого коллиматора, затем второго; при этом делают отсчеты  $A_1$  и  $A_2$  по вертикальному кругу поверяемого теодолита.

Максимальное значение влияния эксцентриситета вертикального круга находят в общем случае по формуле

$$\varepsilon_{\max} = \frac{A_1 - A_2}{2 \cos \alpha}; \quad (\text{III.32})$$

в частном случае при  $\alpha \neq 0$

$$\varepsilon_{\text{вк}} = \varepsilon_{\max} \cos \alpha. \quad (\text{III.33})$$

При исследовании теодолита Т30 отсчеты берут по шкале коллиматора после наведения им на сетку нитей зрительной трубы теодолита; установки лимба задают совмещением штрихов  $\phi$  и  $\phi + 180^\circ$  с индексом. Для этого типа теодолитов выполняют шесть приемов измерений. Пример записи и обработки результатов наблюдений по определению максимального влияния эксцентриситета вертикального круга приведен в табл. 22.

#### 11. Определение коллимационной погрешности

Неперпендикулярность визирной оси к оси вращения зрительной трубы или коллимационную погрешность  $C$  определяют по результатам измерения горизонтального направления на удаленную визирную цель или сетку коллиматора, расположенные примерно в одной горизонтальной плоскости с поверяемым теодолитом.

Измерения выполняют не менее чем тремя приемами при положении вертикального круга справа КП и слева КЛ от зрительной трубы. Погрешность вычисляют по формуле

$$C = 1/2 (\text{КЛ} - \text{КП} \pm 180^\circ). \quad (\text{III.34})$$

Для теодолитов Т5, Т15 и Т30 между приемами выполняют

Дата: 14.09.78 г.

Теодолит Т30 № 1270.

Время: 10 ч 30 м.

Коллиматор № 1 АК-025.

 $T_{\text{ср}} = +22,5^{\circ}\text{C}.$  $\alpha = 0^{\circ}16'.$ 

Коллиматор № 2 АК-025.

| № приема | $A_1$ | $A_2$ | $A_1 - A_2$ | $X = 1/2 (A_1 - A_2)$    |
|----------|-------|-------|-------------|--------------------------|
| 1        | 15,6' | 16,2' | -0,6'       | -0,30'                   |
| 2        | 15,7  | 16,1  | -0,4        | -0,20                    |
| 3        | 15,6  | 16,1  | -0,5        | -0,25                    |
| 4        | 15,8  | 16,2  | -0,4        | -0,20                    |
| 5        | 15,8  | 16,1  | -0,3        | -0,15                    |
| 6        | 15,6  | 16,0  | -0,4        | -0,20                    |
|          |       |       |             | Среднее: $-0,22 = -13''$ |
|          |       |       |             | $[vv] = 0,0134$          |

Поправка за влияние эксцентриситета в угол, измеренный при двух положениях вертикального круга при  $\alpha = 0^{\circ}$ ,

$$\varepsilon_{\text{max}} = \frac{X}{\cos \alpha} = -13''.$$

Средняя квадратическая погрешность определения значения  $\varepsilon_{\text{max}}$

$$m_{\varepsilon_{\text{max}}} = \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}} = 0,021' = 1,3''.$$

перестановку теодолита на  $180^{\circ}$ , предварительно открепив подставку станковым винтом. Погрешность  $C$  в этом случае вычисляют по формуле

$$C = \frac{(КЛ_1 - КП_1 + 180^{\circ}) + (КЛ_2 - КП_2 + 180^{\circ})}{4}. \quad (\text{III.35})$$

Если коллимационная погрешность превышает предельные значения, указанные в табл. 5, теодолитом следует измерять только при двух положениях круга или следует привести коллимационную погрешность к 0.

## 12. Определение места нуля вертикального круга теодолита

Место нуля МО вертикального круга определяют при тех же условиях, что и коллимационную погрешность  $C$ . Измерения выполняют не менее чем тремя приемами при двух положениях круга, делая отсчеты КЛ и КП.

Место нуля для теодолитов Т2, Т5, Т15 и Т30 вычисляют по формуле

$$MO = \frac{KL + KP}{2} . \quad (III.36)$$

В случае определения места зенита  $MZ$  формула (III. 36) примет вид

$$MZ = \frac{KL + KP - 360^\circ}{2} . \quad (III.37)$$

Если погрешность места нуля превышает допустимые значения, ее необходимо исправить.

Как следует из работы [38] для теодолитов с односторонней системой отсчета определения места нуля вертикального круга рекомендуется выполнять при углах наклона не менее  $30^\circ$ , поскольку максимальное искажение значения места нуля эксцентриситетом вертикального круга имеет место при горизонтальном визировании.

## Глава IV

### ПОВЕРКА НИВЕЛИРОВ

---

#### § 16. КРАТКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ НИВЕЛИРОВ

В соответствии с ГОСТ 10528—76 в СССР должны выпускаться три типа нивелиров: нивелиры высокоточные Н-05, предназначенные для нивелирования I и II классов; точные Н-3 — для нивелирования III и IV классов; технические Н-10 — для технического нивелирования при топографических съемках и инженерно-геодезических изысканиях. Цифра в шифре нивелира означает допустимую среднюю квадратическую погрешность, получаемую при нивелировании на 1 км двойного (прямого и обратного) хода. По ГОСТ 10528—76 нивелиры всех типов предусматривается выпускать в двух исполнениях: с уровнем при зрительной трубе и с компенсатором углов наклона. При наличии компенсатора в шифре нивелира добавляется буква К. Кроме того, точные и технические нивелиры допускается изготовлять с лимбом для измерения горизонтальных углов. В этом случае в шифре нивелира добавляется буква Л. Если зрительная труба дает прямое изображение предметов, то в шифре нивелира добавляется буква П.

Из высокоточных нивелиров отечественной промышленностью с 1979 г. серийно выпускается нивелир Н-05, который подготовлен на базе нивелира Н2 по ГОСТ 10528—69. В 1979 г. выпуск нивелира Н2 прекращен, но в геодезическом производстве эти приборы еще сохраняются в достаточном количестве, наряду с нивелирами выпусков прежних лет Н1, НБ-4 и НА-1 [11].

Среди точных нивелиров отечественной промышленностью серийно выпускаются типы — Н-3, Н-3К и Н-3КП. Нивелир типа Н-3К ранее был известен под шифром НС3. По данным испытаний ЦНИИГАиК, эти нивелиры позволяют определять превышения со средней квадратической погрешностью в пределах 2—3 мм на 1 км двойного хода. В производстве имеется некоторое количество приборов типа НС4 по ГОСТ 10528—63.

К техническим нивелирам, серийно выпускаемым в СССР, относятся Н-10, Н-10К и Н-10КЛ, известные ранее по шифрам НТ, НТС и НТСК соответственно. Эти нивелиры позволяют выполнять нивелирование со средней квадратической погрешностью порядка 6—10 мм на 1 км двойного хода. Другие типы нивелиров, не указанные в данной работе, но нашедшие прак-

тическое применение в СССР, описаны в работах [10, 25, 37, 46].

Нивелирование выполняют с помощью штриховых инварных и шашечных деревянных реек. Инварные рейки используются для высокоточного нивелирования I и II классов, деревянные — для III и IV классов и технического нивелирования. В соответствии с действующим ГОСТ 11158—76, выпускаемые в настоящее время рейки имеют шифры РН-05, РН-3 и РН-10 и входят в комплект нивелиров Н-05, Н-3 и Н-10 соответственно. По длине различают трех- и четырехметровые рейки, которые могут быть цельными или складными (в шифре складных реек указывается буква «С»).

Основные метрологические параметры нивелиров и реек, установленные ГОСТ 10528—76 и ГОСТ 11158—76 приведены в табл. 23, 24.

Т а б л и ц а 23

| Параметры  | Нормы по типам нивелиров |                        |                      |
|--|--------------------------|------------------------|----------------------|
|  | Н-05                     | Н-3                    | Н-10                 |
| Средняя квадратическая погрешность превышения на 1 км двойного хода, не более, мм  | 0,5                      | 3                      | 10                   |
| Средняя квадратическая погрешность превышения на станции, не более, мм при расстоянии от нивелира до реек:   |                          |                        |                      |
| 30 м   | 0,15                     | —                      | —                    |
| 50 м   | 0,20                     | —                      | —                    |
| 100 м  | —                        | 2,0                    | 5,0                  |
| Увеличение зрительной трубы, не менее, крат  | 40                       | 30                     | 20                   |
| Цена деления уровня на 2 мм: установочного, ' при трубе, "   | 5±1<br>10±1              | 10±2<br>15±1,5         | 10±2<br>45±5         |
| Характеристики компенсатора для нивелиров с компенсатором  | Н-05К                    | Н-3К                   | Н-10К                |
| Диапазон работы, не менее, ' Погрешность самоустановки линии визирования, не более, " Систематическая погрешность работы компенсатора, на 1 мин наклона оси нивелира, не более, " Время затухания колебаний подвесной системы, не более, " | ±8<br>0,2<br>0,05<br>2   | ±15<br>0,5<br>0,3<br>2 | ±20<br>1<br>0,5<br>2 |

| Характеристики   | Нормы по типам реек |            |           |
|--|---------------------|------------|-----------|
|  | РН-05               | РН-3       | РН-10     |
| Допустимое отклонение от номинального значения длины наименьшего интервала, мм | $\pm 0,05$          | $\pm 0,20$ | $\pm 0,5$ |
| Длина рейки, мм  | 3000                | 3000; 4000 | 4000      |
| Допустимая разность между средней длиной метра пары реек комплекта, мм         | 0,15                | 0,8        | 1,5       |
| Стрелка прогиба рейки на всю длину рейки, не более, мм                         | 3                   | 6          | 10        |

### § 17. СОДЕРЖАНИЕ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ НИВЕЛИРОВ

Содержание поверочных работ для нивелиров и применяемые при этом методы и средства приведены в табл. 25.

Т а б л и ц а 25

| № п. п. | Содержание поверочных работ  | Методы и средства проверки  | Тип нивелира                             |
|---------|--|---|--|
| 1       | Проверка внешнего вида и технического состояния  | Визуальный осмотр   | Все типы                                 |
| 2       | Оценка работоспособности прибора   | Опробование   | То же                                    |
| 3       | Определение цены деления шкалы оптического микрометра  | Линейка с ценой деления шкалы 0,5—1,0 мм  | Н-05                                     |
| 4       | Определение угла $i$   | Полевой базис; автоколлиматор АК-0,25 или АК-0,5  | Все типы                                 |
| 5       | Определение погрешности в превышениях, вызванной неправильной работой фокусирующего устройства | Полевой высотный базис  | Применяемые для работы с разными плечами |
| 6       | Проверка работы компенсатора   | Автоколлиматор АК-0,25 или АК-0,5; экзаменатор с ценой деления измерительного винта до 5"; полевой высотный базис | Для нивелиров с компенсатором            |
| 7       | Определение средней квадратической погрешности превышения на станции                           | Полевой высотный базис  | Все типы                                 |
| 8       | Определение средней квадратической погрешности превышения на 1 км хода                         | Высотный полигон  | То же                                    |

*Проверку внешнего вида и технического состояния проводят путем наружного осмотра.* При визуальном осмотре устанавливают: качество отделки прибора; наличие механических повреждений на поверхностях деталей; чистоту поля зрения трубы и отсчетного устройства; правильность маркировки; полноту комплектности.

*Оценку работоспособности прибора* проводят опробованием.

При этом устанавливают: плавность и легкость вращения подвижных частей, наводящих и подъемных винтов; удобство расположения отсчетных шкал и уровней; качество изображения сетки и отсчетных систем; качество изображения, обеспечиваемое трубой; работоспособность подвесной системы у нивелиров с компенсатором; удобство укладки нивелира и принадлежностей в футляр; удобство переноски футляра.

*Определение цены деления шкалы оптического микрометра.* Согласно требованию ГОСТ 10528—76 отклонение средней цены деления шкалы оптического микрометра от номинального значения не допускается более 0,003 мм. Определяют цену деления микрометра в лабораторных условиях с помощью линейки с миллиметровыми (или близкими к миллиметру) делениями. Для получения точного значения наименьшего деления шкалу линейки компарируют с погрешностью, не превышающей 0,0015 мм, на микроскопе типа УИМ или компараторе «Аббе». Для измерений линейку укрепляют вертикально на расстоянии 5—8 м от поверяемого нивелира. Измеряют интервалы делений линейки. Измерения должны включать шесть приемов. Каждый прием состоит из прямого и обратного ходов измерений. Между приемами незначительно изменяют горизонт нивелира в пределах 1—5 см.

Цену деления шкалы оптического микрометра вычисляют по формуле

$$\mu = \frac{l_0}{l_{\text{н}}}, \quad (\text{IV.1})$$

где  $l_0$  — величина наименьшего деления шкалы линейки, известная из компарирования;  $l_{\text{н}}$  — величина наименьшего деления шкалы линейки, полученная из измерений оптическим микрометром нивелира.

Пример определения значения  $\mu$  приведен в табл. 26.

Угол  $i$  нивелира (вертикальный угол, образованный визирной осью зрительной трубы и горизонтальной линией) определяют полевым или лабораторным методом.

*Определение угла  $i$  нивелира* в полевых условиях обычно проводят методом двойного нивелирования, при котором превышение между двумя точками, закрепленными на местности, измеряют поверяемым прибором дважды, с различных станций.

## Определение цены деления шкалы оптического микрометра

Нивелир Н-05 № 000703.

Температура: +20 °С.

Дата: 20 мая 1975 г.

Линейка типа 1—500 (средняя квадратическая погрешность компарирования 0,0013 мм).

 $S = 9,955$  м.

## I прием

| Проверяемый интервал шкалы микрометра | Деления линейки | Отсчеты микрометра (в делениях) |                      |                  | Интервал линейки |       | μ, мм  |
|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------|----------------------|------------------|------------------|-------|--------|
|                                       |                 | Прямо<br><i>a</i>               | Обратно<br><i>a'</i> | $\frac{a+a'}{2}$ | деления          | мм    |        |
| 0—20                                  | 20              | 3,2                             | 3,2                  | 3,20             | 19,10            | 0,980 | 0,0513 |
| 20—40                                 | 19              | 22,4                            | 22,2                 | 22,30            | 19,30            | 0,980 | 0,0508 |
| 40—60                                 | 18              | 42,0                            | 41,2                 | 41,60            | 19,80            | 0,984 | 0,0497 |
| 60—80                                 | 17              | 61,7                            | 61,1                 | 61,40            | 19,85            | 0,977 | 0,0492 |
| 80—100                                | 16              | 81,4                            | 81,1                 | 81,25            | 19,60            | 0,966 | 0,0493 |
|                                       | 15              | 101,1                           | 100,6                | 100,85           |                  |       |        |

## Сводная ведомость значений на различных частях шкалы (среднее из шести приемов)

| 0—20      | 20—40     | 40—60     | 60—80     | 80—100    | μ         |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 0,0505 мм | 0,0504 мм | 0,0500 мм | 0,0499 мм | 0,0495 мм | 0,0501 мм |

Отклонение средней цены деления шкалы оптического микрометра нивелира +0,001 мм (допустимо 0,003 мм).

Далее, используя полученные превышения или отсчеты по рейкам, вычисляют значение угла  $i$ .

При этом применяют следующие способы нивелирования: нивелирование «вперед», нивелирование «из середины» в сочетании с нивелированием «вперед» и нивелирование с разными плечами.

Количество приемов измерений в любом способе должно быть не менее трех. За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение угла  $i$  из всех результатов, признанных годными. Расхождение между отдельными значениями угла  $i$  не должно превышать 3" для высокоточных нивелиров и 5" для всех остальных типов нивелиров.

Угол  $i$  по способу нивелирования «вперед» определяют в такой последовательности. На расстоянии 50—75 м друг от

друга забивают два костыля или кола (пусть это будут точки 1 и 2). Нивелир устанавливают над одной из точек, например, 1, приводят его в рабочее положение, измеряют его высоту  $z_1$  до визирной оси с погрешностью не более 1 мм и берут отсчет  $l_1$  по рейке, установленной в точке 2. Меняют местами нивелир и рейку и, выполнив описанные выше действия, получают высоту  $z_2$  и отсчет  $l_2$ . Значение угла  $i$  вычисляют по формуле

$$i = \frac{[(z_1 + z_2) - (l_1 + l_2)] \rho''}{2S}, \quad (\text{IV.2a})$$

где  $S$  — расстояние между точками 1 и 2.

Если точное значение высоты нивелира определить затруднительно, угол  $i$  получают видоизмененным способом, не требующим измерения высоты прибора. Для этого линию длиной 45—60 м делят на три равных отрезка, каждый длиной  $S$ . Концы интервалов закрепляют кольями, фиксируя этим точки 1, 2, 3 и 4. На средних точках 2 и 3 устанавливают рейки, а на крайних точках 1 и 4 поочередно устанавливают нивелир, где после приведения его в рабочее положение берут две пары отсчетов  $l_2$  и  $l_3$  (станция 1) и  $l_2'$  и  $l_3'$  (станция 4). Значение угла  $i$  в этом случае вычисляют по формуле

$$i = \frac{[(l_3' - l_3) - (l_2' - l_2)] \rho''}{2S} = \frac{h_1 - h_2}{2S} \rho''. \quad (\text{IV.2б})$$

Угол  $i$  по способу нивелирования «из середины» в сочетании с нивелированием «вперед» определяют в такой последовательности. Концы интервала длиной 40—60 м закрепляют кольями (точки 1 и 2), на которых устанавливают рейки. Нивелир ставят в створе между точками 1 и 2 на равном расстоянии от них. Приводят нивелир в рабочее положение и берут отсчеты  $l_1$  и  $l_2$  по рейкам 1 и 2. Далее переносят нивелир в точку, удаленную от точки 2 на 5—10 м и вновь делают отсчеты  $l_1'$  и  $l_2'$  на заднюю и переднюю рейки. Измеряют расстояния до задней ( $S_1$ ) и передней ( $S_2$ ) реек. Значение угла  $i$  нивелира определяют по формуле

$$i = \frac{[(l_1' - l_2') - (l_1 - l_2)] \rho''}{S_1 - S_2} = \frac{h' - h}{S_1 - S_2} \rho''. \quad (\text{IV.3a})$$

Дополнительную точку можно располагать как между точками 1 и 2, так и на продолжении их створа.

С целью уменьшения искажений результатов измерений за ход фокусирующей линзы, расстояние  $S_2$  выбирают более 10 м.

Для облегчения вычислений по формуле (IV.3a) расстояния  $S_1$  и  $S_2$  подбирают с таким расчетом, чтобы отношение  $\frac{\rho''}{S_1 - S_2}$

было равно целому числу, тогда формула (IV. 3а) примет простой вид

$$i = (h' - h) k, \quad \text{где} \quad k = \frac{\rho''}{S_1 - S_2}.$$

По способу нивелирования при разных плечах угол  $i$  определяют на линии длиной 30—50 м. Концы линии закрепляют кольями 1 и 2, на которых устанавливают рейки. Нивелир располагают в 5 м от точки 1 и берут отсчеты  $l_1$  по рейке 1 и  $l_2$  по рейке 2. Затем нивелир переносят по линии 1—2 и, не доходя до точки 2 на 5 м, вновь устанавливают его и приводят в рабочее положение. Берут отсчеты  $l_1'$  по рейке 1 и  $l_2'$  по рейке 2. Значение угла  $i$  вычисляют по формуле

$$i = \frac{[(l_1 + l_1') - (l_2 + l_2')] \rho''}{2(S_2 - S_1)} = \frac{h_1 - h_2}{2(S_2 - S_1)} \rho'', \quad (\text{IV.3б})$$

где  $S_1 = 5$  м;  $S_2$  — расстояние между точками 1 и 2.

Если расстояние между точками 1 и 2 принять равным 30,8 м, то

$$\frac{\rho''}{2(S_2 - S_1)} = \frac{206\,265}{51\,600} \approx 4,$$

и формула (IV. 3б) примет вид

$$i = 4(h_1 - h_2).$$

Обзор применяемых в полевых производственных условиях способов определения угла  $i$  приведен в работах [10, 36].

Реализация указанных способов в заводских условиях и при лабораторных исследованиях нивелиров невозможна из-за ограниченных размеров помещений.

В лабораторных условиях угол  $i$  определяют коллиматорным методом. В качестве коллиматора используют образцовый нивелир или высокоточный теодолит с  $f \geq 500$  мм.

Поверяемый нивелир устанавливают вблизи коллиматора так, чтобы объективы их зрительных труб были направлены друг на друга. Перед началом измерений приборы должны быть приведены в рабочее положение, а их зрительные трубы отфокусированы на бесконечность. Несовмещение изображений средних нитей поверяемого и образцового нивелиров отсчитывают по шкале последнего. Этот отсчет и является значением угла  $i$ .

При использовании теодолита измеряют вертикальный угол путем наведения средней нити трубы теодолита на среднюю нить трубы нивелира. Угол измеряют при двух положениях вертикального круга теодолита.

В случае применения специализированных установок угол  $i$  нивелира фиксируют непосредственно с помощью оптического устройства этой установки.

*Погрешность превышений, вызванная неправильной работой фокусирующего устройства*, определяется на тот случай, когда при нивелировании приходится иметь дело с неравными расстояниями от нивелира до реек. Это может иметь место при нивелировании через препятствия или при привязках к реперам и маркам.

Способ определения погрешности превышения за влияние хода фокусирующей линзы для высокоточных нивелиров подробно изложен в книге [19]. Способ проверки хода фокусирующей линзы для точных и технических нивелиров приведен в работах [10, 19, 37].

*Проверка работы компенсатора* включает определение: систематической погрешности работы компенсатора, погрешности самоустановки линии визирования, диапазона работы компенсатора. Указанные погрешности и диапазон работы компенсатора определяются совместным или раздельным способом в лабораторных или полевых условиях.

В лабораторных условиях проверка осуществляется на экзаменаторе с ценой деления измерительного винта не более 0,5'' и с помощью автоколлиматора типа АК-0,2 или АК-0,5 по ГОСТ 11899—77.

Нивелир располагают на столике экзаменатора и приводят в рабочее положение. Измерения состоят в фиксировании положения средней нити сетки нивелира автоколлиматором после наклона оси нивелира через 1' в продольном и поперечном направлениях. Наклон оси нивелира задают с помощью винта экзаменатора.

Измерения проводят прямым и обратным ходами, что составляет один прием. При исследовании компенсатора нивелиров типа Н-05К выполняют не менее четырех приемов, нивелиров типа Н-3К — не менее двух приемов, нивелиров типа Н-10К — один прием.

Систематическую погрешность работы компенсатора вычисляют по формуле

$$\sigma_{\kappa} = \frac{b_i - b_0}{v_i}, \quad (\text{IV.4})$$

где  $b_0$  — средний отсчет по автоколлиматору при отсутствии наклона оси нивелира;  $b_i$  — средний отсчет по автоколлиматору при наклоне оси на угол  $v_i$ .

Среднюю квадратическую погрешность  $m_{\kappa}$  самоустановки линии визирования с помощью компенсатора вычисляют по формуле

$$m_{\kappa} = \sqrt{\frac{\sum (db)^2}{2n}}, \quad (\text{IV.5})$$

где  $db$  — разность средних отсчетов автоколлиматора в прямом и обратном ходах для одной и той же установки винта экзаменатора;  $n$  — количество разностей отсчетов.

Диапазон работы компенсатора (ДК) определяют по максимальному значению угла наклона оси нивелира, при котором компенсатор перестает работать. Этот момент фиксируется по положению сетки нитей нивелира, наблюдаемой в трубу коллиматора, которая после зависания маятника начинает перемещаться вместе с наклоном оси нивелира.

В полевых условиях систематическую погрешность компенсации углов наклона определяют по превышениям, измеренным на станции, при длине визирного луча: 5; 25; 50; 75 м для нивелиров типа Н-05К и 5; 25; 50 и 100 м для нивелиров типа Н-3К и Н-10К.

Нивелир во время измерений должен находиться в створе между рейками на равных расстояниях от них. Наклоны нивелира выполняют в продольном и поперечном направлениях на угол  $\nu$ , соответствующий номинальному диапазону действия компенсатора. Величину наклона оси нивелира определяют по установочному уровню. Цена деления установочного уровня должна быть предварительно определена на экзаменаторе или по рейке с погрешностью не более  $1'$ .

Измерения превышения на станции выполняют сначала при отсутствии наклона оси нивелира, а затем последовательно при каждом наклоне оси на угол  $\nu$ , что составляет один прием. Для каждой из указанных длин линий визирного луча выполняют не менее пяти приемов. Между приемами изменяют горизонт нивелира.

Систематическую погрешность компенсации  $\sigma_k$  на  $1'$  наклона оси нивелира вычисляют по формуле

$$\sigma_k = \frac{(h_\nu - h_0) \rho''}{2S\nu}, \quad (\text{IV.6})$$

где  $h_\nu$  — среднее превышение, полученное при наклоне оси нивелира на угол  $\nu$ ;  $h_0$  — среднее превышение при отсутствии наклона оси нивелира;  $S$  — длина визирного луча.

Примеры определения значений  $\sigma_k$ ,  $m_k$  и ДК приведены в табл. 27, 28.

*Среднюю квадратическую погрешность определения превышения на станции находят из многократных измерений превышения между двумя точками на местности. Измерения проводят по двум шкалам реек при длине визирного луча 30 и 50 м для высокоточных нивелиров и 100 м для точных и технических нивелиров. Точки установки реек закрепляют нивелирными костылями или кольями с винченными в них шурупами со сферической головкой.*

Измерения на станции проводят методом «из середины». Объем и порядок работы следующий. Устанавливают на косты-

Нивелир Н-05К № 0000.  
Дата: 25 марта 1977 г.

Т а б л и ц а 27  
Образцовые средства;

- 1) автоколлиматор АК-0,25 № 67241;  
2) экзаменатор № 415.

Продольный наклон оси нивелира

I прием

| Наклон<br>v, мин         | Прямой ход |                    | Обратный ход |                     | db,<br>(") | $b = \frac{b'_{\text{ср}} - b''_{\text{ср}}}{2}$<br>(") | Положение<br>пузырька<br>уровня |
|--------------------------|------------|--------------------|--------------|---------------------|------------|---|---------------------------------|
|                          | b, c       | b'_{\text{ср}} (") | b'' (")      | b''_{\text{ср}} (") |            |   |                                 |
| +10                      | 4,0        | 4,10               | 4,1          | 4,20                | 0,10       | 4,15  |                                 |
|                          | 4,2        |                    | 4,3          |                     |            |   |                                 |
| 8                        | 4,1        | 4,30               | 4,2          | 4,15                | 0,15       | 4,22  |                                 |
|                          | 4,4        |                    | 4,1          |                     |            |   |                                 |
| 6                        | 4,2        | 4,15               | 4,25         | 4,25                | 0,10       | 4,20  |                                 |
|                          | 4,3        |                    | 4,1          |                     |            |   |                                 |
| 4                        | 4,25       | 4,05               | 4,25         | 4,15                | 0,10       | 4,10  |                                 |
|                          | 4,1        |                    | 4,1          |                     |            |   |                                 |
| 2                        | 4,1        | 3,80               | 4,2          | 4,00                | 0,20       | 3,90  |                                 |
|                          | 4,0        |                    | 4,1          |                     |            |   |                                 |
| 0                        | 3,9        | 3,90               | 3,9          | 3,90                | 0,00       | 3,90  |                                 |
|                          | 3,9        |                    | 3,9          |                     |            |   |                                 |
| -2                       | 3,9        | 3,80               | 3,9          | 4,00                | 0,20       | 3,90  |                                 |
|                          | 3,7        |                    | 4,0          |                     |            |   |                                 |
| 4                        | 3,8        | 3,80               | 4,0          | 3,90                | 0,10       | 3,85  |                                 |
|                          | 3,80       |                    | 3,9          |                     |            |   |                                 |
| 6                        | 3,8        | 3,85               | 3,8          | 3,80                | 0,05       | 3,82  |                                 |
|                          | 3,8        |                    | 3,75         |                     |            |   |                                 |
| 8                        | 3,75       | 3,75               | 3,9          | 3,65                | 0,10       | 3,70  |                                 |
|                          | 4,0        |                    | 3,6          |                     |            |   |                                 |
| 10                       | 3,8        | 3,60               | 3,8          | 3,60                | 0,00       | 3,60  |                                 |
|                          | 3,6        |                    | 3,5          |                     |            |   |                                 |
| $\Sigma (db)^2 = 0,1550$ |            |                    |              |                     |            |   |                                 |

Примечание. Измерения во II-IV приемах, а также при поперечном наклоне оси нивелира выполняются аналогично.

Рабочие формулы:

$$b'_{\text{ср}} = \sum_1^3 b'; \quad b''_{\text{ср}} = \sum_1^3 b''; \quad db = b'_{\text{ср}} - b''_{\text{ср}}; \quad \Sigma \Sigma (db)^2 = 1,8850.$$

Средняя квадратическая погрешность самоустановки визирной оси нивелира

$$m_K = \sqrt{\frac{1,8850}{176}} = 0,10'' \quad (n = 88).$$

Нивелир Н-ЗК № 000103.  
Дата: 1 июня 1977 г.

Диапазон работы компенсатора  $\pm 15$ .

## I прием

| S, м | Средние значения превышений $h$ , мм |            |            | Разности $h_v - h_0$ |            | $\sigma_K''$ |            |
|------|--------------------------------------|------------|------------|----------------------|------------|--------------|------------|
|      | $v = 0'$                             | $v = +15'$ | $v = -15'$ | $v = +15'$           | $v = -15'$ | $v = +15'$   | $v = -15'$ |

## Продольный наклон оси нивелира

|     |         |         |         |       |       |       |       |
|-----|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 5   | -16,12  | -16,17  | -16,02  | -0,05 | +0,10 | -0,07 | +0,14 |
| 25  | +13,71  | +13,66  | +13,76  | -0,05 | +0,05 | -0,01 | +0,01 |
| 50  | -103,90 | -104,40 | -103,35 | -0,50 | +0,55 | -0,07 | +0,07 |
| 100 | -100,90 | -101,50 | -100,30 | -0,60 | +0,60 | -0,04 | +0,04 |

## Поперечный наклон оси нивелира

|     |         |         |         |       |       |       |       |
|-----|---------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|
| 5   | -16,12  | -15,92  | -16,31  | +0,20 | -0,19 | +0,27 | -0,25 |
| 25  | +13,71  | +13,98  | +13,48  | +0,27 | +0,23 | +0,07 | -0,06 |
| 50  | -103,90 | -101,80 | -105,75 | +2,10 | -1,85 | +0,28 | -0,25 |
| 100 | -100,90 | -96,50  | -104,80 | +4,40 | -3,90 | +0,29 | -0,26 |

$$\text{Рабочая формула } \sigma_K = \frac{(h_v - h_0) \rho''}{2 \cdot 15S}$$

## Сводная ведомость результатов исследования компенсатора

| v, мин | $b''$ |      |      |      |         | $b_j - b_0''$ | $\sigma_K''/v$ |
|--------|-------|------|------|------|---------|---------------|----------------|
|        | I     | II   | III  | IV   | Среднее |               |                |
| +10    | 4,15  | 4,30 | 4,25 | 4,25 | 4,24    | +0,39         | +0,039         |
| 8      | 4,22  | 4,05 | 4,15 | 4,20 | 4,16    | +0,31         | +0,039         |
| 6      | 4,20  | 4,15 | 4,05 | 4,15 | 4,14    | +0,29         | +0,048         |
| 4      | 4,10  | 4,00 | 4,05 | 4,00 | 4,04    | +0,19         | +0,048         |
| 2      | 3,90  | 3,95 | 3,95 | 3,95 | 3,94    | +0,09         | +0,045         |
| 0      | 3,90  | 3,95 | 3,75 | 3,80 | 3,85    | —             | —              |
| -2     | 3,90  | 3,95 | 3,80 | 3,80 | 3,86    | +0,01         | +0,005         |
| 4      | 3,85  | 3,85 | 3,80 | 3,80 | 3,82    | -0,03         | -0,008         |
| 6      | 3,82  | 3,80 | 3,75 | 3,75 | 3,78    | -0,07         | -0,012         |
| 8      | 3,70  | 3,75 | 3,65 | 3,60 | 3,68    | -0,17         | -0,022         |
| 10     | 3,60  | 3,70 | 3,60 | 3,55 | 3,61    | -0,24         | -0,024         |

$$DK = \pm 10''; \text{ среднее } [\sigma_K] = 0,028''.$$

лях нивелирные рейки и закрепляют их рейкодержателями так, чтобы в процессе измерений они сохраняли неизменное вертикальное положение. Устанавливают нивелир в створе между рейками и на равном расстоянии от них. Приводят нивелир в

рабочее положение и десять раз измеряют превышение между задней и передней точками, что составляет одну серию измерений. Число таких серий должно быть не менее десяти, что составляет число отдельных измерений не менее 100. Для технических нивелиров количество серий уменьшают до пяти. Между каждым приемом и каждой серией меняют горизонт нивелира. Измерения по сериям проводят в различное время дня и при благоприятных условиях наблюдений.

Среднюю квадратическую погрешность превышения на станции вычисляют по формуле

$$m_{\text{ст}} = \sqrt{\frac{m_1^2 + m_2^2 + \dots + m_i^2}{n}}, \quad (\text{IV.7})$$

где  $m_i$  — средняя квадратическая погрешность превышения на станции для  $i$ -й серии измерений;  $n$  — количество серий.

Значение погрешностей  $m_i$  вычисляют по формулам

$$m_i = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n-1}} \quad (\text{IV.8a})$$

или

$$m_i = \sqrt{\frac{\sum \Delta_i^2}{n}}, \quad (\text{IV.8б})$$

где  $v_i$  — отклонения измеренных превышений от среднего арифметического в  $i$ -й серии;  $\Delta_i$  — отклонения измеренных превышений от эталонного значения (определенного более точным нивелиром).

Средняя квадратическая погрешность превышения на станции не должна превышать 0,2 мм для высокоточных нивелиров, 2 мм для точных и 5 мм для технических нивелиров.

Среднюю квадратическую погрешность определения превышения на 1 км хода  $m_{\text{км}}$  можно вычислить из результатов измерений на станции по формуле

$$m_{\text{км}} = m_{\text{ст}} \sqrt{\frac{n}{2}}, \quad (\text{IV.9})$$

где  $n$  — число станций на 1 км хода, определяемое из выражения

$$n = \frac{1000}{2S}, \quad (\text{IV.10})$$

где  $S$  — длина визирного луча нивелира при измерениях на станции.

Значение  $m_{\text{км}}$  определяют также непосредственно по результатам проложения контрольных нивелирных ходов на геодезии

ческом полигоне. Нивелирные ходы должны иметь общую длину не менее 10 км. Трасса хода закрепляется нивелирными знаками (реперами) примерно через 1 км. Превышения между знаками должны быть известны из высокоточных измерений. Эти превышения при дальнейшей обработке принимают за эталонные. Погрешность эталонных превышений должна быть не менее, чем в три раза менее допускаемой погрешности на 1 км двойного хода для поверяемого типа нивелира. Например, при поверке нивелира типа Н-3 эталонное значение превышения должно быть известно с погрешностью не более 1 мм. Нивелирование по ходу выполняют в прямом и обратном направлениях по программе того класса нивелирования, для которого предназначен поверяемый нивелир.

Среднюю квадратическую погрешность превышения на 1 км двойного хода вычисляют по формуле

$$m_{\text{км}} = \sqrt{\frac{\frac{\sum (\Delta h)^2}{S}}{n}}, \quad (\text{IV.11})$$

где  $\Delta h$  — отклонение измеренных превышений по секции от эталонного значения;  $S$  — длина секции хода в километрах;  $n$  — число секций в прямом и обратном ходах.

Если эталонный нивелирный ход создать затруднительно (это может иметь место при поверке высокоточных нивелиров), то создают замкнутый нивелирный ход длиной 1—3 км с промежуточными реперами через 1 км. Поверяемым нивелиром не менее 6—10 раз определяют превышения в замкнутом ходе в прямом и обратном направлениях. В этом случае среднюю квадратическую погрешность  $m_{\text{км}}$  вычисляют по формуле

$$m_{\text{км}} = \sqrt{\frac{\sum f_h^2}{k [p]}}, \quad (\text{IV.12})$$

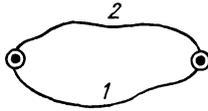
где  $f_h$  — невязка хода, получаемая как отклонение измеренной нивелиром суммы превышений в ходе от теоретического значения, равного нулю;  $k$  — число невязок в прямом и обратном ходах;  $[p]$  — периметр хода в километрах.

Значения превышений, полученные по секциям, как в случае эталонного хода, так и в замкнутом полигоне следует использовать для контрольного вычисления погрешности  $m_{\text{км}}$  по формуле

$$m_{\text{км}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\sum \frac{(dh)^2}{S}}{n}}, \quad (\text{IV.13})$$

Нивелир Н-05 № 000703.  
Схема хода.

Длина: секции 1—1,3 км;  
секции 2—1,1 км;  
хода —2,4 км.



| № п.п. | № секции | $h'$ , м | $h''$ , м | $dh = h' - h''$ , мм | $h$ , м | $f_{h'}$ , мм |
|--------|----------|----------|-----------|----------------------|---------|---------------|
| 1      | 1        | +4,0475  | +4,0470   | +0,5                 | +4,0472 | +0,6          |
|        | 2        | -4,0462  | -4,0471   | +0,9                 | -4,0466 |               |
| 2      | 1        | +4,0479  | +4,0482   | -0,3                 | +4,0480 | +1,4          |
|        | 2        | -4,0457  | -4,0469   | +1,2                 | -4,0466 |               |
| 3      | 1        | +4,0473  | +4,0477   | -0,4                 | +4,0475 | +0,7          |
|        | 2        | -4,0469  | -4,0468   | -0,1                 | -4,0468 |               |
| ...    | ...      | ...      | ...       | ...                  | ...     | ...           |
| 10     | 1        | +4,0460  | +4,0460   | 0,0                  | +4,0460 | -0,8          |
|        | 2        | -4,0465  | -4,0472   | +0,7                 | -4,0468 |               |
| 11     | 1        | +4,0470  | +4,0463   | +0,7                 | +4,0466 | -0,1          |
|        | 2        | -4,0468  | -4,0466   | -0,2                 | -4,0467 |               |

$$\Sigma \frac{(dh)^2}{S} = 10,28; \quad \Sigma f_h = 5,18; \quad n = 22; \quad k = 11.$$

Средняя квадратическая погрешность, вычисленная по формуле (IV.12),

$$m_{км} = \sqrt{\frac{5,18}{11 \cdot 2,4}} = 0,44 \text{ мм.}$$

где  $dh$  — разности превышений по данной секции, полученные в прямом и обратном ходах;  $S$  — длина секции хода в километрах;  $n$  — число секций в прямом и обратном ходах.

Пример определения погрешности  $m_{км}$  по невязкам ходов приведен в табл. 29.

## § 18. СОДЕРЖАНИЕ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ НИВЕЛИРНЫХ РЕЕК

Перечень поверочных работ и средства проверок нивелирных реек приведены в табл. 30.

### Проведение проверки реек

Проверка нивелирных реек в части проверки интервалов шкалы проводится в соответствии с поверочной схемой, регламентируемой РТМ 68—8.3—76 «Эталонирование инварных реек и контрольных линеек на компараторе МК-1».

| № п.п. | Содержание поверочных работ   | Средства поверки и их техническая характеристика  | Тип рейки            |
|--------|---|---|----------------------|
| 1      | Поверка внешнего вида и технического состояния  | Визуальный осмотр и опробование   | Все типы             |
| 2      | Поверка совмещения нулевого отсчета основной шкалы рейки с пяткой и нулевого штриха основной шкалы подвесных реек с центром отверстия | Штангенрейсмас по ГОСТ 164—73 и поверочная линейка типа ШП-2-400 (ГОСТ 8026—75)<br>Штриховая мера длины IV типа с ценой деления 0,2 мм по всей длине (ГОСТ 12069—66)                  | РН-05<br>РН-3, РН-10 |
| 3      | Определение отсчета, соответствующего пятке рейки, по дополнительной шкале  | Штриховая мера длины IV типа с ценой деления 0,2 мм   | РН-3, РН-10          |
| 4      | Поверка длины любого наименьшего интервала шкалы рейки  | Инструментальный микроскоп типа ММИ или БМИ (ГОСТ 8074—71); лупа измерительная ЛИ (ГОСТ 8309—75)<br>Штриховая мера длины IV типа с ценой деления 0,2 мм по всей длине (ГОСТ 12069—66) | РН-05<br>РН-3, РН-10 |
| 5      | Определение длины метрологических интервалов и определение средней длины метра пары реек  | Оптико-механический компаратор с базой 1000 мм и штриховая мера длины II типа 0—2 классов (ГОСТ 12069—66)<br>Штриховая мера длины IV типа с ценой деления 0,2 мм (ГОСТ 12069—66)      | РН-05<br>РН-3, РН-10 |

Примечание. В отдельных случаях, оговариваемых в нормативно-технических документах, при поверке реек контролируют точность нанесения дециметровых делений, натяжение инварной полосы и определяют коэффициент линейного расширения материала.

Поверочная схема (рис. 3) является частью «Общесоюзной поверочной схемы для средств измерений», приведенной в ГОСТ 8.020—75, и устанавливает порядок передачи единицы длины от рабочего эталона через образцовые меры к нивелирным рейкам — рабочим средствам измерений в нивелировании. Рабочим эталоном в ней служат трехметровые штриховые меры; инварные жезлы, обеспечивающие передачу длины с пределом допускаемого значения суммарной погрешности  $\Delta = 0,001$  мм.

Метрологическая аттестация рабочего эталона выполняется органами метрологической службы Госстандарта в установленном порядке.

В качестве образцовой меры 1-го разряда используются образцовые линейки (штриховые меры) длиной 1 м, обеспечива-

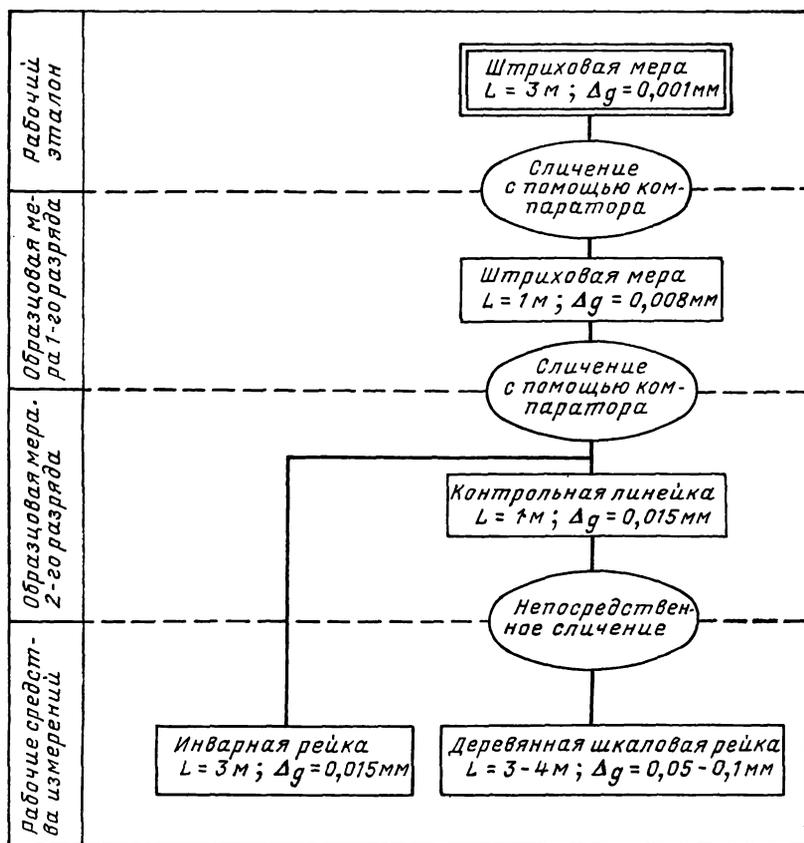


Рис. 3. Локальная поверочная схема для реек

ющие передачу длины к инварным рейкам с пределом допускаемого значения погрешности  $\Delta_g = 0,008 \text{ мм}$  с вероятностью  $P = 0,95$ . Образцовой мерой 2-го разряда в поверочной схеме служат контрольные линейки длиной 1 м, обеспечивающие передачу длины шкаловым рейкам с пределом допускаемого значения погрешности  $\Delta = 0,015 \text{ мм}$ . Метрологическая аттестация образцовых мер выполняется методом сличения с помощью компаратора в сроки, указанные в паспорте, но не реже одного раза в два года.

Рабочие средства измерений (нивелирные рейки) обеспечивают передачу длины с пределом допускаемого значения погрешности  $\Delta = 0,015 \text{ мм}$  для инварных реек и  $\Delta_g = 0,05 - 0,1 \text{ мм}$  для деревянных реек.

Проверка нивелирных реек при их использовании в нивелировании проводится в сроки, установленные нормативными документами.

*Проверку внешнего вида и технического состояния реек проводят путем визуального осмотра и опробования.* При этом устанавливают: соответствие шкал и подписей делений типу рейки; наполненность лакокрасочным покрытием штрихов, шашечных делений; отсутствие дефектов, ухудшающих внешний вид рейки и затрудняющих снятие отсчетов (на рабочей поверхности шкал рейки не должно быть пятен, царапин, трещин, наплывов, отслоений); качество штрихов, шашечных делений (рабочие торцы штрихов должны быть четкими и прямолинейными); правильность закрепления металлической пятки на торце.

При проведении опробования устанавливают: надежность крепления на корпусе уровня, кронштейна для установки уровня, ручек, металлической пластинки (пятки) и наконечника; действие фиксатора, удерживающего складную рейку в рабочем состоянии; действие замков и защелок, скрепляющих звенья складной рейки в сложенном состоянии; прилегание звеньев складной рейки в рабочем и сложенном состоянии; соответствие диаметра шпилек диаметру отверстия для подвешивания подвесной рейки.

*Совмещение нулевого отсчета основной шкалы* реек типа РН-05 с пяткой рейки проверяют штангенрейсмасом и поверочной линейкой. Рейку устанавливают вертикально на широкую поверхность линейки и от ее плоскости измеряют 3—4 штриха основной шкалы, выбираемых произвольно. При этом поверочную линейку устанавливают в горизонтальное положение с помощью накладного уровня.

Точность совмещения оси нулевого штриха основной шкалы подвесной рейки с центром отверстия для подвешивания и значения отсчета по дополнительной шкале, соответствующего центру отверстия, определяют с помощью штриховой меры длины IV типа и вкладыша с прямоугольной крестообразной насечкой на торце. Вкладыш вставляют в отверстие для подвешивания рейки так, чтобы совместить одну из насечек с направлением осевой линии шкалы. Измерения проводят относительно осей трех-четырех штрихов каждой шкалы дважды. Перед вторым измерением вкладыш поворачивают на 180°. За окончательное значение для каждой шкалы принимают среднее арифметическое из результатов измерений.

Совмещение нулевого отсчета основной шкалы реек типов РН-3 и РН-10 с пяткой рейки и отсчета по дополнительной шкале, соответствующего пятке, проверяют с помощью штриховой меры длины IV типа. Измерения проводят от опорной поверхности пятки до ближайших трех-четырех границ делений основной и дополнительной шкал при двух положениях штриховой

меры. При переходе от первого измерения ко второму штриховую меру немного сдвигают.

**Проверку длины наименьших интервалов** реек типа РН-05 в процессе производства (до установки инварной полосы в корпусе рейки) проводят на инструментальном микроскопе. При этом натяжение инварной полосы во время измерений должно иметь усилие  $200 \pm 10\text{H}$  ( $20 \pm 1$  кг).

В процессе эксплуатации реек типа РН-05 длину наименьших интервалов шкалы проверяют с помощью измерительной лупы ЛИ по ГОСТ 8309—75.

Длину наименьших интервалов шкал реек типа РН-3 и РН-10 проверяют с помощью штриховой меры длины IV типа (контрольной линейки) или на катетометре.

На каждом метре основной и дополнительной шкал определяют не менее пяти интервалов наименьшего деления, выбираемых произвольно.

**Проверку длины метровых интервалов** основной и дополнительной шкал реек типа РН-05 проводят на оптико-механическом компараторе, обеспечивающем определение длины с погрешностью, не превышающей 10 мкм.

Длину каждого метрового интервала шкалы рейки типа РН-05 измеряют тремя приемами. При переходе к следующему приему под микроскопы компаратора подводят смежные штрихи измеряемого интервала. Измерения проводят в прямом и обратном ходах. Расхождение в средних значениях разностей, полученных из прямого и обратного ходов, не должно превышать 30 мкм.

Длину метровых интервалов основной и дополнительной шкал подвесных реек, входящих в комплект реек типа РН-05, а также реек типов РН-3 и РН-10, проверяют с помощью штриховой меры длины IV типа. Измерения проводят по дециметровым штрихам шкалы.

Длину каждого метрового интервала измеряют дважды в прямом и обратном направлениях. Перед вторым измерением штриховую меру немного сдвигают. Отсчеты делают с точностью до 0,1 наименьшего деления шкалы штриховой меры.

Разности отсчетов по левому и правому штрихам меры на каждом интервале рейки не должны отличаться между собой более чем на 0,1 мм.

В начале прямого и в конце обратного ходов отсчитывают показания термометра штриховой меры до  $0,1^\circ\text{C}$ .

За окончательное значение длины метрового интервала принимают среднее арифметическое из измерений в прямом и обратном направлениях.

По результатам определений длины метровых интервалов шкал реек выводят среднюю длину метра для пары реек.

Пример определения средней длины 1 м рейки типа РН-10 приведен в табл. 31.

Рейка № 156.  
Дата: 20 мая 1977 г.

Таблица 31  
Образцовое средство:  
контрольная линейка № 61705.  
Уравнение контрольной линейки:  
 $L = 1000 + 0,0079 + 0,019 (t^\circ - 20,8^\circ \text{C})$  мм.

Черная сторона, мм

| Интервал рейки                           | Отсчеты по линейке |          | П - Л    | Среднее П - Л | Поправка за длину линейки и температуру | Длина интервала рейки |
|--|--------------------|----------|----------|---------------|---|-----------------------|
|  | Л                  | П        |          |               |   |                       |
| Прямой ход, $t = 17,5^\circ \text{C}$    |                    |          |          |               |   |                       |
| 1—10                                     | 0,08               | 900,18   | 900,10   | 900,11        | -0,05                                   | 900,06                |
|  | 0,22               | 900,34   | 900,12   |               |   |                       |
| 10—20                                    | 0,10               | 1000,34  | 1000,34  | 1000,23       | -0,06                                   | 1000,17               |
|  | 0,30               | 1000,52  | 1000,22  |               |   |                       |
| 20—29                                    | 0,26               | 900,44   | 900,18   | 900,19        | -0,05                                   | 900,14                |
|  | 1,10               | 901,30   | 900,20   |               |   |                       |
| Обратный ход, $t = +17,7^\circ \text{C}$ |                    |          |          |               |   |                       |
| 29—20                                    | 0,08               | 900,24   | 900,16   | 900,15        | -0,05                                   | 900,10                |
|  | 0,56               | 900,70   | 900,14   |               |   |                       |
| 20—10                                    | 0,42               | 1000,68  | 1000,26  | 1000,27       | -0,05                                   | 1000,22               |
|  | 0,16               | 1000,44  | 1000,28  |               |   |                       |
| 10—1                                     | 0,30               | 900,40   | 900,10   | 900,10        | -0,05                                   | 900,05                |
|  | 0,46               | 900,56   | 900,10   |               |   |                       |
| Сумма                                    | 4,04               | 11206,40 | 11202,10 | 5601,05       | -0,31                                   | 5600,74               |

Средняя длина 1 м:  $\frac{5600,74}{5,6} = 1000,13$  мм.

Пример вычисления поправки за длину контрольной линейки и за температуру:

$$0,9(L - 1000) = 0,9 \left[ 0,0079 + 0,019 \left( \frac{17,5 + 17,7}{2} - 20,8 \right) \right] = -0,05 \text{ мм.}$$

Пример определения средней длины 1 м для пары реек приведен в табл. 32.

Таблица 32

| Номер рейки | Средняя длина 1 м рейки |                        |                                |
|-------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------|
|             | по черной стороне, мм   | по красной стороне, мм | $\frac{\chi + \kappa}{2}$ , мм |
| 156         | 1000,13                 | 1000,16                | 1000,14                        |
| 157         | 999,87                  | 999,75                 | 999,81                         |
|             |                         |                        | Среднее 999,98                 |

Средний поправочный коэффициент 1 м пары реек равен 0,02 мм.

**ПОВЕРКА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛИН ЛИНИЙ****§ 19. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ДАЛЬНОМЕРЫ****Характеристика некоторых типов  
электромагнитных дальномеров**

Электромагнитные дальномеры в настоящее время заняли ведущее место в геодезии при измерении длин линий. Среди них различают приборы двух основных видов: светодальномеры и радиодальномеры.

В настоящее время в производстве применяют светодальномеры «Кварц» типа СБ-6 по ГОСТ 19223—73, 2СМ-2, СМ-5, МСД-1М, ДК-001, а также радиодальномеры РДГ, РДГВ и «Луч». Из зарубежных приборов наибольшее распространение в отечественной практике получили светодальномеры ЕОК 2000 (ГДР), «Геодиметр» моделей 6 и 8 фирмы «АГА», Швеция. Подробное описание устройства названных приборов можно найти в работах [9, 43].

Рассмотрим некоторые технические характеристики наиболее распространенных электромагнитных дальномеров.

Светодальномер «Кварц» предназначен для измерения длин сторон геодезических построений высших классов. В качестве источника излучения в приборе применен гелий-неоновый лазер, имеющий длину волны излучения 0,63 мкм. Диапазон измерения длин линий от 1 м до 30 км днем и до 50 км ночью. Для модуляции света используется конденсатор Керра. Задающий кварцевый генератор термостатирован; утроением его частот могут быть получены модулированные колебания следующих частот: 20 МГц; 29,99625 МГц; 29,925 МГц и 28,5 МГц. Приемник излучения ФЭУ-38. Разность фаз опорного и сигнального напряжений измеряют индукционным фазовращателем, работающим на частоте 15 кГц. В качестве источника электропитания служит бензоэлектрический агрегат типа АБ-0,5-115/400. Потребляемая мощность прибора 140 Вт. Отражатель прибора представляет собой набор трипельпризм, три блока которых устанавливают и закрепляют на специальной подставке. Масса приемопередатчика 25 кг.

Погрешность измерения длин линий светодальномером «Кварц» оценивают формулой  $m_S = (1 + 2 \cdot 10^{-6} S)$  см ( $S$  в км).

Светодалномер МСД-1М, выполненный во взрыво-искробезопасном варианте, предназначен для работ на поверхности и в подземных горных выработках. Является усовершенствованной моделью дальномера МСД-1. Отличие от базовой модели состоит в применении более совершенной схемы питания полупроводникового источника излучения повышенной мощности. Дальность работы прибора доведена до 500 м. Продолжительность измерения одной линии около 8 мин. Прибор работает на трех фиксированных частотах: 150,1549 МГц, 142,3624 МГц и 149,8552 МГц. Потребляемая мощность 2,5 Вт. Масса приемопередатчика с встроеной аккумуляторной батареей 9,5 кг.

Средняя квадратическая погрешность измеряемого расстояния для МСД-1М оценивается формулой  $m_S = (2 + 5 \cdot 10^{-6} S)$  мм.

Светодалномер 2СМ-2 относится к малым электромагнитным дальномерам, предназначаемым для измерения сторон полигонометрии 4 класса, 1 и 2 разрядов, а также для выполнения различных задач линейных изысканий.

Излучателем в 2СМ-2 служит полупроводниковый светодиод на арсениде галлия с длиной волны 0,9 мкм. Для измерения расстояний используется фазовый метод. Неоднозначность определения расстояний разрешается благодаря использованию трех частот модуляции: частоты 149,85 кГц и 1498,5 кГц обеспечивают возможность определения расстояний от 100 до 1000 м; частота 14 985 кГц вырабатывается термостатированным кварцевым генератором и задает масштаб расстояний с точностью до 10 м. Результаты измерений после нажатия кнопки «Пуск» индицируются на световом табло. Питание прибора осуществляется от кадмиево-никелевых аккумуляторов. Потребляемая мощность прибора в среднем около 20 Вт. Дальность действия прибора при использовании штатного трипельпризменного отражателя составляет 2 км. Время измерений одним приемом около 2 мин. Масса приемопередатчика 5,5 кг, электронного блока 7 кг, блока питания 6,5 кг, отражателя с подставкой 3,8 кг. По результатам испытаний [1], средняя квадратическая погрешность измерения расстояний не превышает 2 см во всем диапазоне.

Светодалномер ДК-001 относится к высокоточным приборам, применяемым как образцовые средства измерений, а также для выполнения особо точных наблюдений, например, при изучении деформаций сооружений. Относится к фазовым геодезическим дальномерам, работающим на сверхвысоких частотах (масштабная частота 750 МГц).

Диапазон измеряемых расстояний от 0,5 до 300 м, средняя квадратическая погрешность измерений 0,5—0,6 мм. Результаты измерений выдаются на световом табло с дискретностью 0,01 мм. Средняя потребляемая мощность 25 Вт. Масса приемопередатчика 9 кг, электронного блока 8,5 кг, блока питания 6,5 кг. Отражатель трипельпризменный с одной призмой.

Светодалномер СМ-5 предназначен для измерения длин линий в теодолитных и полигонометрических ходах, при выполнении различных линейных изысканий. Применяется как самостоятельный прибор и в виде насадки на теодолит типа 2Т.

Однозначное измерение расстояний обеспечивается сочетанием двух частот: в режиме «Грубо» — 149,85 кГц и в режиме «Точно» — 14985 кГц. Излучатель такого же типа, как и в дальномере 2СМ-2. Результаты измерений автоматически регистрируются на световом табло с дискретностью до 1 мм. Дальность действия прибора до 300 м при использовании одной призмы и до 500—700 м при трех призмах. Потребляемая мощность дальномера 7—8 Вт. Масса основных узлов: приемопередатчика 4,7 кг, источника питания 3,4 кг, отражателя с подставкой типа ПО-60 — 1,4 кг.

По результатам испытаний [14], средняя квадратическая погрешность измерения расстояний в диапазоне до 500 м составляет около 2 см.

Радиодальномер «Луч» относится к геодезическим фазовым дальномерным системам и предназначен для измерения сторон геодезических сетей высших классов. Три характерные особенности выгодно отличают радиодальномер «Луч» от приборов аналогичного назначения прежних выпусков: применение трехсантиметрового диапазона несущих радиоволн, взаимозаменяемость станций, возможность отделения приемопередатчика от индикаторного блока и дистанционного управления с помощью 25-метрового кабеля.

Дальность действия (паспортная) 60 км, диапазон несущих частот 8600—8900 МГц. Одна станция потребляет около 80 Вт. Масса индикаторного блока 14 кг, приемопередатчика 9,5 кг. Средняя квадратическая погрешность измерения оценивается формулой  $m_S = (3 + 3 \cdot 10^{-6} S)$  см.

К основным метрологическим характеристикам электромагнитных дальномеров, подлежащих контролю в процессе проведения поверочных работ, относят: погрешность измерения длин линий в заданном диапазоне, постоянную поправку прибора, значение частоты кварцевого генератора и ее нестабильность; в некоторых случаях контролируют вариации показаний (у радиодальномеров), диапазон измерений и длину волны излучения (при дифференцированной поверке [24]).

### Содержание поверочных работ

Содержание операций контроля при поверке электромагнитных дальномеров указано в табл. 33.

Следует заметить, что такая важная характеристика, как диапазон измерений, в табл. 33 опущена, поскольку при периодической поверке она не проверяется в силу ее достаточной стабильности; дальность действия дальномера обычно определяют

| № п.п. | Содержание поверочных работ   | Методы и средства проверки  | Тип дальномера             |
|--------|---|---|----------------------------|
| 1      | Проверка внешнего состояния и комплектности                                   | Визуальный осмотр   | Все типы                   |
| 2      | Проверка функционирования отдельных элементов и узлов прибора                 | Опробование   | Все типы                   |
| 3      | Определение погрешности измерений в пределах фазового цикла                   | Измерение образцового базиса короткой длины   | Светодальномеры всех типов |
| 4      | Определение постоянной поправки прибора                                       | Измерение базиса  | Все типы                   |
| 5      | Контроль масштабной частоты   | Контроль частоты с помощью частотомера  | Все типы                   |
| 6      | Определение вариаций показаний точных отсчетов в диапазоне перестройки частот | Измерение полевого базиса длиной 0,5—5 км   | Радиодальномеры всех типов |
| 7      | Определение средней квадратической погрешности измерений                      | Полевой аттестованный базис, содержащий 4—6 интервалов заданной длины. Образцовый дальномер | Все типы                   |

на стадии разработки прибора, затем в дальнейшем контролируют в процессе предварительных и государственных испытаний, а также при периодических испытаниях и первичной поверке на заводе-изготовителе.

Определение основной погрешности электромагнитного дальномера в обоснованных случаях может выполняться поэлементным способом, т. е. определением отдельных составляющих, влияющих на основную погрешность прибора, и их суммирования с учетом законов распределения по известным правилам [2, 11, 34].

### Проведение проверки свето- и радиодальномеров

*Проверку внешнего состояния* осуществляют визуальным осмотром. Комплектность приборов проверяют осмотром и сравнением с документацией.

При визуальном осмотре: устанавливают состояние внешней отделки; убеждаются в отсутствии механических повреждений корпуса приемопередатчика, антенны, отражателей, кабелей, блока питания и других рабочих узлов; проверяют сохранность информационных надписей и маркировки на панели приемопередатчика; проверяют качество антикоррозийных покрытий, защитно-декоративного оформления поверхностей деталей и узлов.

*Проверка функционирования прибора и его узлов* осуществ-

вляется путем опробования. При этом должна быть установлена работоспособность всех основных узлов прибора.

Опробование свето- и радиодальномеров сводится к следующим основным операциям: проверка пригодности для работы источника питания; измерение выходного напряжения; включение приемопередатчика; проверка легкости и плавности хода подвижных деталей; в термостатированных приборах — проверка правильности работы термостата; оценка наличия сигнала вдоль измеряемой линии; проверка соответствия режимов работы установленным требованиям; определение работоспособности индикатора (чувствительности стрелки, свечения цифр табло и т. п.); контроль надежности вращения приемопередатчика вокруг вертикальной оси и наклона его в вертикальной плоскости; определение качества работы зажимных устройств.

*Контроль масштабной частоты.* Для выполнения поверки необходимо привести приемопередатчик в рабочее положение и подключить частотомер к контактам, на которые выведены напряжения контролируемых частот. Далее следует установить рабочие режимы работы частотомера с помощью соответствующих переключателей. После этого необходимо включить приемопередатчик, установить рукоятку в положение, соответствующее контролю частоты кварцевого генератора, и провести измерения согласно инструкции по эксплуатации частотомера.

Значение

$$\delta f = \frac{f_0 - f_{\text{из}}}{f_0}$$

(где  $f_0$  — номинальное, а  $f_{\text{из}}$  — измеренное значение частоты) не должно превышать установленного допуска  $\delta f_{\text{доп}}$ .

Если повторить аналогичные измерения через промежуток времени  $t$ , регламентированный документацией, и сравнить результаты  $f_{\text{из}}$  и  $f_{\text{из}t}$ , можно оценить нестабильность частоты за этот интервал времени.

При наличии данных, полученных после измерения частоты при воздействии внешних дестабилизирующих факторов (температуры, влажности, транспортной тряски), можно оценить нестабильность частоты аналогичным образом, зависящую от факторов внешней среды. Пример определения нестабильности частоты светодальномера в зависимости от влияния дестабилизирующих факторов приведен в работе [1].

*Определение погрешности фазового цикла.* Эта операция поверки ставит целью выявить погрешности отсчетного устройства прибора через определенные (малые) интервалы его шкалы в пределах фазового цикла. По своей сути данная работа напоминает исследование шкалы оптического микрометра теодолита или нивелира.

Для измерений необходим отрезок прямой, содержащий интервалы равной длины с фиксированными точками; длина  $S_{oi}$

интервалов должна быть известна с заданной точностью из измерений образцовым средством (мерой).

Установив приемопередатчик в исходной точке и последовательно перемещая отражатель вдоль отрезка с установкой на фиксированных точках, выполняют измерения интервалов (в прямом и обратном ходах) и получают значения  $S_{ni}$ .

Обработка результатов измерений заключается в следующем:

— вычисляют для каждого измеренного интервала отклонения

$$\Delta S_i = S_{ni} - S_{oi} \quad (V.1)$$

и их среднее арифметическое

$$\overline{\Delta S} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \Delta S_i, \quad (k - \text{число интервалов}); \quad (V.2)$$

— получают погрешности фазового цикла для каждой отметки шкалы

$$\Delta S_\phi = \Delta S_i - \overline{\Delta S}, \quad (V.3)$$

которые для наглядности наносят на график.

Погрешности шкалы фазовращателя можно получить также с помощью образцовых фазометров (в разобранном виде, отделенном от прибора).

*Определение постоянной поправки прибора.* Постоянная дальномера является необходимым членом рабочей формулы для вычисления длины линии, так как ее значение, как следует из практики работы с дальномерами [1, 7, 29, 30], существенно влияет на результаты измерений.

Известно несколько способов определения постоянной дальномера, и среди них следует прежде всего отметить: 1) способ, основанный на измерении короткого интервала (в пределах фазового цикла) известной длины; 2) способ, при котором измеряется контрольный базис длиной 300—500 м; 3) способ, включающий измерения нескольких длин линий, известных с заданной точностью; 4) способ, основанный на измерении нескольких линий, расположенных в одном створе, во всевозможных комбинациях (в этом случае точное значение длин линий знать не обязательно); 5) получение постоянной расчетным путем по конструктивным данным.

Теория и области применения каждого из указанных способов определения постоянной светодальномеров подробно рассмотрены в работах [7, 9, 21, 30]. Многообразие способов определения постоянной обусловлено, с одной стороны, стремлением получить как можно надежнее этот важный показатель расчетной формулы дальномера, а с другой стороны, — тем, что у некоторых типов светодальномеров обнаруживается нестабильность

Дата: 17.09.78 г.

Погода: пасмурно, слабый ветер,  
 $T_H = +17^\circ\text{C}$ ,  $P_H = 751,8$  мм рт. ст.  
 (1002,3 гПа);  
 $T_K = +19,5^\circ\text{C}$ ,  $P_K = 751,0$  мм рт. ст.  
 (1001,2 гПа).

Проверяемый прибор: светодальномер 2СМ-2 № 301005.

Методика: измерение линии 527 м с перестановкой отражателя через 1 м в пределах фазового цикла.

Погрешность контрольного базиса:  $\frac{m_S}{S} = 2 \cdot 10^{-6}$ .

| Прямой ход |           |           |                      | Обратный ход |           |           |                      |
|------------|-----------|-----------|----------------------|--------------|-----------|-----------|----------------------|
| № п.п.     | $S_0$ , м | $S_H$ , м | $C = S_0 - S_H$ , мм | № п.п.       | $S_0$ , м | $S_H$ , м | $C = S_0 - S_H$ , мм |
| 1          | 527,671   | 527,724   | -53                  | 10           | 528,676   | 528,728   | -52                  |
| 2          | 529,606   | 529,662   | -56                  | 9            | 530,606   | 530,664   | -58                  |
| 3          | 531,581   | 531,643   | -62                  | 8            | 532,575   | 532,635   | -60                  |
| 4          | 533,552   | 533,615   | -63                  | 7            | 534,561   | 534,629   | -68                  |
| 5          | 535,482   | 535,541   | -59                  | 6            | 536,487   | 536,548   | -61                  |

$$C_{\text{ср}} = -59 \text{ мм.}$$

$$v = C_i - C_{\text{ср}}, \Sigma v^2 = 206.$$

Средняя квадратическая погрешность определения постоянной  $m_C = 1,5$  мм.

Примечания. 1. Значения измеренных расстояний  $S_H$  получены как средние из шести приемов. 2. В результаты измерений введены поправки за метеофакторы и наклон линии базиса.

значения постоянной поправки в зависимости от времени и длины измеряемой линии.

Ниже приведен пример определения постоянной для светодальномера типа 2СМ-2 (табл. 34).

Погрешности фазового цикла и постоянную можно определять совместно.

Методика определения постоянной светодальномеров по результатам измерений во всех комбинациях нескольких интервалов, расположенных в одном створе, изложена в работе [4].

В этой работе ставится задача отыскания некоторой постоянной погрешности  $\theta$ , зависящей от режима работы прибора, как приращение паспортного значения  $C_H$  постоянной светодальномера, т. е.  $C = C_H + \theta$ .

Постановка задачи определения погрешности  $\theta$  принципиально не отличается от методики, принятой для случая определения постоянной  $C$ .

Сущность методики заключается в измерении группы рас-

стояний вида  $S_{ij}$ ,  $S_{ik}$ ,  $S_{jk}$  между тремя точками  $i$ ,  $j$ ,  $k$ , расположенными в одном створе.

Если число точек равно  $n$ , общее число измеренных линий составит

$$N = \frac{1}{2} n(n-1).$$

Для каждой группы расстояний, расположенных на отрезке  $ijk$ , можно составить уравнение вида

$$C = S_{ik} - (S_{ij} + S_{jk}).$$

Если в измеренное расстояние введена поправка за паспортное значение постоянной, уравнение запишется в виде

$$\theta = S'_{ik} - (S'_{ij} + S'_{jk}),$$

где  $S' = S + C_{\text{п}}$ .

Расстояния  $S$  при этом должны быть получены с учетом поправок за наклон линий и метеофакторы.

Число уравнений для всех возможных сочетаний из  $n$  элементов по три будет

$$q = \frac{1}{6} n(n-1)(n-2).$$

Среднее значение постоянной

$$C_{\text{ср}} = \frac{\sum C_i}{q} = \frac{6 \sum (S_{ik} - S_{ij} - S_{jk})}{n(n-1)(n-2)}.$$

Точность определения постоянной, рассмотренной методикой, оценивают по формуле

$$m_c = m_1 \sqrt{\frac{6}{(n-1)(n-2)}},$$

где  $m_1$  — средняя квадратическая погрешность отдельного измерения расстояния.

Если вместо  $C_{\text{ср}}$  определяют постоянную погрешность  $\theta_{\text{ср}}$ , оценивают целесообразность введения поправки за ее влияние при измерении расстояний с учетом критерия  $\theta \geq m_{\theta}$  или иного технического и экономически обоснованного условия.

Как следует из [4], достаточным условием получения надежных результатов является соотношение  $n \geq 6$ , при этом  $m_c \geq 0,5 m_1$ .

Если  $n=6$ , то  $q=20$ , т. е. для определения среднего значения постоянной будем иметь 20 ее отдельных значений. Для реализации методики при этом потребуется измерить  $N=15$  линий.

Для того чтобы исключить влияние погрешностей фазометрического устройства прибора, необходимо интервалы  $S_{ij}$ ,  $S_{ik}$ ,  $S_{jk}$  выбирать кратными фазовому циклу дальномера.

*Проверка средней квадратической погрешности измерений.*  
 Среднюю квадратическую погрешность  $m_s$  свето- и радиодальномеров определяют по результатам измерений нескольких линий контрольного базиса, предварительно измеренного с заданной точностью образцовым средством (мерой). Погрешность эталонного значения длины базиса при этом не должна превышать  $1/2$ — $1/3$  погрешности поверяемого прибора.

В ГОСТ 19223—73 была установлена следующая формула для оценки основной погрешности измерений светодальномером

$$m_s = \sqrt{\frac{\sum_1^k \sum_1^n \Delta_i^2}{kn}}, \quad (\text{V.4})$$

где  $\Delta_i$  — отклонения измеренных значений длин линий от соответствующих эталонных;  $n$  — число приемов измерений;  $k$  — число контрольных линий.

Максимальная длина контрольных линий должна составлять, по крайней мере,  $1/3$  диапазона измерений поверяемым прибором.

Содержание и последовательность операций в одном приеме наблюдений должно соответствовать инструкции по эксплуатации дальномера или технологической инструкции.

Допускается поверку проводить по альтернативному признаку, т. е. количественную характеристику погрешности измерений не получать, а ограничиваться оценкой «годен» — «не годен». В этом случае рекомендуется оценивать интервал, в котором с вероятностью  $P$  лежит погрешность  $\Delta = S_n - S_0$  дальномера:

$$M(\Delta) - kms \leq \Delta \leq M(\Delta) + kms, \quad (\text{V.5})$$

где  $M(\Delta)$  — математическое ожидание погрешности измерений;  $k$  — коэффициент, зависящий от вида закона распределения суммарной погрешности  $\Delta$  и заданной вероятности  $P$ .

В практике геодезических работ принимают  $P=0,95$  для двустороннего доверительного интервала. При поверке прибора по альтернативному признаку приходится иметь дело с односторонними доверительными границами, поэтому

$$P' = \frac{P+1}{2} \approx 0,98. \quad (\text{V.6})$$

Если имеются основания полагать, что закон распределения нормальный и  $M(\Delta)=0$ , то при односторонней доверительной вероятности

$$\Delta \leq 2m_s, \quad (\text{V.7})$$

Проверяемый прибор: светодальномер 2СМ-2 № 301003.

Образцовое средство: базис геополигона ЦНИИГАиК,  $\frac{m_S}{S} = 2 \cdot 10^{-6}$

| № приема               | Дата     | $S_0$ , м | $S_n$ , м | $\Delta = S_n - S_0$ , мм |
|------------------------|----------|-----------|-----------|---------------------------|
| <i>Линия 1, 96 м</i>   |          |           |           |                           |
| 1                      | 03.09.78 | 95,770    | 95,775    | +5                        |
| 2                      | 03.09.78 |           | ,776      | +6                        |
| 3                      | 03.09.78 |           | ,768      | -2                        |
| 4                      | 05.09.78 |           | ,773      | +3                        |
| 5                      | 05.09.78 |           | ,768      | -2                        |
| 6                      | 07.09.78 |           | ,767      | -3                        |
| <i>Линия 2, 348 м</i>  |          |           |           |                           |
| 1                      | 21.09.78 | 348,463   | 348,446   | -17                       |
| 2                      | 22.09.78 |           | ,445      | -18                       |
| 3                      | 22.09.78 |           | ,439      | -24                       |
| 4                      | 22.09.78 |           | ,440      | -23                       |
| 5                      | 29.09.78 |           | ,439      | -24                       |
| 6                      | 29.09.78 |           | ,442      | -21                       |
| <i>Линия 3, 527 м</i>  |          |           |           |                           |
| 1                      | 02.09.78 | 527,671   | 527,655   | -16                       |
| 2                      | 03.09.78 |           | ,659      | -12                       |
| 3                      | 03.09.78 |           | ,660      | -11                       |
| 4                      | 18.09.78 |           | ,650      | -21                       |
| 5                      | 18.09.78 |           | ,652      | -19                       |
| 6                      | 19.09.78 |           | ,654      | -17                       |
| <i>Линия 4, 1115 м</i> |          |           |           |                           |
| 1                      | 12.09.78 | 60        | 1115,568  | +8                        |
| 2                      | 15.09.78 |           | ,565      | +5                        |
| 3                      | 15.09.78 |           | ,586      | +26                       |
| 4                      | 19.09.78 |           | ,536      | -24                       |
| 5                      | 19.09.78 |           | ,544      | -16                       |
| 6                      | 29.09.78 |           | ,543      | -17                       |
| <i>Линия 5, 1435 м</i> |          |           |           |                           |
| 1                      | 04.09.78 | 1435,201  | 1435,182  | -19                       |
| 2                      | 05.09.78 |           | ,180      | -21                       |
| 3                      | 12.09.78 |           | ,220      | +19                       |
| 4                      | 15.09.78 |           | ,206      | +25                       |
| 5                      | 16.09.78 |           | ,178      | -23                       |
| 6                      | 16.09.78 |           | ,190      | -11                       |
| <i>Линия 6, 1952 м</i> |          |           |           |                           |
| 1                      | 01.09.78 | 1952,491  | 1952,495  | +4                        |
| 2                      | 04.09.78 |           | ,498      | +7                        |
| 3                      | 10.09.78 |           | ,478      | -13                       |
| 4                      | 10.09.78 |           | ,475      | -16                       |
| 5                      | 12.09.78 |           | ,479      | -12                       |
| 6                      | 16.09.78 |           | ,476      | -15                       |

$\Sigma \Delta^2 = 9509$

Средняя квадратическая погрешность измерений  $m_S = 16$  мм.

где  $m_s$  — нормированная в документации средняя квадратическая погрешность дальномера.

При условии выполнения требования (V.7) поверяемый прибор оценивается как годный для производства измерений с заданной точностью  $m_s$  и вероятностью  $P'$ .

Пример определения основной погрешности измерения малым светодальномером по формуле (V.4) приведен в табл. 35.

*Определение вариации показаний* в пределах диапазона перестройки несущих частот обычно проводят у радиодальномеров. С этой целью выбирают базис длиной 0,2—1 км с характерным для района предстоящих работ профилем трассы и выполняют не менее трех приемов измерений поверяемой парой станций. В каждом приеме делают точные отсчеты во всем диапазоне механической перестройки несущих частот. По результатам измерений вычисляют уклонения полученных отсчетов от их средних значений и строят график их изменений в зависимости от участка диапазона.

## § 20. ПОВЕРКА ДАЛЬНОМЕРОВ ДВОЙНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

### Типы дальномеров двойного изображения и их основные метрологические характеристики

В соответствии с ГОСТ 22549—77 «Дальномеры двойного изображения. Общие технические условия» в нашей стране серийно выпускаются три типа дальномеров: Д-2, ДНР-5 и ДН-8. Эти дальномеры заменяют ныне снятые с производства такие приборы, как ДН-04, ДД-3, ДД-5, ДНТ, ДН-10 и ДВ-20, которые, однако, еще можно встретить в производстве топографо-геодезических работ.

Дальномер Д-2 — прибор с переменным параллактическим углом; измерения осуществляются как при вертикальном, так и горизонтальном положении дальномерной рейки, с относительной средней квадратической погрешностью измерения 1 : 3000 и 1 : 5000 соответственно. Прибор содержит угломерную часть в виде вертикального круга и отсчетное устройство с точностью 1'.

Редукционный дальномер ДНР-5 выполнен в виде насадки на зрительную трубу прибора, с посадочным диаметром 46 мм; дальномер имеет постоянный параллактический угол; применяется для измерения горизонтальных проложений по вертикально устанавливаемой рейке в тех случаях, когда при измерениях требуется относительная средняя квадратическая погрешность 1 : 1000—1 : 2000.

Дальномер ДН-8 — насадка на зрительную трубу геодезического прибора, с переменным параллактическим углом. Измерения ДН-8 выполняются по горизонтально устанавливаем-

Т а б л и ц а 36

| Параметры   | Нормы по типам дальномеров |        |          |
|---|----------------------------|--------|----------|
|   | Д-2                        | ДНР-5  | ДН-8     |
| Диапазон измерений, м   | 40—4000                    | 20—120 | 50—700   |
| Средняя квадратическая погрешность измерения на 100 м, не более, см | 2                          | 5      | 8        |
| Коэффициент дальномера  | —                          | 100    | —        |
| Цена деления (или база) рейки, см                                   | 40                         | 2      | 102 и 55 |
| Цена деления отсчетного устройства                                  | 1"                         | —      | 1"       |
| Постоянное слагаемое, м   | 0,12                       | 0      | 0,10     |

мой рейке. Применяется при измерениях с относительной средней квадратической погрешностью 1 : 1000—1 : 1200.

Основные метрологические характеристики дальномеров двойного изображения приведены в табл. 36.

### Содержание поверочных работ

В настоящее время поверочная схема для дальномеров двойного изображения отсутствует, содержание поверочных работ для них приведено в табл. 37.

### Выполнение отдельных операций поверки дальномеров

*Внешний осмотр и поверка работоспособности подвижных частей.* При внешнем осмотре выявляются механические повреждения оптических и механических деталей, качество изо-

Т а б л и ц а 37

| № п. п. | Содержание поверочных работ   | Средства поверки и метод                  | Тип дальномера |
|---------|---|---|----------------|
| 1       | Внешний осмотр и поверка работоспособности подвижных частей         | Осмотр [и опробование                     | Все типы       |
| 2       | Определение постоянных дальномера                                   | Эталонный базис                           | Все типы       |
| 3       | Определение средней квадратической погрешности измерения расстояний | Эталонный базис                           | Все типы       |
| 4       | Стабильность положения насадки                                      | Повторные измерения на базисе             | ДНР-5          |
| 5       | Определение цены деления рейки                                      | Штриховая мера IV класса по ГОСТ 12069—66 | Все типы       |
| 6       | Определение цены деления отсчетного устройства                      | —   | Все типы       |

Т а б л и ц а 38

| Тип<br>дальномера | Число<br>интервалов | $M_k$    | $\frac{M_k}{K}$ |
|-------------------|---------------------|----------|-----------------|
| Д-2               | 10—12               | 0,50     | 1:15 000        |
| ДНР-5             | 6—8                 | 0,015    | 1:7000          |
| ДН-8              | 6—8                 | 4,2; 2,2 | 1:5000          |

бражения шкал и наличие побочных изображений, состояние отделки прибора.

Проверка подвижных частей проводится опробованием. Движение всех подвижных частей должно быть плавным, без заметных скачков. Проверяется работа отсчетных устройств, диапазон работы установочных приспособлений, а для насадок — надежность их закрепления на трубу геодезического прибора. При этой проверке определяется комплектность прибора и качество маркировки (визуальным осмотром).

*Определение постоянных дальномера.* К постоянным дальномера двойного изображения относятся коэффициент  $K$  и постоянное слагаемое  $C$ .

Коэффициент дальномера определяют при измерении интервалов эталонного базиса различной длины. Требования к базису и выбору интервалов для измерения те же, что и при определении средней квадратической погрешности измерений (см. табл. 40).

Измерения выполняют в прямом и обратном направлениях (для дальномеров с постоянным углом по двум сторонам рейки), методика измерений должна соответствовать методике, указанной в инструкции по эксплуатации прибора. Погрешности определения коэффициента  $M_k$  и  $M_k/K$ , а также число измеряемых интервалов приведены в табл. 38. (Для дальномера ДН-8 указана  $M_k$  для крайних и средних марок).

По результатам измерения каждого интервала получают коэффициент дальномера  $K_i$ .

При этом для дальномера типа ДНР-5 используют формулу

$$K_i = \frac{S_0 - C}{L_i}, \quad (V.8)$$

где  $S_0$  — эталонное значение интервала базиса;  $C$  — постоянное слагаемое дальномера;  $L_i$  — средний отсчет по рейке.

$K_i$  дальномера типа Д-2 вычисляют по формуле

$$K_i = (S_0 - C + \delta_{s\alpha}) \frac{\beta}{N}, \quad (V.9)$$

где  $S_0$  и  $C$  — см. формулу (V.8);  $\delta_{s\alpha}$  — поправка за наклон интервала базиса, вводимая в случае, если наклон больше 30';

$\beta$  — параллактический угол;  $N$  — число баз рейки при измерении угла.

При этом

$$\delta s_{\alpha} = 2S \sin^2 \frac{\alpha}{2}.$$

В журнале наблюдений записывают температуру воздуха, при которой определялся коэффициент дальномера.

Для дальномера типа ДН-8 формула для  $K_i$  имеет вид

$$K_i = (S_0 - C + \delta s_{\alpha}) \beta. \quad (V.10)$$

После вычисления  $K_i$  для отдельных интервалов находят среднее значение коэффициентов дальномера по формуле

$$K = \frac{1}{n} \sum_1^n K_i,$$

где  $K_i$  — значение  $K$ , полученное по вышеприведенным формулам (V. 8), (V. 9) или (V. 10);  $n$  — число интервалов базиса.

Среднюю квадратическую погрешность среднего значения коэффициента получают по формуле

$$M_K = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}, \quad (V.11)$$

где  $v = K_i - K$ .

Постоянная дальномера  $C$  складывается из двух составляющих: расстояния от вертикальной оси дальномера до вершины параллактического угла и расстояния от плоскости марок до оси рейки. Постоянное слагаемое дальномера может изменять свое значение при смещении шкалы нониуса относительно основной шкалы рейки или при изменении положения аналатической точки зрительной трубы прибора.

Для одного и того же типа теодолита и комплекта реек, используемых с дальномером, постоянное слагаемое должно быть одинаковым. У дальномеров типа Д-2 и ДН-8 значение постоянного слагаемого берут из паспортных данных и с его учетом определяют только значение коэффициента.

В дальномере ДНР-5 значение постоянного слагаемого определяют по методике, выбираемой в зависимости от условий эксплуатации прибора. Существует несколько способов раздельного определения постоянного слагаемого  $C$ . Рассмотрим некоторые из них.

Значение постоянного слагаемого можно получить по измерениям короткого интервала базиса  $S_0$ , используя формулу (V. 8)

$$C = S_0 - KL.$$

Значение  $C$  по измерениям пары интервалов получают по формуле

$$C = S_{01} - S_1 \left( \frac{S_{02} - S_{01}}{S_2 - S_1} \right), \quad (V.12)$$

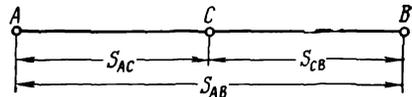


Рис. 4. К определению постоянного слагаемого  $C$

где  $S_{01}$ ;  $S_{02}$  — эталонное значение интервала базиса;  $S_1$ ;  $S_2$  — измеренное значение.

Интервалы  $S_1$  и  $S_2$  должны по возможности представлять крайние точки рабочего диапазона измерений, например, для дальномера ДНР-5 — 20 м и 120 м. Измерения проводят в прямом и обратном направлениях по двум сторонам рейки, в обработку берут средние значения измеренной величины.

Значение постоянного слагаемого можно получить по измерениям из середины линии  $AB$ , в этом случае  $C$  получают по формуле

$$C = K(S_{AB} - S_{CB} - S_{AC}). \quad (V.13)$$

Измерение отрезков  $AB$ ,  $AC$  и  $CB$  (рис. 4) проводят последовательно в прямом и обратном направлениях, при этом расстояние  $AB$  выбирается не более 60 м.

Постоянное дальномера можно получить непосредственно измерением отрезков на рейке. При этом способе применяют формулу для ДНР-5:

$$C = q + 84 + (A - A_0) \cdot 100, \quad (V.14)$$

где  $q$  — расстояние от вершины параллактического угла до вертикальной оси вращения прибора;  $A_0$  — номинальное значение интервала между нулевым штрихом нониуса и штрихом рейки;  $A$  — фактическое значение интервала.

Пример определения коэффициента дальномера приведен в табл. 39.

Кроме вышеописанных способов определения  $K$  и  $C$  для дальномеров с постоянным углом используется ряд способов совместного определения постоянных. Для реализации одного из них выполняют измерения на эталонном базисе, который должен отвечать требованиям, указанным в табл. 40. При этом один и тот же ряд измерений используется для определения обеих постоянных.

Обработка результатов измерений основана на решении уравнений погрешностей вида

$$KL_i + C - S_{0i} = v_i \quad (V.15)$$

по методу наименьших квадратов под условием  $\{v_i v_i\} = \min$ .

Дальномер ДНР-5.  $T_H = 19,0 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_K = 19,0 \text{ }^\circ\text{C}$ .  
 Наблюдатель 1: Петров И. И. Наблюдатель 2: Кузьмин А. В.

| Дата и условия  | Эталон | Измеренное |        | Коэффициент |         | $\nu$ , мм |     |
|---|--------|------------|--------|-------------|---------|------------|-----|
|   |        | 1          | 2      | 1           | 2       | 1          | 2   |
| 21. 07. 78 г.   | 23,949 | 23,962     | 23,944 | 99,946      | 100,021 | -39        | +34 |
| Переменная об-<br>лачность, види-<br>мость удовлетво-<br>рительная, изо-<br>бражение спо-<br>койное | 47,929 | 47,932     | 47,934 | 994         | 99,990  | +9         | +3  |
|   | 47,929 | 47,946     | 910    | 965         | 100,040 | -21        | +53 |
|   | 47,976 | 47,966     | 47,979 | 100,021     | 99,996  | +36        | +9  |
|   | 47,976 | 47,970     | 976    | 013         | 100,000 | +28        | +13 |
|   | 71,878 | 71,878     | 71,890 | 000         | 99,983  | +15        | -4  |
|   | 95,767 | 95,764     | 95,762 | 100,003     | 100,005 | +18        | +18 |

|         |         |         |         |        |     |    |
|---------|---------|---------|---------|--------|-----|----|
| 119,718 | 119,716 | 119,722 | 100,002 | 99,997 | +17 | +9 |
| 119,718 | 119,729 | 119,738 | 99,991  | 99,983 | +6  | -4 |

$K_{\text{ср}} \dots 99,965 \quad 99,987.$

Средняя квадратическая погрешность одного определения  $K \ m_K = 36,8 \cdot 10^{-3}$ .

Средняя квадратическая погрешность определения среднего значения  $K$ :  
 $M_K = 6,7 \cdot 10^{-3}$ ;  $M_K/K = 1:16\ 000$ .

При этом

$$K = \frac{[lB]}{[ll]}, \quad (\text{V.16})$$

$$C = \frac{[S_0]}{n} - \frac{[L]}{n} K, \quad (\text{V.17})$$

где

$$B_i = S_{0i} - \frac{[S_{0i}]}{n},$$

$$l_i = L_i - \frac{[L_i]}{n}.$$

Оценку точности проводят по формулам:

$$M_K = \frac{m_1}{\sqrt{P_K}}; \quad M_C = \frac{m_1}{\sqrt{P_C}}, \quad (\text{V.18})$$

где

$$m_1 = \sqrt{\frac{[v]}{n-2}}; \quad [v] = [BB] - K [Bl],$$

$$P_K = [ll]; \quad P_C = P_K \frac{n}{[LL]} = \frac{P_K n}{[ll] + \frac{1}{n} [L]^2}.$$

При определении средней квадратической погрешности измерения расстояний необходимо измерять не менее шести интервалов базиса во всем рабочем диапазоне дальномера. Каждый интервал базиса измеряют по крайней мере шесть раз в прямом и обратном направлениях. Наблюдения необходимо выполнять при спокойном отчетливом изображении рейки, скорости ветра не более 3—4 м/с и отсутствии осадков. Перед началом измерений должны быть определены постоянные дальномера и выполнена проверка прибора и реек.

Эталонные базисы (или полевые компараторы) должны иметь уклон не более 2—3°, а также должны отвечать следующим требованиям (см. табл. 40).

Таблица 40

| Тип дальномера | Точность эталонного базиса и его интервалов | Длина, м |
|----------------|---|----------|
| Д-2            | 1:30 000                                    | 40—400   |
| ДНР-5          | 1:15 000                                    | 20—120   |
| ДН-8           | 1:10 000                                    | 50—700   |

Интервалы внутри рабочего диапазона дальномера выбираются с учетом его практического использования.

За измеренное расстояние на каждом интервале принимают среднее арифметическое значение из нескольких приемов.

Среднюю квадратическую погрешность измерения интервала базиса  $m_S$  вычисляют по формуле

$$m_S = \sqrt{\frac{[\Delta_S^2]}{n}}, \quad (V.19)$$

где  $\Delta_S = S_n - S_0$ ;  $S_n$  — измеренная длина в метрах;  $S_0$  — эталонная длина в метрах;  $n$  — число измерений интервала.

Полученную погрешность измерения приводят к погрешности измерения расстояния, равного 100 м, по формуле

$$m_{100} = \sqrt{\frac{\sum_1^k \left(m_S \frac{100}{S}\right)^2}{k}}, \quad (V.20)$$

где  $S$  — эталонное значение длины базиса в метрах;  $k$  — число интервалов базиса.

Наблюдатель: Кузьмин А. И.  $C = 0,12$ ;  $\beta_k = 145,79$ ;  $K = 8370$ .

Дальномер: Д = 2 №140949. Рейка горизонтальная.

*А. Вычисление средней квадратической погрешности интервала*

| $S_0$ | $\alpha$ | $\beta'$ | $\beta''$ | $\beta_1$ | $\beta_2$ | $N$ | $S'$  | $\delta_{s\alpha}$ | $S_H$ |
|-------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----|-------|--------------------|-------|
| 71,96 | -0,16    | -29,26   | -30,44    | 116,53    | 116,50    | 1   | 71,83 | 0                  | 71,95 |
|       | -0,10    | -29,28   | -30,46    | 116,51    | 116,48    | 1   | 71,85 | 0                  | 71,96 |
| ..... |          |          |           |           |           |     |       |                    |       |
| 71,96 | 0,55     | -29,25   | -30,56    | 116,54    | 116,38    | 1   | 71,26 | -0,03              | 71,95 |
|       | 0,19     | -29,30   | -30,44    | 116,49    | 116,50    | 1   | 71,84 | 0                  | 71,96 |

На основании формулы (V.19)  $[\Delta_S^2] = 30$ .

Средняя квадратическая погрешность измерения интервала  $m_S = 2,0$  см.

*Б. Вычисление средней квадратической погрешности, приведенной к 100 м.*

| Длина измеренного интервала, м | $m_S$ , см | $m_S \frac{100}{S}$ , см |
|--------------------------------|------------|--------------------------|
| 24                             | 0,7        | 2,9                      |
| 48                             | 1,0        | 2,1                      |
| 72                             | 2,0        | 2,2                      |
| 96                             | 0,9        | 0,9                      |
| 140                            | 5,6        | 3,9                      |
| 170                            | 3,2        | 1,9                      |

Средняя квадратическая погрешность, приведенная к 100 м:  $m_{100} = 2,5$  см.

Погрешность, вычисленная по формуле (V.20), не должна превышать значений, указанных в табл. 36.

Пример определения средней квадратической погрешности измерения расстояния дальномером приведен в табл. 41.

*Определение стабильности положения насадки на зрительной трубе прибора при повторных ее закреплениях.* При повторных закреплениях насадки на зрительную трубу геодезического прибора допускаются изменения отсчетов только в пределах, не ухудшающих среднюю квадратическую погрешность измерения насадкой.

Проверку следует проводить многократным измерением по рейке, удаленной от дальномера на 70—100 м. Наблюдения должны проводиться при отсутствии осадков, ветра, резких колебаний температур и при спокойном или слегка колеблющемся изображении, кроме того, эталонный базис должен располагаться на линии наименьшего уклона (2—3°). Число серий

наблюдений должно быть не менее 10, причем каждая серия должна состоять из шести отсчетов по дальномеру. При переходе от одной серии измерений к другой необходимо снять и повторно закрепить насадку на трубе.

По результатам наблюдений вычисляют эмпирические дисперсии  $D$  по формулам:

$$D_1^2 = \frac{n}{k-1} \sum_{i=1}^k (\bar{b}_i - \bar{b})^2; \quad (\text{V.21})$$

$$D_2^2 = \frac{1}{k(n-1)} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (b_{ij} - \bar{b}_i)^2,$$

где  $k$  — число серий, равное 10;  $n$  — число отсчетов, равное 6;  $b_{ij}$  —  $j$ -й отсчет по дальномеру в  $i$ -й серии;  $\bar{b}_i$  — среднее из отсчетов  $i$ -й серии;  $\bar{b}$  — общее среднее.

Затем вычисляют параметр распределения Фишера по формуле

$$F = \frac{D_1^2}{D_2^2},$$

который сравнивают при уровне  $q=5\%$  значимости с теоретическим распределением  $F_q$ , равным при указанных условиях испытаний 2,07. Условие поверки считается выполненным, если  $F \leq F_q$ .

В лабораторных условиях поверка выполняется путем измерения постоянства параллактического угла дальномером с помощью коллиматора, автоколлиматора АК-05, теодолита типа Т2 или равноценных по точности приборов.

*Определение цены деления (базы) рейки* выполняют ее компарированием с помощью штриховой меры IV класса по ГОСТ 12069—66. Компарирование проводится при нормальных условиях эксплуатации. Число приемов измерения при компарировании для дальномеров должно быть не менее трех. При переходе от одного приема к другому штриховую меру необходимо смещать для изменения первоначальных отсчетов.

При выполнении поверки следует придерживаться методики компарирования, изложенной в ГОСТ 15096—69.

У дальномеров Д-2 и ДН-8 проверяют равенство одноименных баз пары реек.

Пример определения цены деления рейки дальномером приведен в табл. 42.

*Определение цены деления отсчетного устройства.* В дальномерам Д-2 и ДН-8 видимая величина одного деления дальномерной шкалы должна быть равна десяти делениям шкалы

Дальномер: ДНР-5.

Рейка: № 120970.

Компарирование выполнялось контрольной линейкой № 456.

| № рейки               | Цена деления,<br>мм | Номинальное<br>значение,<br>мм | Измеренная<br>величина,<br>мм | Максимальные<br>погрешности<br>нанесения штри-<br>хов, мм |
|-----------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| <i>Основная шкала</i> |                     |                                |                               |   |
| 1                     | 20                  | 21,20                          | 21,2017                       | +0,06<br>-0,10  |
|                       | 30                  | 21,00                          | 21,0029                       | +0,12<br>-0,11  |
| 2                     | 20                  | 21,20                          | 21,2004                       | +0,12<br>-0,10  |
|                       | 30                  | 21,00                          | 21,0006                       | +0,12<br>-0,14  |

микроскопа. Невыполнение этого условия приводит к появлению рена отсчетного устройства.

Проверку следует проводить по всей длине дальномерной шкалы. Если рен отсчетной системы больше чем 0,1 деления шкалы микроскопа, его необходимо уменьшить или устранить путем подвижки линзы объектива отсчетной системы.

В дальномере ДНР-5 эта проверка выполняется сравнением общей длины изображения шкалы нониуса с длиной соответствующего интервала основной шкалы дальномерной рейки. Проверку проводят не менее шести раз на разных частях дальномерной рейки. За окончательный результат берут среднее арифметическое значение из всех разностей.

## § 21. ПОВЕРКА РУЛЕТОК И ЗЕМЛЕРОЙНЫХ ЛЕНТ

### Краткий обзор применяемых рулеток и землемерных лент

Выпускаемые в настоящее время измерительные металлические рулетки (ГОСТ 7502—80) в зависимости от их конструктивных особенностей делятся на несколько типов (табл. 43).

Перечисленные в табл. 43 рулетки относятся к рабочим измерительным средствам, которые применяются в качестве мер длины для непосредственных измерений длин и расстояний в различных областях народного хозяйства.

По точности нанесения шкал измерительные рабочие рулетки делятся на 1, 2 и 3-й классы.

| Наименование                         | Тип рулетки                            |
|--------------------------------------|--|
| Рулетки самосвертывающиеся кнопочные | РСК-1, РСК-2                           |
| Рулетки желобчатые                   | РЖ-1, РЖ-2                             |
| Рулетки стальные (простые)           | РС-2, РС-5, РС-10, РС-20, РС-30, РС-40 |
| Рулетки на крестовине                | РК-50, РК-75, РК-100                   |
| Рулетки горные                       | РГ-20, РГ-30, РГ-50                    |
| Рулетки универсальные с грузом       | РУГ-10, РУГ-20, РУГ-30, РУГ-50         |
| Рулетки горные желобчатые            | РГЖ-20, РГЖ-30, РГЖ-40                 |

Примечание Цифра в обозначении типа указывает номинальную длину шкалы рулетки в метрах.

Для линейных измерений при топографо-геодезических и инженерно-строительных работах в настоящее время выпускается землемерная лента типа ЛЗ-20. Лента изготавливается по Техническим условиям производственным объединением «Контакт».

Лента ЛЗ-20 представляет собой стальную полосу шириной 15 мм, на поверхности которой нанесена штриховая шкала, проделаны отверстия, укреплены шайбы и пластины.

### Содержание и порядок выполнения поверочных работ для рулеток

Поверочные работы и применяемые методы и средства проверки металлических измерительных рулеток приведены в табл. 44.

Т а б л и ц а 44

| № п. п. | Содержание поверочных работ  | Методы и средства проверки   | Класс, разряд рулетки   |
|---------|--|--|---|
| 1       | Проверка внешнего вида и технического состояния                    | Визуальный осмотр и опробование  | 1-й, 2-й, 3-й   |
| 2       | Проверка общей длины рулетки и длины отдельных интервалов ее шкалы | На механическом компараторе с помощью образцовой ленты 2-го разряда или образцового штрихового метра 1-го разряда<br>На механическом компараторе с помощью образцовой ленты 3-го разряда | Образцовые 3-го разряда, рабочие 1-го класса<br>Рабочие 2-го и 3-го классов |

Примечание. Допускается применение других измерительных средств проверки со-ответствующей точности, прошедших метрологическую аттестацию государственной метрологической службой.

*Проверку внешнего вида и технического состояния рулеток* проводят путем визуального осмотра и опробования.

При визуальном осмотре устанавливают: отсутствие дефектов, ухудшающих внешний вид рулетки и затрудняющих снятие отсчетов (рабочие поверхности рулеток должны быть чистыми, без следов ржавчины, коррозии, пятен и царапин); соответствие шкал и подписей делений типу рулетки; качество нанесения штрихов и подписей (штрихи и подписи должны хорошо читаться); прямолинейность шкалы.

При проведении опробования проверяют качество сборки и взаимодействия частей.

Проверка длины рулетки проводится в соответствии с локальной поверочной схемой (ЛПС), которая является частью «Общесоюзной поверочной схемы для средств измерений» (ГОСТ 8.020—75).

ЛПС (рис. 5) устанавливает порядок передачи единицы длины от рабочего эталона через образцовые меры к измерительным рулеткам — рабочим средствам измерений длины и расстояний в геодезическом производстве.

В ЛПС на рулетки в качестве рабочего эталона и образцовой меры 1-го разряда, как и в ЛПС для нивелирных реек, используют трехметровый инварный жезл и образцовую линейку длиной 1 м.

В качестве образцовой меры 2-го разряда в ЛПС для рулеток применяют образцовые ленты длиной 20 м, обеспечивающие передачу длины к образцовой мере 3-го разряда и к измерительной рулетке 1-го класса с пределом допускаемого значения погрешности  $\Delta_g = 0,04$  мм.

В качестве образцовой меры 3-го разряда в ЛПС используют образцовые ленты длиной от 10 до 50 м, обеспечивающие передачу длины к металлическим измерительным рулеткам 2-го и 3-го классов с пределом допускаемого значения погрешности  $\Delta_g = 0,1 \div 0,5$  мм.

Метрологическая аттестация образцовых мер выполняется методом сличения с помощью оптико-механического компаратора в сроки, указанные в паспорте на меры, но не реже одного раза в два года.

Измерительную рулетку 1-го класса поверяют на механическом компараторе, представляющем собой узкий горизонтальный стол, с помощью образцовой ленты 2-го разряда или, при ее отсутствии, с помощью образцового штрихового метра 1-го разряда. Для этого при помощи лупы общую длину поверяемой рулетки и ее отдельных подразделений сравнивают с общей длиной и соответствующими подразделениями образцовой меры.

Проверку проводят двумя приемами измерений два наблюдателя. Расхождение между результатами двух приемов не должно превышать 0,1 мм. За окончательный результат принимают

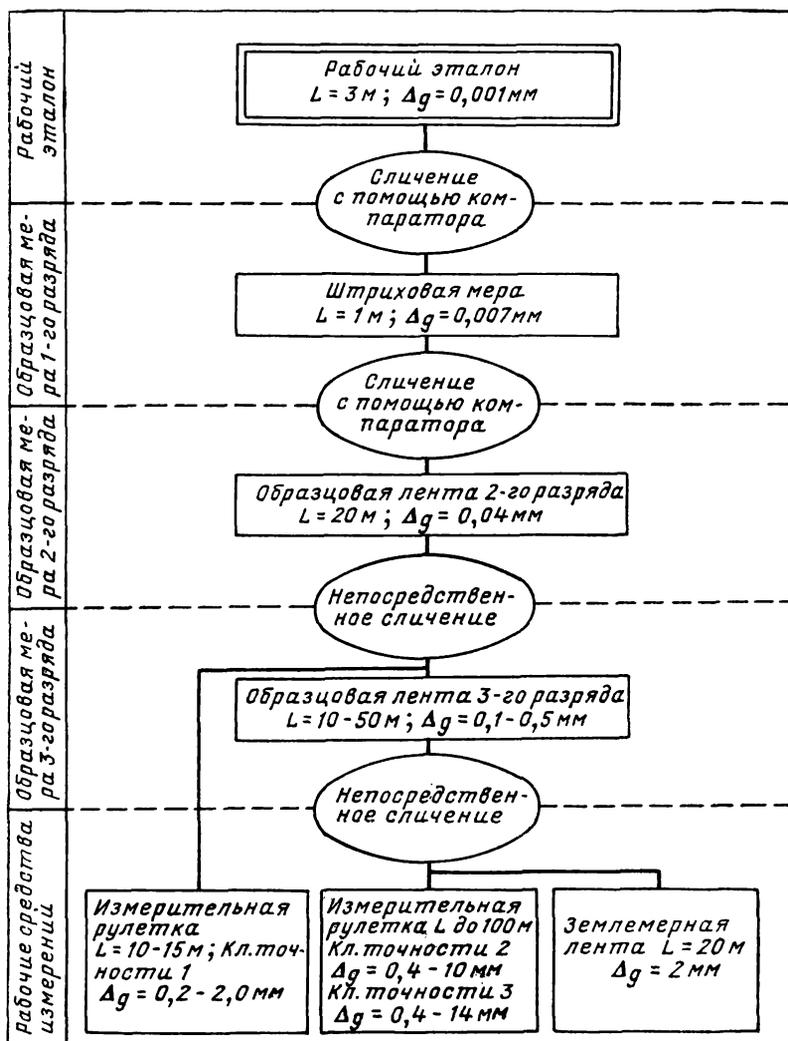


Рис. 5. Локальная поверочная схема для рулеток и лент

среднее арифметическое из двух приемов, округленное до 0,1 мм. При вычислении учитывают поправки на общую длину и на отдельные подразделения образцовой ленты 2-го разряда.

При проверке по образцовой ленте 2-го разряда, изготовленной из инвара, необходимо в результате поверки внести поправку за разность температурных коэффициентов расширения металла.

Поверку рулеток по образцовому метру 1-го разряда проводят по частям путем сравнения каждого последующего метрового интервала рулетки с образцовым метром. При этом отклонение общей длины поверяемой рулетки находят из алгебраической суммы отклонений всех отдельных метровых интервалов рулетки.

Измерительные рулетки 2-го и 3-го классов поверяют по образцовой ленте 3-го разряда на механическом компараторе по той же методике измерения, которая описана при поверке рабочей рулетки 1-го класса.

### Содержание и порядок выполнения поверочных работ для землемерных лент

Содержание поверочных работ для землемерной ленты типа ЛЗ-20 и применяемые при этом методы и средства поверки приведены в табл. 45.

*Поверку внешнего вида* осуществляют визуальным осмотром, при этом устанавливают: отсутствие на поверхности ленты следов коррозии, расслоений, царапин, затрудняющих взятие отсчета; цельность и прямолинейность ленты; правильность нанесения штрихов и других обозначений ленты.

*Поверку качества сборки* проводят опробованием, при этом проверяют: легкость и плавность свертывания и развертывания ленты (при этом не должно быть скручивания и заедания); прочность закрепления и безотказность действия деталей ленты (фиксирующих устройств, ограничителей, рукояток, колец, крепежных винтов и т. п.); надежность фиксации ленты на кольце в свернутом состоянии.

*Поверку общей длины* землемерной ленты выполняют путем непосредственного сличения поверяемой ленты с образцовой лентой 3-го разряда на механическом компараторе по методике, описанной для поверки измерительных рулеток 2-го и 3-го классов.

Согласно ЛПС (см. рис. 5) предел допускаемого значения

Т а б л и ц а 45

| №<br>п. п. | Содержание поверочных работ | Методы и средства поверки  |
|------------|-----------------------------|--|
| 1          | Поверка внешнего вида       | Визуальный осмотр  |
| 2          | Поверка качества сборки     | Опробование  |
| 3          | Поверка общей длины ленты   | На механическом компараторе с помощью образцовой ленты 3-го разряда; на полевом базисе |

погрешности общей длины ленты ДЗ-20 на плоскости при натяжении 100 Н (10 кг) и температуре 20° С не должен превышать 2 мм.

## § 22. ПОВЕРКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИН ЛИНИЙ КОРТКОБАЗИСНЫМ ПАРАЛЛАКТИЧЕСКИМ СПОСОБОМ

### Состав и краткая характеристика оборудования

Принцип измерения расстояний короткобазисным параллактическим способом хорошо известен и получил в геодезии широкое распространение. Как известно, определяемое горизонтальное проложение  $S$  при параллактических измерениях находят по формуле

$$S = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}, \quad (\text{V.22})$$

где  $b$  — база рейки;  $\gamma$  — параллактический угол.

Для короткобазисных параллактических измерений обычно используют двухметровую (реже трехметровую) базисную рейку и точный теодолит типа Т2 или ему равноценные приборы. О точных теодолитах были приведены сведения ранее в гл. III. Рассмотрим другие элементы оборудования, необходимые при короткобазисном параллактическом способе измерения линий.

Базисная рейка представляет собой легкую металлическую трубку (или соединенные накладной гайкой две трубки), на концах которой на расстоянии 2 м одна от другой закреплены две визирные марки. У большинства реек в средней части устанавливают еще одну марку — центральную, которую используют при измерении углов.

Среди отечественных конструкций базисных реек известны жезлы А. С. Филоненко и С. Н. Веселовского [42].

Базисный жезл конструкции А. С. Филоненко представляет собой деревянную рейку с натянутой вдоль нее инварной ленточкой. Постоянство натяжения ленточки обеспечивается динамометром, также закрепленным на корпусе рейки. На рейке прикреплены цилиндрический уровень, визир и термометр. Длина базы рейки между двумя крайними штрихами составляет 3 м. Рейку укрепляют на двух штативах в специальных держателях.

Базисный жезл конструкции С. Н. Веселовского содержит тонкостенную дюралюминиевую трубу, внутри которой натянута инварная проволока, несущая три марки — центральную и две концевые. Натяжение проволоки обеспечивается регулировочным винтом и динамометром. Длина базы рейки 3 м. На корпусе трубы укреплены визир, цилиндрический уровень с ценой деления 30"/2 мм и термометр.

Зарубежные фирмы выпускают рейки двухметровой длины. Как правило, они поставляются в комплекте с теодолитами 2-секундной точности.

Некоторые конструкции реек предусматривают температурную компенсацию изменений интервала между марками. Так, в рейке типа «Бала» Народного предприятия «Карл Цейсс, Йена» (ГДР) постоянство интервала между концевыми марками обеспечивается двумя инварными стержнями, упирающимися в промежуточную деталь, продольные деформации которой устраняются биметаллическим компенсатором [10].

Базисная рейка МОМ (ВНР) имеет два инварных стержня, навинчиваемых на среднюю трубку.

Базисная рейка фирмы «Файнтехник» (ФРГ) состоит из двух алюминиевых трубок, через шарнир соединенных с горизонтальной осью. Внутри одной из трубок натянута стальная проволока, связанная с компенсационным рычагом, который при изменении температуры перемещает марку на соответствующий интервал. Подбором рычажной системы можно добиться того, что база рейки будет оставаться практически неизменной при значительных колебаниях температуры.

Из выражения (V.22) следует, что средняя квадратическая погрешность измерения расстояния  $S$  в относительной мере будет

$$\left(\frac{m_S}{S}\right)^2 = \frac{S^2}{b^2} \left(\frac{m_\gamma}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{m_b}{b}\right)^2, \quad (\text{V.23})$$

где  $m_\gamma$  — погрешность измерения параллактического угла;  $m_b$  — погрешность компарирования базы рейки.

Поскольку погрешность определения расстояния  $S$  возрастает пропорционально квадрату расстояния, способ короткобазисных параллактических измерений на практике обычно используют в диапазоне длин линий не более 100—120 м. В этом случае можно рассчитывать на точность измерений порядка 1:5000. Линии длиной свыше 120 м измеряют построением вспомогательного базиса.

### Поверка базисной рейки

В табл. 46 приведены поверки базисных реек.

*Проверку внешнего состояния* базисных реек осуществляют визуальным осмотром. При этом устанавливают: состояние внешней отделки и маркировки рейки; наличие уровня и визира на рейке; наличие юстировочных приспособлений и соединительных муфт и гаек рейки; сохранность оформления визирных марок.

*Проверка взаимодействия подвижных узлов и работоспособности рейки.* Взаимодействие подвижных узлов и частей рейки проверяют опробованием.

| № п.п. | Содержание поверочных работ   | Методы и средства поверки   |
|--------|---|---|
| 1      | Проверка внешнего состояния   | Визуальный осмотр   |
| 2      | Проверка взаимодействия узлов и работоспособности рейки             | Опробование   |
| 3      | Определение интервала между концевыми марками рейки                 | Измерение контрольной линии в поле<br>Измерение длины базы на оптико-механическом компараторе |
| 4      | Определение эксцентриситета базисной рейки                          | То же   |
| 5      | Определение средней квадратической погрешности измерения длин линий | Измерения ряда контрольных линий базиса   |

Проверка работоспособности и опробование базисной рейки сводятся к следующим основным операциям: оценивают надежность соединения и фиксации частей рейки; проверяют легкость и плавность вращения рейки вокруг вертикальной оси; проверяют работоспособность горизонтальной оси, уровня и визира рейки; проверяют электроосвещение (у реек с подсветкой марок).

*Определение интервала между концевыми марками.* Известны два основных способа определения рабочей длины рейки: лабораторный и полевой.

Лабораторный способ основан на определении интервала между концевыми марками рейки оптико-механическим компаратором или иной высокоточной мерой длины. Методика компарирования базисных реек аналогична методике, описанной для инварных нивелирных реек. Длину базисной рейки можно определить на компараторе с погрешностью не более 10 мкм.

При поверке базисных реек в полевых условиях применяют способы Кобольда, Оксенхирта и их модификации [10].

Схема проведения поверки по Кобольду приведена на рис. 6.

Длину контрольной линии  $S$  принимают около 10 м, расстояние  $DM = S'$  вспомогательной линии  $DE$  от контрольной линии  $AF$  выбирают равным 6,37 м (для удобства последующих вычислений). Длину вспомогательной линии  $DE$  измеряют инварной лентой или штриховой мерой.

В точке  $A$  теодолитом типа Т1 или Т2 измеряют углы  $\delta_1$  и  $\gamma$ , а в точке  $F$  — угол  $\delta_2$ . Базу рейки  $b$  вычисляют по формуле

$$b = 2S \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}, \quad (\text{V.24})$$

где

$$S = L_0 + \frac{S'}{\rho} (90^\circ - \delta_1 + \delta_2), \quad (\rho = 206\,265''). \quad (\text{V.25})$$

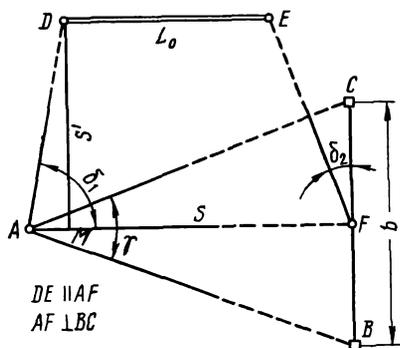


Рис. 6. Схема компарирования базисной рейки по Кобольду

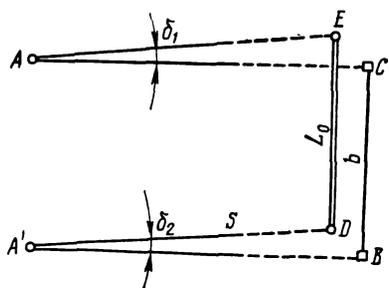


Рис. 7. Схема компарирования рейки по Оксенхирту

При проведении поверки по способу Оксенхирта (рис. 7) рядом с базисной рейкой  $BC$  располагают образцовый жезл  $DE$  так, чтобы расстояние в точках  $A$  и  $A'$  равнялось 6,37 м. Расстояние  $DE$  может быть измерено также инварной лентой или образцовой штриховой мерой. Точки  $A$  и  $A'$  должны быть расположены одна от другой на расстоянии около 2 м.

Поверка сводится к измерению теодолитом (или одновременно двумя теодолитами) углов  $\delta_1$  и  $\delta_2$  в точках  $A$  и  $A'$ . Базу рейки  $b$  определяют по формуле

$$b = L_0 + \frac{S}{\rho} (\delta_2 - \delta_1). \quad (V.26)$$

Вместо образцового жезла Хагеманн [10] предложил использовать компарированную инварную рейку, которую устанавливают горизонтально по линии  $DE$ . Погрешность компарирования базисной рейки по Хагеманну при  $b=2$  м и  $m_v=1''$  составляет около 0,02 мм.

*Определение эксцентриситета базисной рейки.* Эксцентриситет рейки возникает вследствие несовпадения вертикальной плоскости, проходящей через концевые марки, с осью вращения марки.

Как следует из рис. 8, при наличии у рейки эксцентриситета  $\epsilon_b$  формула для вычисления расстояния, полученного параллактическим способом, примет вид

$$S = \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2} + \epsilon_b. \quad (V.27)$$

Из формулы (V.27) следует, что при известном  $S$ , полученном на компараторе, значении  $b$  и измеренном угле  $\gamma$  можно найти эксцентриситет

$$\varepsilon_b = S - \frac{b}{2} \operatorname{ctg} \frac{\gamma}{2}. \quad (\text{V.28})$$

На практике формулой (V.28) пользуются редко, так как необходимо предварительно знать длину базы  $b$ .

Более широкое распространение получил способ Кобольда. В точках  $A$  и  $A'$  (см. рис. 8) теодолитом измеряют параллактические углы  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и  $\gamma_3$  при последовательной установке базисной рейки в точках  $A$  и  $F$ . Интервал  $A'F = S_2$  должен быть предварительно измерен инвариантной лентой или иной высокоточной мерой с погрешностью не более 0,1—0,2 мм. Интервал  $AA' = S_1$  не измеряют.

При разбивке этой контрольной сети желательно, чтобы точка  $A'$  отстояла от точки  $A$  на расстоянии наименьшего визирования зрительной трубы теодолита (1,5—2 м), а точка  $F$  от точки  $A'$  — на расстоянии 3—7 м.

Эксцентриситет определяют из выражения

$$\varepsilon_b = S_2 \left( 1 - \frac{\operatorname{ctg} \frac{\gamma_3}{2}}{\operatorname{ctg} \frac{\gamma_3}{2} - \operatorname{ctg} \frac{\gamma_1}{2}} \right). \quad (\text{V.29})$$

Используя выполненные измерения, можно также найти и длину рейки

$$b = 2(S_2 - \varepsilon_b) \operatorname{tg} \frac{\gamma_2}{2}. \quad (\text{V.30})$$

Из формул (V.29) и (V.30) при условии равнозначности измерений углов  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  и  $\gamma_3$  следует, что

$$m_{\varepsilon_b}^2 = \frac{m_\gamma^2}{4\rho^2} (S_1^4 + S_2^4 + S_3^4) 10^6 \quad (\text{V.31})$$

и

$$m_b^2 = \frac{4}{S_2^2} (m_S^2 + m_{\varepsilon_b}^2) + S_2^2 \frac{m_\gamma^2}{\rho^2} 10^6, \quad (\text{V.32})$$

где  $S_3 = S_1 + S_2$ .

При  $m_\gamma = 1''$ ,  $S_2 = 4$  м и  $m_S = 0,10$  мм имеем  $m_{\varepsilon_b} \approx 0,10$  мм,  $\frac{m_b}{b} = 1 : 28\,000$ .

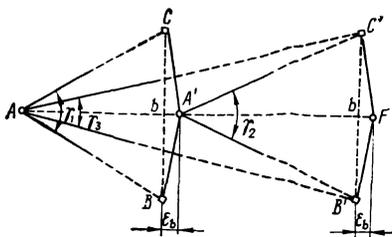


Рис. 8. Определение эксцентриситета по Кобольду

*Определение средней квадратической погрешности измерения расстояний короткобазисным параллактическим способом имеет целью получение общей погрешности применяемого оборудования.*

Для этого измеряют четыре—шесть линий в диапазоне 120 м (рекомендуемые интервалы 30, 50, 70, 90, 100, 120 м). Измерения параллактических углов теодолитом выполняют четырьмя полуприемами с перестановками лимба на  $45^\circ$  и шкалы оптического микрометра на  $\mu/8$ . При необходимости в результаты вычислений вводят поправки за температуру окружающей среды и эксцентриситет.

Оценку точности результатов измерений проводят по методике, принятой для светодальномеров [формула (V.4)].

Исходя из формулы (V.23), с учетом известных из исследований значений  $m_b$  и  $m_v$ , можно провести поэлементную поверку комплекта для параллактических измерений длин линий.

**ПОВЕРКА ПРИБОРОВ ДЛЯ СЪЕМОЧНЫХ РАБОТ****§ 23. КРАТКИЙ ОБЗОР ПРИБОРОВ  
ДЛЯ НАЗЕМНЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

К приборам, предназначенным для съемочных работ, относятся тахеометры, кипрегели и, отчасти, буссоли.

Современный тахеометр представляет собой геодезический прибор, содержащий угломерную часть и дальномерно-высотомерное устройство. Угломерная часть, как и в теодолите, служит для измерения горизонтальных и вертикальных углов. Дальномерно-высотомерные устройства, содержащие преобразователи какого-либо типа, позволяют определять горизонтальные проложения и превышения по рейке без вспомогательных редуцированных операций. Основное распространение в мировой практике получили преобразователи оптико-механического типа. Такие преобразователи выполняются в виде оптического компенсатора в системе с двойным изображением или в виде номограмм, изображение которых введено в поле зрения зрительной трубы тахеометра. Принцип работы таких преобразователей подробно изложен в работах [10, 27].

В последние годы в разных странах создаются электронные тахеометры, особенностью которых является сочетание угломерного блока, содержащего датчик типа «угол — код», с дальномерным блоком, выполненным в виде квантового светодальномера. Результаты измерений в этих тахеометрах автоматически регистрируются на перфоленте или световом табло.

В соответствии с ГОСТ 10812—74 отечественная промышленность ориентирована на выпуск четырех типов тахеометров:

ТД — тахеометр с авторедуцированным дальномером двойного изображения для определения превышений и горизонтальных проложений по горизонтальной рейке;

ТВ — тахеометр внутривизный для определения горизонтальных проложений и превышений по измеренному углу наклона при наведении зрительной трубы на местный предмет или специальную марку;

ТН — тахеометр номограммный для определения горизонтальных проложений и превышений с помощью номограмм, видимых в поле зрения трубы, и вертикальной рейки;

ТЭ — тахеометр электрооптический для измерения расстояний, горизонтальных и вертикальных углов с автоматической регистрацией результатов измерений.

Т а б л и ц а 47

| Характеристики  | Нормы по типам |     |     |     |
|---|----------------|-----|-----|-----|
|   | ТЭ             | ТД  | ТН  | ТВ  |
| Средняя квадратическая погрешность измерения угла, (″), не более:   |                |     |     |     |
| горизонтального   | 3              | 8   | 8   | 45  |
| вертикального   | 5              | 12  | 12  | 60  |
| Средняя квадратическая погрешность измерения расстояний на 100 м, см, не более                                  | 2              | 4   | 20  | 15  |
| Средняя квадратическая погрешность определения превышений по рейке, удаленной от прибора на 100 м, см, не более |                |     |     |     |
| при углах наклона:  |                |     |     |     |
| от 0 до 10°   | —              | 5   | 5   | —   |
| от 10 до 20°  | —              | 5   | 8   | —   |
| от 20 до 30°  | —              | 6   | 12  | —   |
| от 30 до 40°  | —              | 8   | 20  | —   |
| Измеряемое расстояние, м:   |                |     |     |     |
| минимальное   | 20             | 20  | 5   | 2   |
| максимальное  | 2000           | 180 | 350 | 180 |

В табл. 47 приведены некоторые метрологические характеристики тахеометров, установленные ГОСТ 10812—74.

Из зарубежных тахеометров широкое распространение при съемочных работах получили тахеометры моделей «Редта» и «Дальта», выпускаемые Народным предприятием «Карл Цейсс, Йена» (ГДР). По принципу действия тахеометр «Редта» соответствует тахеометру типа ТД, а тахеометр «Дальта» — тахеометру типа ТН.

Из кипрегелей отечественной промышленностью в настоящее время серийно освоен кипрегель типа КН, который заменил ранее выпускавшийся прибор КА-2. В отличие от КА-2 в кипрегеле КН номограммы распространены на все поле зрения трубы. Кроме того, в соответствии с ГОСТ 20778—75 кипрегель КН предусматривается выпускать в двух исполнениях — с уровнем и с компенсатором вместо уровня при зрительной трубе. В основе работы номограммного преобразователя в КН лежат те же принципы, что и в тахеометре ТН.

Мензула к кипрегелю КН поставляется облегченного типа. Рейки имеют выдвижную пятку.

Из зарубежных номограммных кипрегелей в нашей стране применяется МА-5 объединения МОМ (ВНР).

Основные метрологические характеристики кипрегеля КН в соответствии с требованиями ГОСТ 20778—75 приведены в табл. 48.

| Характеристики  | Нормы по ГОСТ   |
|---|-----------------|
| Средняя квадратическая погрешность измерения расстояния на 100 м, см, не более  | 20              |
| Средняя квадратическая погрешность измерения превышения на расстоянии 100 м, см, не более при коэффициенте номограммы |                 |
| $K = 10$  | 3               |
| $K = 20$  | 6               |
| $K = 100$   | 15              |
| Средняя квадратическая погрешность измерения вертикального угла из одного приема, ″, не более                         | 45              |
| Коэффициенты номограммы расстояний, $K_S$   | $100 \pm 0,2\%$ |
|   | $200 \pm 0,2\%$ |
| Коэффициенты номограммы превышений, $K_h$   | $10 \pm 0,2\%$  |
|   | $20 \pm 0,2\%$  |
|   | $100 \pm 0,2\%$ |

Из буссолой в настоящее время у нас в стране выпускаются три типа: БГ-1 буссоль геодезическая, ранее известная под шифром БС-2; БШ-1 буссоль Шмалькальдера; ОБК — ориентир-буссоль Керна.

Основными деталями буссолой всех типов являются магнитная стрелка с агатовым подпятником, шпиль, на острие которого насаживается стрелка с подпятником и лимб, с нанесенными на нем градусными делениями. Все детали заключены в корпус, изготовленный из антимагнитного материала. Для визирования на цель буссоли типов БГ и БШ снабжены диоптрами. В буссоли ОБК роль диоптров выполняют боковые грани ее корпуса, одной из которых буссоль прикладывается к начальной линии, прочерченной, например, на планшете при его ориентировании. Для измерения горизонтальных углов буссоль типа БГ снабжена дополнительным лимбом с градусными делениями и верньером. С целью предохранения сферической поверхности подпятника и острия шпиля от излишнего трения, буссоли снабжаются арретиром, который освобождает подпятник от соприкосновения с острием шпиля в нерабочем состоянии буссоли. Буссоли имеют размеры порядка 100—150 мм в диаметре. Цена деления лимба у различных буссолой от 0,5 до 1°. У буссоли БГ-1 с помощью верньеров отсчеты по лимбу можно брать с точностью до 5′. Масса различных буссолой 0,2—0,9 кг.

В настоящее время буссоли в основном используются как дополнительные принадлежности к геодезическим приборам. Как самостоятельный прибор буссоль применяют для ориентирования съемочных ходов небольшой протяженности, удаленных от опорной сети, при съемке в лесу, а также при рекогносцировочных работах.

**§ 24. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК  
ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ  
ДЛЯ КИПРЕГЕЛЕЙ**

Перечень поверочных работ для кипрегелей и применяемые при этом методы и средства проверки приведены в табл. 49.

*Проверку внешнего вида и технического состояния* проводят: визуальным осмотром. При этом устанавливают: качество отделки прибора; отсутствие механических повреждений на кожухе, оптических деталях и линейке; равномерность освещения и чистота поля зрения зрительной трубы и отсчетных систем; выявляют четкость изображения и правильность оцифровки номограммы и биссектора; устанавливают полноту комплекта и правильность маркировки.

*Работоспособность кипрегеля* проверяется опробованием. При этом устанавливают: плавность и легкость вращения подвижных частей; работоспособность фокусирующего устройства; удобство расположения шкал и уровней, а также удобство перемещения кипрегеля рукой; качество изображения, обеспечиваемое трубой и отсчетной системой; удобство укладки кипрегеля и принадлежностей в футляре; возможность переноса футляра и мензулы в упаковке на спине.

*Определение коллимационной погрешности*, вызываемой неперпендикулярностью визирной оси трубы к оси ее вращения.

Таблица 49

| №<br>п.п. | Содержание поверочных работ   | Методы и средства проверки  |
|-----------|---|---|
| 1         | Проверка внешнего вида и технического состояния   | Визуальный осмотр   |
| 2         | Оценка работоспособности прибора  | Опробование   |
| 3         | Определение коллимационной погрешности $C$  | Удаленная визирная цель   |
| 4         | Определение места нуля МО вертикального круга   | То же   |
| 5         | Определение эксцентриситета вертикального круга   | Автоколлиматоры по ГОСТ 11899—77  |
| 6         | Определение средней квадратической погрешности измерения вертикального угла одним приемом | Автоколлиматоры по ГОСТ 11899—77 или измерение эталонных вертикальных углов |
| 7         | Определение коэффициентов номограммного преобразователя:<br>номограммы расстояний $K_S$   | Полевой компаратор или высоко-точный образцовый теодолит                    |
| 8         | Определение средней квадратической погрешности измерения расстояний                       | Полевой высотный базис  |
| 9         | Определение средней квадратической погрешности измерения превышений                       | Полевой компаратор<br>Полевой высотный базис                                |

проводится наведением перекрестия нитей сетки на удаленную визирную цель при двух положениях вертикального круга. Для этого устанавливают кипрегель на планшет. Приводят планшет и кипрегель в горизонтальное положение и наводят трубу на визирную цель до совмещения ее с перекрестием нитей сетки; прочерчивают на планшете тонкую линию вдоль скошенного края линейки. Затем переводят трубу через зенит, прикладывают скошенный край линейки с противоположной стороны прочерченной линии и наблюдают в трубу. Если перекрестие нитей сетки не сместилось с наблюдаемой цели, то коллимационная погрешность отсутствует; если сместилось — величина смещения характеризует двойную величину коллимационной погрешности. Ее можно уменьшить передвижением сетки нитей исправительными винтами на половину смещения.

*Проверку кипрегеля* по п. 4—6, табл. 49 проводят так же, как это делали при проверках теодолитов с односторонним отсчетом (см. гл. III). Здесь только необходимо отметить, что измерения вертикальных углов номограммным кипрегелем проводят путем наведения на визирную цель начальной окружности номограммного преобразователя.

*Определение коэффициентов номограммного преобразователя.* Коэффициент  $K_S$  номограммы расстояний определяется из результатов измерений интервалов полевого компаратора. Длина компаратора должна быть не менее 80—100 м и не более 180 м, число интервалов — не менее 6. Предельная погрешность интервалов компаратора не должна быть более 1 : 3000. Относительная погрешность определения  $K_S$  не должна быть более 1 : 1000. Коэффициент  $K_S$  и его относительная погрешность  $\Delta K_S$  вычисляются по формулам

$$K_S = \frac{S_0}{S} K_S^0, \quad (\text{VI.1})$$

где  $S$  — интервал компаратора, измеренный кипрегелем;  $S_0$  — интервал компаратора, измеренный точными средствами;  $K_S^0$  — номинальное значение коэффициента.

$$\Delta K_S = \sqrt{\frac{[v_i]}{n(n-1)}}, \quad (\text{VI.2})$$

где  $v_i = K_S - (K_S)_{\text{ср}}$ ;  $n$  — число интервалов компаратора.

Значение  $K_S$  допускается определять коллиматорным методом. В качестве коллиматора используется высокоточный образцовый теодолит типа Т1 по ГОСТ 10529—79 или специальная установка с погрешностью измерения вертикального угла не более 1,5".

При коллиматорном методе значение  $K_S$  определяется по формуле

$$K_S = \text{ctg } \varphi, \quad (\text{VI.3})$$

Таблица 50

Дата: 15 мая 1977 г.  
 Время: 8<sup>00</sup> — 11<sup>00</sup>.  
 T = +15° С.

Кипрегель: КН № 0003.

$$K_S^0 = 100.$$

Образцовое средство: полевой компаратор

$$\frac{m_S}{S} = 2 \cdot 10^{-4}.$$

| № п.п. | S <sub>0</sub> , м | S, м   | $K_S = \frac{S_0}{S}, \%$ | $v_t = K_{S_t} - (K_S)_{cp}$ |
|--------|--------------------|--------|---------------------------|------------------------------|
| 1      | 101,22             | 101,23 | 99,99                     | -0,02                        |
| 2      | 119,34             | 119,40 | 99,95                     | -0,06                        |
| 3      | 140,41             | 140,27 | 100,05                    | +0,04                        |
| 4      | 158,64             | 158,54 | 100,06                    | +0,05                        |
| 5      | 163,12             | 162,99 | 100,08                    | +0,07                        |
| 6      | 179,85             | 179,97 | 99,93                     | -0,08                        |

n = 6.

Среднее K<sub>S</sub> = 100,01 [vv] = 0,0194.Средняя квадратическая погрешность определения K<sub>S</sub>

$$\Delta K_S = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = 0,025.$$

Относительная погрешность определения K<sub>S</sub>

$$\frac{\Delta K_S}{K_S^0} = \frac{0,025}{100} = \frac{1}{4000}.$$

где φ — угол, измеренный теодолитом при наведении на изображение начальной окружности и кривой K<sub>S</sub> номограммы.

Пример определения K<sub>S</sub> по результатам измерения интервалов полевого компаратора приведен в табл. 50.

Коэффициенты K<sub>h</sub> номограммы превышений определяются на местности по линиям с углами наклона: 3—10° — для проверки K<sub>h</sub> = 10; 10—20° — для проверки K<sub>h</sub> = 20 и 20—30° — для проверки K<sub>h</sub> = 100. Измерения можно вести с геодезического сигнала. Превышения между точками, фиксирующими концы линий, должны быть известны из геометрического нивелирования с погрешностью не более 3 мм. Число измеренных превышений для каждой кривой должно быть не менее 10. Положительные и отрицательные значения K<sub>h</sub> определяются отдельно. Относительная погрешность ΔK<sub>h</sub> определения K<sub>h</sub> не должна быть более 0,1% от номинального значения коэффициента. Коэффициент K<sub>h</sub> и его относительную погрешность ΔK<sub>h</sub> вычисляют по формулам

$$K_h = \frac{h_0}{h} K_h^0, \quad (\text{VI.4})$$

где  $h_0$ —превышение, известное из геометрического нивелирования;  $h$ —превышение, измеренное кипрегелем;  $K_h^0$ —номинальное значение коэффициента (10, 20, 100).

$$\Delta K_h = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}}, \quad (\text{VI.5})$$

где  $v_i = K_{h_i} - (K)^0_{\text{ср}}$ ;  $n$ —число измеренных превышений.

Пример определения  $K_h$  приведен в табл. 51.

Среднюю квадратическую погрешность измерения расстояний, приведенных к 100 м, определяют по результатам измерений интервалов полевого компаратора. Предельная погрешность интервалов не должна быть более 1:2000. Число интервалов компаратора в рабочем диапазоне 0—180 м должно быть не менее 8. Каждый интервал полевого компаратора

Таблица 51

Дата: 1 июня 1977 г.

Кипрегель: КН № 0003.

Время: 8<sup>00</sup>—11<sup>00</sup>.

$$K_h^0 = +10.$$

$$T = +20^\circ \text{C}.$$

Образцовое средство: полевой высотный базис,  
 $m_b = 2$  мм.

| $h_0$ , м | $i$ , м | $l$ , м | $A$ , см | $h$ , м | $K_h$  | $v = K_h - (K_h)_{\text{ср}}$ |
|-----------|---------|---------|----------|---------|--------|-------------------------------|
| 4,58      | 1,50    | 1,50    | +45,6    | 4,56    | 10,044 | +13·10 <sup>-3</sup>          |
| 4,58      | 1,54    | 1,50    | 45,3     | 4,57    | ,022   | —9                            |
| 6,20      | 1,46    | 1,50    | 61,9     | 6,15    | ,081   | +50                           |
| 6,20      | 1,50    | 1,50    | 61,8     | 6,18    | ,032   | +1                            |
| 6,50      | 1,55    | 1,50    | 64,5     | 6,50    | ,000   | —31                           |
| 6,50      | 1,51    | 1,50    | 64,6     | 6,47    | ,046   | +15                           |
| 7,40      | 1,44    | 1,50    | 74,9     | 7,38    | ,027   | —4                            |
| 7,40      | 1,52    | 1,50    | 73,6     | 7,38    | ,027   | —4                            |
| 8,00      | 1,60    | 1,60    | 80,2     | 8,02    | 9,996  | —35                           |
| 8,00      | 1,56    | 1,60    | 79,9     | 7,95    | 10,063 | +32                           |

$$n = 10.$$

$$\text{Среднее } K_h = 10,031 \quad [vv] = 6218 \cdot 10^{-6}.$$

Средняя квадратическая погрешность определения  $K_h$

$$\Delta K_h = \sqrt{\frac{[vv]}{n(n-1)}} = 0,008.$$

Рабочие формулы:

$$h = AK_h^0 l + i - l;$$

$$K_h = \frac{h_0}{h} K_h^0,$$

где  $h_0$ —превышение, известное из геометрического нивелирования;  $K_h^0$ —номинальное значение коэффициента.

должен быть измерен не менее 6 раз в различное время дня и при различных внешних условиях.

Методика измерения интервалов и формулы вычисления средней квадратической погрешности аналогичны описанным для дальномеров двойного изображения (гл. V).

Среднюю квадратическую погрешность измерения превышений на 100 м расстояния ( $\Delta h/100$  м) определяют для каждого значения коэффициента номограмм превышений по принципу определения погрешности измерения расстояний, а именно, путем сравнения измеренных превышений с соответствующими превышениями, полученными из более точных определений и принимаемыми за безошибочные.

Пример определения значения  $\Delta h/100$  м приведен в табл. 52.

Проверка реек, входящих в комплект кипрегеля, производится с помощью средств и по методике, изложенной для проверки нивелирных реек типа РН-10 (гл. IV).

Таблица 52

Дата: 30 мая 1977 г.

Кипрегель: КН № 0003.

Время: 16<sup>00</sup>—19<sup>00</sup>.

Испытуемый диапазон измерений  $\pm 10^\circ$ .

$T = +15^\circ \text{C}$ .

Образцовое средство: полевой высотный базис,  $m_h = 1,5$  мм.

| $S$ , м | $\Delta'_h$ , см | $\frac{100}{S}$ | $\Delta'_h \cdot \frac{100}{S}$ |
|---------|------------------|-----------------|---------------------------------|
| 48      | 1,4              | 2,08            | 2,91                            |
| 72      | 1,8              | 1,39            | 2,50                            |
| 96      | 2,2              | 1,04            | 2,29                            |
| 120     | 2,6              | 0,83            | 2,16                            |
| 136     | 2,6              | 0,74            | 1,92                            |
| 144     | 3,2              | 0,69            | 2,21                            |
| 168     | 3,6              | 0,60            | 2,16                            |
| 196     | 4,0              | 0,51            | 2,04                            |

$n = 8$ .

$$\Sigma \left( \Delta'_h \cdot \frac{100}{S} \right)^2 = 42,046.$$

Средняя квадратическая погрешность измерения превышения на 100 м расстояния

$$\Delta h/100 \text{ м} = \sqrt{\frac{\Sigma \left( \Delta'_h \cdot \frac{100}{S} \right)^2}{n}} = 2,3 \text{ см.}$$

Примечание. Величина  $\Delta'_h$  получена по результатам шестикратных измерений превышений на каждом интервале  $S$  по формуле

$$\Delta'_h = \sqrt{\frac{\Sigma (h-h_0)^2}{6}},$$

где  $h_0$  — превышение, известное из геометрического нивелирования.

**§ 25. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК  
ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ  
ДЛЯ ТАХЕОМЕТРОВ**

Перечень поверочных работ для тахеометров и применяемые при этом методы и средства поверки приведены в табл. 53.

*Поверку внешнего вида и технического состояния* проводят визуальным осмотром. При этом устанавливают: качество отделки прибора; отсутствие механических повреждений на кожухе и оптических деталях; равномерность освещения и чистоту поля зрения зрительной трубы и оптических систем; выявляют четкость изображения и правильность оцифровки номограмм и биссектора у тахеометра типа ТН и четкость изображения разделительной полосы в дальномерной системе у тахеометров типов ТД и ТВ; устанавливают полноту комплекта и правильность маркировки.

Т а б л и ц а 53

| № п. п. | Содержание поверочных работ  | Методы и средства поверки   | Тип тахеометра                                     |
|---------|--|---|--|
| 1       | Поверка внешнего вида и технического состояния   | Визуальный осмотр   | Все типы   |
| 2       | Оценка работоспособности прибора   | Опробование   | » »  |
| 3       | Определение места нуля МО вертикального круга и коллимационной погрешности С               | Удаленная визирная цель (марка)   | » »  |
| 4       | Определение эксцентриситета вертикального круга  | Автоколлиматоры по ГОСТ 11899—77  | » »  |
| 5       | Оценка точности работы компенсатора  | Экзаменатор с ценой деления измерительного винта не более 5" и автоколлиматор типа АК-0,25 или АК-0,5 | Тахеометры с компенсатором                         |
| 6       | Определение средней квадратической погрешности измерения горизонтального угла              | Автоколлиматоры по ГОСТ 11899—77; визирные марки или на специальной установке                         | Все типы   |
| 7       | Определение средней квадратической погрешности измерения вертикального угла                | Автоколлиматоры или образцовые высокоточные теодолиты   | » »  |
| 8       | Определение коэффициентов опико-механического преобразователя:<br>дальномера<br>высотомера | Автоколлиматор или полевой компаратор<br>Автоколлиматор или высотный полевой базис                    | ТД, ТВ, ТН <sup>в</sup><br>ТД, ТВ, ТН <sup>в</sup> |
| 9       | Определение средней квадратической погрешности измерения расстояний                        | Полевой компаратор  | Все типы   |
| 10      | Определение средней квадратической погрешности измерения превышений                        | Полевой высотный базис  | » »  |

*Оценку работоспособности прибора* осуществляют опробованием. При этом устанавливают: плавность и легкость вращения подвижных частей; работоспособность фокусирующего устройства; диоптрийность окуляра; удобство расположения шкал и уровней; качество изображения, обеспечиваемое трубой и отсчетной системой; работоспособность тахеометра типа ТЭ после подключения его к источнику питания.

Осмотр и опробование реек, входящих в комплект тахеометров, проводится по методике, изложенной для нивелирных реек типа РН-10 (гл. IV).

Как было сказано выше, *угломерная часть тахеометров* в принципе не отличается от теодолитов и в большинстве случаев тахеометры изготавливаются на базе теодолитов. Поэтому методы и средства поверки, приведенные в п. 3, 4, 6, 7 табл. 53, соответствуют методам и средствам поверки теодолитов, которые изложены в гл. III.

*Оценку точности работы компенсатора* проводят так же, как у теодолитов (см. гл. III).

*Определение коэффициентов оптико-механического преобразователя.* Коэффициент дальномера у тахеометров типов ТД и ТВ определяется по результатам измерения тахеометром длин интервалов полевого компаратора по методике, изложенной для дальномеров двойного изображения. При этом предельная погрешность интервалов полевого компаратора не должна быть более 1 : 10 000 при поверке тахеометра типа ТД и 1 : 3000 при поверке тахеометра типа ТВ.

Поверка работы высотомера у тахеометра типа ТД проводится путем сравнения измеренных тахеометром превышений в прямом и обратном направлениях. Для измерений используют полевой высотный базис длиной 60—80 м, обеспечивающий угол наклона визирной линии не менее 20°.

Измерения проводят 6—8 приемами для каждого направления. Значение коэффициента высотомера считают допустимым, если разность среднего прямого и среднего обратного превышений составляет не более 4 см/100 м. За окончательное значение коэффициента принимают среднее арифметическое из абсолютных значений прямого и обратного определений.

Значения коэффициентов  $K_S$  номограммы расстояний и  $K_h$  номограммы превышений для тахеометра типа ТН определяют по результатам измерений интервалов полевого компаратора. Методика измерений и формулы вычислений  $K_S$  и  $K_h$  аналогичны методике и формулам, изложенным при поверке кипрегеля КН в настоящей главе.

*Среднюю квадратическую погрешность измерения расстояния*, приведенного к 100 м, определяют по результатам измерений интервалов полевого компаратора. Предельная погрешность интервалов компаратора не должна быть более 1 : 10 000

при поверке тахеометра типа ТД и 1:2000 при поверке тахеометра типа ТВ.

Измерения интервалов и вычисления средней квадратической погрешности проводят по методике, изложенной для дальномеров двойного изображения (гл. V).

Для тахеометров типа ТН среднюю квадратическую погрешность измерения расстояния, приведенного к 100 м, определяют так же, как у кипрегеля КН, изложенного в настоящей главе.

При поверке тахеометра типа ТЭ значение средней квадратической погрешности измерения расстояний одним приемом вычисляют по формуле

$$\mu_s = \sqrt{\frac{\sum_1^n \sum_1^k \Delta_i^2}{kn}}, \quad (\text{VI.6})$$

где  $\mu_s$  — погрешность измерения линии одним приемом;  $\Delta_i$  — отклонения измеренных значений от длины интервала полевого компаратора;  $n$  — число приемов (указывается в инструкции по эксплуатации);  $k$  — число интервалов полевого компаратора.

Число интервалов полевого компаратора не должно быть менее шести. Рекомендуются следующие длины интервалов: 0,1; 0,3; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 км. Длина интервалов до 0,5 км должна быть известна с погрешностью не более  $1 \cdot 10^{-5}$ . Длина интервалов более 0,5 км должна быть известна с погрешностью не более  $2 \cdot 10^{-6}$ .

Среднюю квадратическую погрешность измерения превышений на 100 м расстояния ( $\Delta h/100$ ) для тахеометров типов ТД и ТН определяют по результатам измерений полевого высотного базиса. У тахеометра типа ТН  $\Delta h/100$  определяют для каждого значения коэффициента номограмм. Измерение базиса и вычисления погрешности  $\Delta h/100$  производят по методике, изложенной для кипрегеля КН в настоящей главе.

## § 26. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ ДЛЯ БУССОЛЕЙ

Перечень поверочных работ для буссолей и применяемые при этом методы и средства поверки приведены в табл. 54.

Поверку внешнего вида и технического состояния буссоли осуществляют путем визуального осмотра. При этом устанавливают наличие или отсутствие механических повреждений на кожухе, кольце, диоптрах, на защитном стекле; оценивают четкость изображения делений и оцифровки на шкалах кольца и лимба; проверяют правильность нанесения маркировки и надежность упаковки.

| № п. п. | Содержание поверочных работ                     | Методы и средства поверки                              | Типы бусселей |
|---------|---|--|---------------|
| 1       | Поверка внешнего вида и технического состояния  | Визуальный осмотр                                      | Все типы      |
| 2       | Оценка работоспособности прибора                | Опробование  | » »           |
| 3       | Проверка чувствительности стрелки               | Магнитный материал                                     | » »           |
| 4       | Сравнение рабочей буссоли с образцовой буссолью | Образцовая буссоль; контрольно-юстировочное устройство | » »           |

Оценку работоспособности буссоли проводят опробованием. При этом устанавливают: действие арретира (арретир должен надежно закреплять стрелку в нерабочем положении, а при работе не мешать ей свободно вращаться); прямолинейность боковых граней у бусселей ОБК; легкость и плавность вращения алидады у бусселей типа БГ; правильность и удобство визирирования на предмет с помощью диоптров.

Для проверки чувствительности стрелки буссоль устанавливают в горизонтальное положение и приближением какого-нибудь железного предмета несколько раз выводят стрелку из положения равновесия. Если после каждого успокоения отсчеты по концу стрелки одинаковы, а время успокоения стрелки не превышает 0,5 мин, стрелка считается достаточно чувствительной. При отсчетах, различающихся между собой более чем на 1/4 наименьшего деления шкалы кольца и если время успокоения стрелки превышает 0,5 мин, буссоль следует сдать в мастерскую для намагничивания стрелки или ее замены.

Сравнение рабочей буссоли с образцовой буссолью. Разные буссоли дают различные показания магнитной стрелки на одной точке и для одной и той же линии, что зависит от качества поверхности острия шпиля стрелки, степени намагничивания стрелки, коллимационной погрешности и других причин. Чтобы в подписываемые на картах склонения не входили погрешности отдельных бусселей, в среднее склонение, выведенное из показаний рабочей буссоли, вводится поправка за сравнение рабочей буссоли с образцовой.

Для определения поправки рабочей буссоли с одной точки определяют магнитный азимут какого-нибудь одного направления сначала образцовой буссолью, а затем рабочей буссолью. Поправка рабочей буссоли  $\delta A_r$  в этом случае вычисляется по формуле

$$\delta A_r = A_n - A_r + \delta A_n, \quad (\text{VI.7})$$

где  $A_n$  — азимут, полученный при измерении образцовой буссолю;  $A_r$  — азимут, полученный при измерении рабочей буссолю;  $\delta A_n$  — поправка образцовой буссоли.

В заводских условиях при выпуске буссоли или в условиях ремонтных мастерских рабочую буссолю сравнивают с образцовой в лабораторных условиях на контрольно-юстировочном устройстве (КЮ). КЮ представляет собой вращающийся столик с посадочным местом для буссоли и электромагнитной катушки, установленной на определенном расстоянии от посадочного места. Поверка проводится следующим образом. Образцовую буссолю устанавливают на посадочное место, включают электромагнитную катушку, создающую электромагнитное поле заданной напряженности. При этом стрелка буссоли повернется в направлении катушки. Вращением столика добиваются положения, когда стрелка по кольцу буссоли укажет нулевой отсчет. После этого снимают образцовую буссолю и на посадочное место ставят рабочую буссолю. Погрешность рабочей буссоли в этом случае будет соответствовать отсчету. Сравнение рекомендуется проводить на двух-трех участках кольца буссоли.

## Глава VII

### ПОВЕРКА ГИРОТЕОДОЛИТОВ

---

#### § 27. КРАТКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ГИРОТЕОДОЛИТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Бурное развитие методов и средств гироскопического ориентирования началось в конце 50-х годов. Это было вызвано необходимостью широкого внедрения в производство эффективных методов автономного ориентирования геодезических сетей.

Положительный опыт разработки и применения приборов для гироскопического ориентирования, как известно, первоначально получил развитие в нашей стране в маркшейдерском производстве. Усилиями инженеров и ученых маркшейдерской службы были созданы гирокомпасы типов МВ1, МГ, МТ-1, а в дальнейшем МВТ2 и МВТ4, получившие практическое применение в горном деле.

В тесном содружестве с советскими специалистами в рамках социалистической экономической интеграции в Венгерской Народной Республике оптико-механическим объединением МОМ (Будапешт) в 1962 г. была создана модель гиротеодолита Ги-Б1, которая получила всеобщее признание в геодезической практике. В дальнейшем на основе этой модели с учетом положительного опыта эксплуатации и предложений советских геодезистов в ВНР были разработаны гиротеодолиты Ги-С1, Ги-С2, Ги-Д1, Ги-Б2 и Ги-Б21 [28].

В отечественной геодезической практике наиболее широкое применение нашли гиротеодолиты Ги-С2, Ги-Б1 и Ги-Б2; опытно-производственную проверку прошел гиротеодолит Ги-Б21. Указанные приборы предназначены для определения гироскопических азимутов направлений геодезических сетей. Достоинства гироскопического метода ориентирования перед астрономо-геодезическими прежде всего заключается в том, что измерения гиротеодолитами практически не зависят от геодезической обеспеченности района работ, условий видимости и физико-географических особенностей местности.

Современный гиротеодолит состоит из 1) съемного гироблока с чувствительным элементом (гироскопом); 2) угломерной части с элементами следящей системы; 3) источника питания и блока питания с системой преобразования электроэнергии; 4) штатива и соединительных кабелей, принадлежностей укладочных и транспортировочных футляров (ящиков).

Гиротеодолиты классифицируются [8] по типу гироскопа — на роторные и безроторные; по виду подвеса гироскопа — на электромагнитные, жидкостные и торсионные; по конструктивной схеме чувствительного элемента — на трехстепенные маятниковые, двухстепенные, свободные и ограниченно-свободные гироскопы, гироскопы направления (роторные гиротеодолиты); по функциональному принципу гироскопа — на оптические (лазерные), вибрационные, ядерные (безроторные гиротеодолиты); по точности — на прецизионные (погрешность измерения азимута менее 5"), высокоточные (погрешность измерений не более 10"), точные (погрешность 20"), средней точности (погрешность 30"), малоточные (погрешность 60"), низкой точности (погрешность 3').

Гиротеодолит Ги-Б1 относится к роторным гиротеодолитам с торсионным подвесом гиromотора. Как и у всех маятниковых гиротеодолитов гироскопическая часть (гироблок) Ги-Б1 представляет собой законченную самостоятельную конструкцию, ротор которой расположен в вакуумированной камере. Гиromотор представляет собой трехфазный электрический двигатель. Угломерная часть гиротеодолита Ги-Б1 выполнена на базе теодолита типа Те-В1 МОМ, в конструкцию которого внесены изменения. В частности, в одной из колонок теодолита установлен автоколлиматор для наблюдения колебаний чувствительного элемента, введено дополнительное окулярное колено отсчетного микроскопа автоколлиматора (оно размещено на колонке), вертикальная осевая система содержит зеркало чувствительного элемента. Наблюдение за зеркалом чувствительного элемента ведется с помощью микроскопа автоколлиматора.

При работающем гиromоторе слежение за зеркалом производится поворотом алидады путем вращения головок грубой и точной наводки. Точки реверсии фиксируются отсчетами по горизонтальному кругу теодолита.

Период колебаний оси маятникового гироскопа в Ги-Б1 составляет 11,5 мин. Торсионная лента имеет прямоугольное сечение около  $0,04 \times 0,005$  см и длину 15 см. Масса колеблющейся системы 1,25 кг. Параметры системы электропитания: напряжение 30 В, частота тока 416 Гц. Масса комплекта прибора 65 кг. Средняя квадратическая погрешность измерения азимута направления из одного пуска составляет по паспортным данным 20", у отдельных образцов возможна точность 15".

Дальнейшим развитием маятникового гиротеодолита типа Ги-Б1 явилась разработка модели Ги-Б2. В отличие от базовой модели с ручной системой слежения, в Ги-Б2 применена фотоэлектрическая следящая система, благодаря которой обеспечивается автоматический разворот места закрепления ленты торсиона вслед за гироскопом. Такая система слежения освобождает геодезиста от необходимости непрерывного и напряженно-

го наблюдения за движением чувствительного элемента (ЧЭ). То обстоятельство, что гироблок Ги-Б2 механически не связан с алидадой теодолита, позволяет использовать угломерную часть прибора во время движения гироскопа для различных геодезических измерений.

Из других отличий Ги-Б2 по сравнению с Ги-Б1 следует назвать изменение конструкции магнитного экрана гироблока, улучшение электронной схемы и конструкции арретирующего устройства. Масса комплекта прибора 62 кг. Размеры торсионной ленты практически остались те же, что и у Ги-Б1. Период колебаний оси гироскопа в Ги-Б2 составляет 10 мин.

В результате внесенных в конструкцию прибора улучшений средняя квадратическая погрешность измерения азимута одним пуском у гиротеодолита Ги-Б2 уменьшена до 10—15".

В 1973 г. на базе Ги-Б2 сконструирован гиротеодолит новой модели — Ги-Б21, в основу работы которого положен временной принцип определения моментов равновесия колебаний. Измерение интервалов времени колебаний ЧЭ производится относительно двух фиксированных точек, в качестве которых используются фотодиоды. Номинальная точность измерения временных интервалов 0,01 с. Значения интервалов времени выдаются на световое табло. Результаты испытаний показали, что гиротеодолитом Ги-Б21 можно выполнять измерения азимута со средней квадратической погрешностью из одного пуска около 5".

Широкое распространение в мировой геодезической практике получили гиронасадки (гироприставки), создание которых оправдано стремлением уменьшить размеры и массу устройства для гироскопических измерений. Измерительная часть гиронасадки съемная и располагается на колонках над зрительной трубой. В гиронасадке Ги-С2 МОМ, которая относится к маятниковым гиротеодолитам с торсионным подвесом в воздухе, колебания ЧЭ наблюдают с помощью зрительной трубы теодолита. От измерительной сетки передача изображения, управляемого через плоскопараллельную пластинку азимутальными колебаниями ЧЭ, в зрительную трубу теодолита осуществляется базовой призмой, которая при геодезической привязке может отводиться в сторону.

Гиронасадки типа Ги-С питаются напряжением 34 В с частотой 410 Гц. Размеры торсионной ленты 0,04×0,002 см. Период колебаний оси маятника на широте 60° составляет 7 мин.

Средняя квадратическая погрешность измерения азимута для гиронасадки Ги-С2 равна 20", для Ги-С1 — 30". Отечественная гиронасадка МВТ2, разработанная во ВНИМИ, позволяет одним пуском получить азимут направления с погрешностью 30" [10].

Как известно, по результатам измерений гиротеодолитом можно вычислить дирекционный угол  $D$  направления

$$D = M - N + \Delta, \quad (\text{VII.1})$$

где  $N$  — отсчет по лимбу, характеризующий положение динамического равновесия ЧЭ в пуске;  $M$  — отсчет по лимбу, соответствующий направлению на местный предмет;  $\Delta$  — инструментальная поправка гиротеодолита.

Инструментальная поправка определяется при эталонировании (поверке) гиротеодолита по одной из следующих формул:

$$\Delta = A_0 - A; \quad (\text{VII.2})$$

$$\Delta = D_0 - (A + \delta A + \delta - \gamma), \quad (\text{VII.3})$$

где  $A_0$  — эталонное значение астрономического азимута;  $A$  — измеренное значение азимута направления, приведенное к центрам пунктов;  $\delta A$  — поправка в астрономический азимут за уклонение отвеса в пункте эталонирования;  $\gamma$  — гауссово сближение меридианов;  $\delta$  — поправка за редуцирование измеренного направления на плоскость проекции Гаусса.

На основании анализа приведенных формул, изучения условий эксплуатации и функционально-конструктивных особенностей гиротеодолитов следует заключить, что основными метрологическими характеристиками гиротеодолитов, подлежащих контролю в процессе поверочных работ, являются: средняя квадратическая погрешность измерения азимута направления, инструментальная поправка прибора, средняя квадратическая погрешность измерения угла (направления) угломерной частью; в этот же перечень можно включить так называемый широтный коэффициент, используемый для определения поправки за нульпункт у гиротеодолитов с торсионным подвесом.

## § 28. СОДЕРЖАНИЕ И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ

Перечень поверочных работ для гиротеодолитов приведен в табл. 54, а.

Операция по определению поправки за нульпункт является составной частью каждого пуска гиротеодолита и поэтому в табл. 54, а не включена.

В настоящее время поверочная схема для гиротеодолитов еще не создана и нормативного документа на уровне стандарта на методы и средства проверок гиротеодолитов пока не существует.

*Проверка внешнего состояния гиротеодолита* осуществляется визуальным осмотром. При этом устанавливают: состояние внешней отделки прибора и его комплектующих элементов, наличие информационных подписей на панелях прибора и правильность маркировки, сохранность защитно-декоративных покрытий деталей и узлов, отсутствие пыли и грязи на оптиче-

Т а б л и ц а 54, а

| № п. п. | Содержание поверочных работ                                      | Методы и средства проверки  | Тип прибора                         |
|---------|--|---|-------------------------------------|
| 1       | Проверка внешнего состояния                                      | Визуальный осмотр   | Все типы                            |
| 2       | Проверка работоспособности прибора в целом и отдельных узлов     | Опробование   | Все типы                            |
| 3       | Определение широтного коэффициента                               | Табличный метод. Экспериментальные определения периода прецессионных колебаний ЧЭ | Гиротеодолиты с торсионным подвесом |
| 4       | Определение инструментальной поправки                            | Измерение эталонного азимута  | Все типы                            |
| 5       | Определение погрешности угломерной части                         | Измерение контрольного угла между коллиматорами                                   | Все типы                            |
| 6       | Определение средней квадратической погрешности измерений азимута | Проведение серии пусков на нескольких пунктах                                     | Все типы                            |

ских элементах прибора, надежность присоединительных приспособлений, отсутствие повреждений кабеля.

Комплектность прибора проверяют осмотром и сличением по технической документации.

*Проверку работоспособности прибора и его узлов* проводят опробованием.

Опробование гиротеодолита сводится к следующим контрольным операциям: проверке пригодности для работы источника питания; измерению выходного напряжения; проверке исправности гироблока; оценке надежности работы следящей системы; проверке качества освещения поля зрения отсчетных микроскопов, оценке качества изображения делений лимба и шкалы автоколлиматора; проверке легкости и плавности хода осевых систем и рукояток управления; проверке соответствия режимов работы элементов электронной схемы установленным требованиям; проверке исправности индикаторных устройств (у Ги-Б21 — светового табло).

*Определение широтного коэффициента.* Постоянный для данной широты коэффициент — широтный коэффициент  $c_r$  гиротеодолита — определяется из выражения [8]

$$c_r = - \frac{\sigma_{кр} \mu}{H \omega_3 \cos \varphi}, \quad (\text{VII.4})$$

где  $\sigma_{кр}$  — суммарный удельный крутящий момент, создаваемый торсионом и токоподводами при закручивании на угол, равный 1 рад;  $\mu$  — цена деления шкалы автоколлиматора;  $\varphi$  — широта места наблюдений;  $H$  — кинетический момент гироскопа;  $\omega_3$  — угловая скорость вращения Земли.

Из выражения (VII.4) следует, что если известны значения  $H$  и  $\sigma_{\text{кр}}$  гиротеодолита, то можно расчетным путем получить коэффициент  $c_r$ . Однако такой способ определения  $c_r$  практического применения не имеет.

На практике получили распространение два других способа: табличный и экспериментальный.

При использовании табличного способа определения коэффициента  $c_r$  необходимо на пункте с широтой  $\varphi$  измерить период  $T_{\text{св}}$  свободных колебаний ЧЭ. В основе табличного способа лежит формула

$$c_r = - \frac{\kappa}{T_{\text{св}}^2 \cos \varphi}, \quad (\text{VII.5})$$

где  $\kappa = \frac{4\pi^2 \mu I z}{H \omega_s}$  — постоянный для данного типа прибора коэффициент, зависящий от момента инерции чувствительного элемента относительно вертикальной оси симметрии, кинетического момента и цены деления шкалы автоколлиматора.

Таблицы для определения коэффициента  $c_r$ , рассчитанные по формуле (VII.5), приводятся в техническом описании гиротеодолита. Аргументами для нахождения значения  $c_r$  являются значения  $\varphi$  и  $T_{\text{св}}$ . Найденное табличное значение широтного коэффициента не всегда точно соответствует действительному значению, поскольку между принятыми средними значениями кинетического момента и момента инерции ЧЭ и их фактическими значениями для реального прибора может иметь место существенное различие.

При экспериментальном определении широтного коэффициента  $c_r$  обычно измеряют период  $T_{\text{пр}}$  прецессионных колебаний ЧЭ при знакопеременном закручивании торсионной ленты и токоподводов (без слежения).

Для определения  $T_{\text{пр}}$  экспериментальным путем выполняют один пуск без слежения за прецессионными колебаниями ЧЭ и по секундомеру измеряют период  $T_{\text{пр}}$ . Тогда значение коэффициента  $c_r$  можно найти по формуле

$$c_r = \mu \left[ 1 - \left( \frac{T_{\varphi}}{T_{\text{пр}}} \right)^2 \right], \quad (\text{VII.6})$$

где  $T_{\varphi}$  — период колебаний ЧЭ на широте  $\varphi$ . Среднее значение периода  $T_{\varphi}$  обычно бывает известно по измеренным моментам реверсий в рабочих пусках; его также можно рассчитать по формуле

$$T_{\varphi} = T_{\varphi_1} \sqrt{\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi}}, \quad (\text{VII.7})$$

где  $T_{\varphi_1}$  — период колебаний ЧЭ на пункте с широтой  $\varphi_1$ .

Экспериментальный способ определения широтного коэффициента характеризуется весьма высокой точностью; по данным [8], погрешность определения  $c_T$  для гиротеодолитов типа Ги-Б в средних широтах составляет около  $0,2''$ .

*Определение инструментальной поправки гиротеодолита* проводят на пунктах с эталонными азимутами (дирекционными углами) направлений из серии пусков (6—9 пусков). Каждый пуск обрабатывают отдельно, а затем вычисляют среднее значение инструментальной поправки с учетом всех пусков. Для компенсации погрешностей исходных данных и других систематических влияний наблюдения обычно проводят на нескольких исходных пунктах.

Для вычисления инструментальной поправки гиротеодолита используют формулу (VII.2) или (VII.3). С учетом выражения (VII.1) имеем для получения инструментальной поправки формулу

$$\Delta = D_0 - (M - N), \quad (\text{VII.8})$$

где  $M$  — значение направления, отсчитанное по лимбу горизонтального круга;  $N$  — отсчет, соответствующий положению динамического равновесия ЧЭ в пуске.

Пример определения инструментальной поправки гиротеодолита типа Ги-Б2 приведен в табл. 55.

Как показывает опыт, увеличение числа пусков сверх 9 не дает ощутимого выигрыша в точности. Средняя квадратическая погрешность единичного определения инструментальной поправки гиротеодолита типа Ги-Б2 в обычных условиях составляет величину порядка  $10—15''$ . Расчетами установлено [8], что для гиротеодолитов этого типа допустимое расхождение между отдельными значениями  $\Delta_i$  в разных пусках не должно превышать  $35''$ .

Надежные результаты обеспечивает эталонирование гиротеодолитов по двум направлениям и углу между ними. Описание этого способа приведено в работе [16]. В системе с двумя измеренными азимутами, эталонные значения которых известны, и измеренным горизонтальным углом между двумя направлениями возникает условие «жесткого» угла.

Уравнивание результатов измерений позволяет повысить точность эталонирования гиротеодолитов этим способом. Кроме того, наличие «жесткого» угла позволяет эталонировать гиротеодолит с контролем изменений азимутов направлений. В работе [16] предложена формула для допустимого расхождения между уравненным и измеренным значениями угла

$$i\beta_{\text{доп}} = 2 \sqrt{m_{\beta_0}^2 + m_{\beta_n}^2}, \quad (\text{VII.9})$$

Таблица 55

| Дата                      |       | 28 09.78 г.              |  | Время: 16 ч 45 мин           |  | Погода: ясно, +13 °С            |  | Пункт: Петровское  |  |
|---------------------------|-------|--------------------------|--|------------------------------|--|---------------------------------|--|--------------------|--|
| Тип и номер прибора       |       | Ги-Б2 368415             |  | 406 Гц                       |  | $\epsilon_r = -15,0$            |  | Ориентирные пункты |  |
| Наблюдение точек реверсии |       | Наблюдатель<br>Помощник: |  | Денсов В. Я.<br>Петров В. С. |  | 1. Rp 6117                      |  | 2. Rp 6091         |  |
| 11'02"                    | $n_1$ | 287°02'40"               |  | —                            |  | Л. 305°21'52"                   |  | Л. 54°17'36"       |  |
|                           | $n_2$ | 282 35 34                |  | —                            |  | П. 125 21 58                    |  | П. 234 17 40       |  |
|                           | $n_3$ | 287 02 22                |  | 284°49'07"                   |  | М. 305 21 55                    |  | М. 54 17 38        |  |
|                           | $n_4$ | 282 35 59                |  | 284 49 10                    |  | 284 49 21                       |  | 284 49 21          |  |
|                           | $n_5$ |                          |  | N <sub>ср</sub>              |  | 20 32 34                        |  | 129 28 17          |  |
|                           | $n_6$ |                          |  |                              |  | 357 30 14                       |  | 357 30 14          |  |
| Определение нуляпункта    |       |                          |  | $\Delta N$                   |  | +18                             |  | -20 32 34          |  |
| 1'37"                     | -26,4 | -0,7                     |  | N                            |  | 284 49 21                       |  | 18 02 48           |  |
|                           | +25,0 | +0,2                     |  | -0,2                         |  | (A <sub>12</sub> ) <sub>0</sub> |  | 126 58 31          |  |
|                           | -24,6 | -0,4                     |  | -0,1                         |  |                                 |  |                    |  |
| 1'37"                     | -34,2 | -1,7                     |  | -1,4                         |  |                                 |  |                    |  |
|                           | +30,8 | -1,1                     |  | -1,0                         |  |                                 |  |                    |  |
|                           | -33,0 | -0,9                     |  |                              |  |                                 |  |                    |  |
|                           | +31,2 |                          |  | $\Delta N$                   |  | -1,2 × 15,0 = +18"              |  |                    |  |

Примечания:  $M = \frac{1}{2} (Л + П)$ ,

$A = M - N$ ,  $\Delta = A_0 - A$ ,  
 $A_{1,0}$  и  $A_{2,0}$  — эталонные  
 значения азимута.

где  $m_{\beta_0}$  — средняя квадратическая погрешность угла  $\beta$  при создании системы;  $m_{\beta_1}$  — средняя квадратическая погрешность измеренного угла при эталонировании гиротеодолита.

Многолетним опытом применения гиротеодолитов подсказано, что эталонирование гиротеодолитов целесообразно предусматривать в следующих случаях: после выполнения 50—70 пусков; при отличии температуры окружающей среды на 20—25° С и более от температуры эталонирования; после трех месяцев хранения на складе; после транспортировки на автомашине по бездорожью на расстояние не менее 500 км или по шоссе на расстояние свыше 3000 км; при различии широт пунктов эталонирования и предстоящих наблюдений более чем на 5°.

*Определение погрешности угломерной части.* Среднюю квадратическую погрешность измерения горизонтального угла рекомендуется оценивать методами, принятыми для теодолитов (гл. III).

*Определение средней квадратической погрешности измерения азимута.* Это основная поверка гиротеодолита. Она может быть выполнена двумя способами: комплексным, т. е. путем непосредственного измерения азимута серией пусков, и поэлементным.

Комплексную поверку обычно проводят при эталонировании гиротеодолитов, т. е. совмещают определение инструментальной поправки и определение средней квадратической погрешности измерения азимута одним пуском. Такое совмещение объективно допустимо в связи с тем, что точность единичного определения инструментальной поправки ( $m_{\Delta}$ ) будет определять точность измерения азимута одним пуском гиротеодолита ( $m_a$ ). Это утверждение справедливо в том случае, если погрешность эталонного угла (или азимута) пренебрегаемо мала по сравнению с погрешностью поверяемого гиротеодолита.

Таким образом, если для  $q$  эталонных направлений выполнено по  $n$  пусков поверяемым гиротеодолитом, имеем

$$m_a = m_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta_i - \Delta_{\text{ср}})^2}{q(n-1)}}, \quad (\text{VII.10})$$

где  $\Delta_{\text{ср}}$  — среднее значение инструментальной поправки для серии пусков.

Число направлений  $q$  при проведении поверки должно быть не менее 2—3, число пусков в серии — не менее 9.

Зная отдельные составляющие погрешности определения азимута направления, можно оценить погрешность гиротеодолита поэлементным способом. Так, для наблюдений способом точек реверсий можно записать [8]:

$$m_a^2 = m_M^2 + m_N^2 + m_\Delta^2, \quad (\text{VII.11})$$

где  $m_\Delta$  — погрешность принятого значения инструментальной поправки;  $m_M$  — погрешность геодезической привязки;  $m_N$  — погрешность определения положения динамического равновесия ЧЭ.

Если детализировать  $m_N$  по отдельным составляющим, то для основной погрешности гиротеодолита можно получить выражение

$$m_a^2 = m_M^2 + m_\Delta^2 + 0,3m_n^2 + c_r^2 m_{A_{\text{нп}}}^2 + A_{\text{нп}}^2 m_c^2, \quad (\text{VII.12})$$

где  $m_n$  — погрешность фиксации отсчетов точек реверсии;  $A_{\text{нп}}$  — отсчет по шкале автоколлиматора;  $c_r$  — широтный коэффициент;  $m_c$  — погрешность определения широтного коэффициента;  $m_{A_{\text{нп}}}$  — погрешность определения нуля пункта.

Формула (VII.12) позволяет предвычислить ожидаемую точность измерений азимута гиротеодолитом, если задаться априорными значениями погрешностей, полученными расчетным путем. Составляющие погрешности в формуле (VII.12) можно также получить из специальных исследований. Результаты экспериментальных исследований более объективно характеризуют индивидуальные качества прибора.

**КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ**

---

**§ 29. КЛАССИФИКАЦИЯ  
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ,  
ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ПОВЕРКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

Для поверки геодезических приборов применяют разнообразные измерительные средства. Их многообразие определяется характером выходной информации при геодезических измерениях, относительной конструктивной сложностью геодезических приборов, а также широким диапазоном точности измерений.

В поверочной практике различают контрольно-измерительные приборы (КИП) общетехнические и специализированные. Общетехнические КИП широко используются в приборостроении, машиностроении, станкостроении и других отраслях народного хозяйства. Специализированные КИП разрабатываются с целью контроля сугубо геодезической техники, и их прямое назначение — поверка геодезических приборов.

По назначению КИП классифицируют на приборы: 1) для угловых измерений, 2) линейных измерений, 3) электро- и радиотехнических измерений и 4) для оценки внешнего состояния.

По конструктивным признакам измерительные приборы делятся на: штриховые, микрометрические (нутромеры, глубиномеры), рычажно-механические, рычажно-оптические, оптические (оптико-механические приборы), радиоизмерительные.

По характеру связи чувствительного элемента КИП с измеряемым объектом различают контактные и бесконтактные приборы. Бесконтактные КИП характеризуются отсутствием прямого соприкосновения с проверяемым элементом (например, при использовании проекционного прибора). Бесконтактные оптические приборы можно подразделить на проекционные и интерференционные. В проекционных приборах носителем измерительной информации является световой поток; интерференционные приборы основаны на явлении интерференции света.

Оптико-механические приборы с точки зрения методики применения могут быть отнесены к приборам сравнения и приборам прямого действия. Приборами сравнения получают значение измеряемой величины путем сопоставления ее с аттестованной мерой (оптиметры, катетометры). Приборы прямого действия определяют размер величины непосредственно по отсчетному устройству (например, микроскоп, длиномер).

Среди мер длины, служащих для воспроизведения известных значений длины, выделяют штриховые и концевые меры. У штриховых мер общий размер и размер их составных частей определяется расстоянием между осями двух соответствующих штрихов (измерительной линейки, рулетки). Размер концевых мер определяется расстоянием между плоскостями, ограничивающими меры (например, плитки Иоганссона, применяемые в качестве образцовых мер для микроскопов).

Радиоизмерительные приборы классифицируются по типу преобразователей на: индуктивные, емкостные, электронные, фоторезисторные, потенциометрические, гальваноманнитные и др.

В поверочной практике наибольшее распространение получили преобразователи первых трех типов.

Некоторые КИП подразделяются в зависимости от наименования плоскости измерений на горизонтальные и вертикальные (оптиметры, длиномеры). Причем в этой группе приборов различают однокоординатные и двухкоординатные приборы.

Разнообразна номенклатура КИП, предназначенных для угловых измерений. Важнейшим признаком, по которому их классифицируют, является тип меры, с которой сравнивают измеряемый угол. По этому признаку различают три группы измерительных средств: а) прототипы изделий (или «жесткие меры») в виде плиток, угольников, шаблонов, многогранных призм; б) гониометрические устройства, у которых измеряемый угол сравнивают с соответствующим значением интервала угломерной круговой (или секторной) шкалы; в) тригонометрические средства, у которых мерой является угол прямоугольного треугольника, две стороны которого воспроизведены средствами и методами линейных измерений.

В свою очередь измерительные приборы каждой из названных трех групп могут быть классифицированы по различным признакам: принципу действия, конструктивному решению, методу задания угла.

Приведенная классификация контрольно-измерительных приборов не претендует на полноту и охватывает лишь наиболее распространенные и доступные виды КИП, которые могут найти применение при поверке геодезической техники. Более подробные сведения о КИП приводятся в работах [3, 26, 44, 47].

### **§ 30. ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ**

КИП для угловых и линейных измерений в поверочной практике используются как образцовые средства при оценке основной погрешности поверяемых приборов, для определения разме-

ров элементов приборов, а также для образования контрольных углов, отрезков и направлений при различных исследованиях.

### Автоколлиматоры

Автоколлиматоры предназначены для измерения малых углов методом автоколлимации. Принципиальная схема автоколлиматора поясняется рис. 9.

Поток лучей света от электролампочки *1a*, установленной в фокальной плоскости объектива *2*, проходит через светофильтр *3* и освещает марку *4*, расположенную в фокальной плоскости объектива *11* зрительной трубы. После отражения от зеркала *5* лучи света, несущие перекрестие марки, направляются полупрозрачной гранью призмы-куба *6* на объектив *11* и параллельным пучком передаются на зеркало *14*, установленное перпендикулярно к визирной оси. Отразившись от зеркала, пучок света возвращается в объектив *11*, который формирует в плоскости сеток *8* и *9* автоколлимационное изображение марки *4*. Это изображение марки рассматривают через окуляр *10*.

Сетка *9* является неподвижной, она содержит минутную шкалу, размер которой обуславливает диапазон измерений углов. Сетка *8* жестко связана с линзовым компенсатором оптического микрометра и вместе с ним может перемещаться перпендикулярно к линии визирования. Сетка *8* содержит секундную шкалу для точных измерений. Подсветка шкал сеток осуществляется с по-

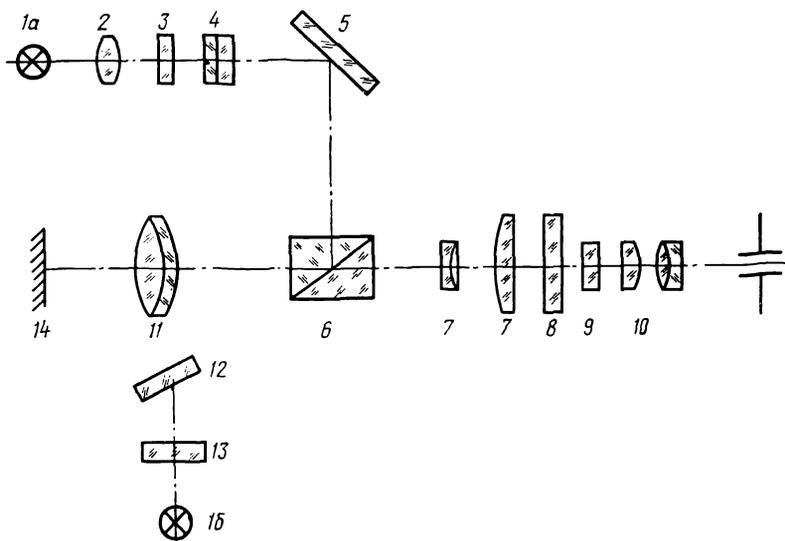


Рис. 9. Оптическая схема автоколлиматора

Таблица 56

| Параметры   | Нормы по типам |         |        |        |
|---|----------------|---------|--------|--------|
|   | АК-0,2У        | АК-0,5У | АК-1У  | АК-60  |
| Цена деления шкалы оптического микрометра, "                              | 0,2            | 0,5     | 1      | —      |
| Диапазон измерений, "   | 10             | 20      | 40     | 120    |
| Цена деления минутной шкалы, '  | 0,25           | 0,5     | 1      | 1      |
| Допускаемая основная погрешность, "':<br>при измерениях в одной плоскости | 0,6—1,5        | 1,1—3,0 | 2,1—6  | 30—90  |
| при одновременных измерениях в двух плоскостях                            | 1,0—3,0        | 1,7—6,0 | 3,2—12 | 60—120 |
| Световой диаметр объектива зрительной трубы, мм                           | 55±6           | 40±4    | 25±3   | 15±2   |
| Поле зрения, °  | 1±0,1          | 2±0,2   | 4±0,4  | 8±0,8  |
| Увеличение зрительной трубы, крат   | 60±6           | 30±3    | 15±2   | 8±1    |
| Длина зрительной трубы, мм  | 550            | 550     | 550    | 160    |
| Высота автоколлиматора до оси зрительной трубы, мм                        | 100            | 100     | 100    | 100    |
| Масса прибора, кг   | 10             | 10      | 10     | 6      |

мощью объектива 7 от осветительной системы, содержащей лампочку 16, светофильтр 13 и зеркало 12.

В соответствии с ГОСТ 11899—77 выпускается четыре типа автоколлиматоров: АК-0,2У; АК-0,5У; АК-1У и АК-60 (буква «У» в шифре означает «унифицированный»).

Основные технические характеристики автоколлиматоров, выпускаемых по ГОСТ 11899—77, приведены в табл. 56.

На базе ранее выпускавшегося автоколлиматора АК-0,25 создан фотоэлектрический автоколлиматор АФ-2 с ценой деления измерительной шкалы 0,1". Чувствительность прибора повышена благодаря объективному методу наведения с помощью фотоэлектрической регистрации.

Отечественной промышленностью разработан и изготовлен новый фотоэлектрический автоколлиматор АФ-1Ц с цифровым отсчетом показаний. Диапазон его измерений 10'. Дискретность цифровой индикации измерений 0,1 и 0,2".

Автоколлиматоры проходят поверку в соответствии с ГОСТ 15806—70.

### Гониометры

Гониометры — универсальные оптико-механические угломерные приборы высокой точности, широко применяемые в практике лабораторных и поверочных работ. С их помощью проводят измерения двухгранных углов деталей с плоскими полированными поверхностями; измерения пирамидальности призм; опреде-

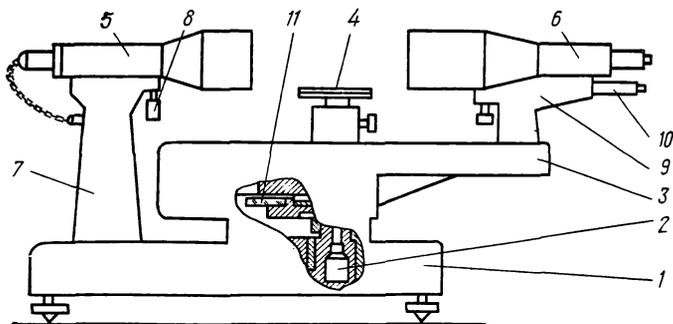


Рис. 10. Гониометр

ления показателя преломления оптической среды; различные лабораторные измерения углов.

Внешний вид гониометра показан на рис. 10. К основным его частям относятся: основание 1, осевая система 2, алидада 3 с предметным столиком 4, коллиматор 5, зрительная труба 6. Коллиматор, установленный на колонке 7, может наклоняться в небольших пределах в вертикальной плоскости с помощью регулировочного винта 8. Зрительная труба размещается на колонке 9 алидадной части. Рядом со зрительной трубой укреплен отсчетный микроскоп 10.

На втулке вертикальной оси 2 укреплена оправа с лимбом 11, который можно переставлять с помощью шестерни. Алидада вращается вместе с лимбом и независимо от него. При вращении алидады вместе с ней поворачивается и зрительная труба.

Предметный столик может вращаться самостоятельно, совместно с лимбом и зрительной трубой.

Оптическая отсчетная система гониометров строится по тому же принципу, что и в оптических теодолитах аналогичного класса точности.

Гониометры позволяют измерять углы двумя способами — коллимационным и автоколлимационным. Второй способ применим для измерения углов прозрачных и непрозрачных (отражающих) объектов, а первый — только для прозрачных.

До 1975 г. гониометры в нашей стране выпускались по ГОСТ 10021—62. Было предусмотрено пять типов гониометров-спектрометров: ГС-1, ГС-2, ГС-5, ГС-10, ГС-30. Цифра в шифре означает допускаемую погрешность измерений углов. С 1975 г. введен новый стандарт ГОСТ 10021—74, в соответствии с которым выпускаются два типа гониометров-спектрометров ГС03 и ГС05 и два типа гониометров Г1 и Г1,5. В новом стандарте цифра в шифре указывает допускаемое среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности измерения угла одним приемом.

Таблица 57

| Параметры   | Нормы по типам |         |        |        |       |       |
|---|----------------|---------|--------|--------|-------|-------|
|   | ГС03           | ГС05    | Г1     | Г1,5   | ГС-1  | ГС-5  |
| Световой диаметр объектива зрительной трубы и коллиматора, мм             | 63, 90         | 70, 100 | 50, 70 | 56, 63 | 70    | 50    |
| Увеличение, крат  | 56—80          |         | 40—80  |        | 55—62 | 37—44 |
| Угол поля зрения, °   | 32             |         | 50     |        | 40    | 50    |
| Видимая величина наименьшего деления отсчетного устройства, не менее, мм  | 1,2            |         | 1,2    |        | 1     | 2     |
| Расстояние от оси прибора до объективов трубы и коллиматора, не менее, мм | 200            |         | 1200   |        | 125   | 100   |
| Высота подъема столика, не менее, мм                                      | 50             |         | 32     |        | 35    | 35    |
| Предел разрешения трубы в центре поля зрения, не более "                  | 2,2            |         | 3      |        | 2     | 3     |
| Диапазон поворота трубы, °, не менее                                      |                |         | 270    |        |       |       |
| Масса измеряемого объекта, помещаемого на столик, не более, кг            | 8              |         | 8      |        | 7     |       |

В табл. 57 приведены основные технические характеристики гониометров по ГОСТ 10021—74 и для сравнения — ГС-1 и ГС-5 по ГОСТ 10021—62.

В новом стандарте регламентирована также допускаемая систематическая составляющая погрешности, установленная равной 0,5" для типов ГС03 и ГС05 и 1" для типов Г1 и Г1,5.

Проверка гониометров производится измерением углов полигона, образуемого многогранной призмой [47].

### Меры угловые призматические

Призматические угловые меры получили большое распространение в поверочных работах во многих странах. С их помощью контролируют и градуируют шкалы угломерных приборов, осуществляют прямой контроль углов изделий. Призматические угловые меры предназначены для хранения и передачи единицы плоского угла.

Большой набор угловых призматических мер предусматривает ГОСТ 2875—75. Из их числа в геодезической поверочной практике наибольшее распространение нашли угловые меры типа 4 (многогранники), имеющие несколько различных рабочих углов с равным шагом. При числе граней  $n$  в угловой мере шаг  $\Delta\varphi$  определяется формулой

$$\Delta\varphi = \frac{360^\circ}{n}. \quad (\text{VIII.1})$$

Т а б л и ц а 58

| Допускаемые отклонения                                     | Нормы по классам точности |      |      |      |
|--|---------------------------|------|------|------|
|  | 00                        | 0    | I    | 2    |
| рабочих углов от номинального значения, "                  | 2                         | 5    | 10   | 30   |
| от перпендикулярности граней к основанию, "                | 5                         | 10   | 15   | 20   |
| от параллельности верхнего и нижнего оснований, мкм/100 мм | 1,5                       |      |      |      |
| от плоскости, мм   |                           |      |      |      |
| измерительных граней                                       | 0,05                      | 0,05 | 0,05 | 0,10 |
| оснований  | 1,0                       | 1,5  | 1,5  | 1,5  |
| на пирамидальность, "                                      | 5                         | 10   | 20   | 30   |

Особенно удобны и производительны многогранники при исследовании лимбов горизонтального круга теодолитов. Замкнутый контур призмы (угловой полигон) позволяет калибровать ее рабочие углы без применения образцовых мер с достаточной для практических целей точностью. При этом внецентренность установки многогранника и эксцентриситет призмы не влияют на точность измерений и калибровки.

ГОСТ 2875—75 предусматривает выпуск многогранников с числом граней  $n=4, 6, 8, 9, 10, 12, 15, 18, 20, 24, 36, 40, 45, 72$ . Диаметры описанных окружностей призм должны быть таковы, чтобы ширина измерительной поверхности грани была не менее 12 мм. Высота грани может изменяться от 15 до 30 мм.

Многогранники изготовляют из металла, стекла и кварца.

По точности изготовления многогранники выпускают четырех классов: 00, 0, 1 и 2 (табл. 58).

Для укрепления многогранника на теодолите необходим установочный столик, который может быть смонтирован на кубе трубы или на ручке-мостике [37].

## Уровни

Уровни относятся к измерительным приборам гониометрического типа. Они предназначены для измерений малых углов и ориентирования поверхностей изделий или деталей относительно горизонтальной плоскости.

В машиностроении применяют большое число уровней различной точности. В зависимости от конструкции различают уровни брусковые, рамные и микрометрические. По типу используемых ампул уровни делятся на цилиндрические и круглые (сферические).

Ампула с наполнителем и оправа, в которую заключена ампула, — основные детали уровня. Ампулы уровней стандартизованы в отношении цены деления  $\tau$  на 2 мм, размеров (длины  $L$ , ширины  $B$ ), температурного диапазона. Основные характерис-

Таблица 59

| Параметры   | Ампулы   |                           |
|---|--|---------------------------|
|   | цилиндрические   | круглые                   |
| Цена деления $\tau$ на 2 мм   | 60', 30', 20',<br>10', 6', 4', 3',<br>2', 1', 45", 30",<br>20", 15", 10" | 60', 30', 20',<br>10', 5' |
| Длина $L$ , мм  | 20—80  | 20                        |
| Ширина $B$ , мм   | 10—18  | —                         |
| Температурный диапазон, °С:<br>нормального исполнения<br>термоустойчивого |  | —50 ÷ +50<br>—50 ÷ +75    |

тики ампул цилиндрических и круглых уровней, выпускаемых по ГОСТ 2386—73, приведены в табл. 59.

Рамные и брусковые уровни, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 9392—75, предназначены для контроля положения поверхностей деталей при сборке, юстировке, а также для определения отклонения деталей от заданного положения при поверочных работах.

Рамный уровень используется для контроля в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Брусковый уровень используется для контроля в горизонтальной плоскости.

Микрометрические уровни, предназначенные для измерения наклона плоских и цилиндрических поверхностей относительно горизонтального положения, выпускаются по ГОСТ 11196—74 двух типов: с ценой деления 0,01 мм/м и 0,10 мм/м. Основные технические характеристики указанных уровней приведены в табл. 60.

Таблица 60

| Параметры  | Нормы для уровней  |                                    |                  |
|--|--|------------------------------------|------------------|
|  | рамных   | брусковых                          | микрометрических |
| Цена деления основной ампулы, мм/м                               | 0,02—0,05,<br>0,12—0,20  | 0,06—0,10                          | 0,01; 0,10       |
| Длина рабочей поверхности, мм                                    | 100, 150,<br>200, 250  | 100, 150,<br>200, 250,<br>500, 550 | 200              |
| Диапазон измерений, мм/м   | —0,16 ÷ 1,6  |                                    | ± 10; ± 30       |
| Допускаемые отклонения от плоскостности рабочих поверхностей, мм | I группа 0,003—0,008;<br>II группа 0,004—0,010<br>III группа 0,008—0,020 |                                    | 0,002<br>0,006   |
| Температурный диапазон, °С                                       |  | —5 ÷ +35                           |                  |

В последние годы в мировой измерительной практике появились электронные уровни, у которых чувствительные элементы работают на индуктивном принципе. Уровень подобного типа был разработан В. Г. Львовым и П. С. Поповым в ЦНИИГАиК [11, 31].

Цена деления электронного уровня может изменяться в широких пределах (от десятых долей секунды до нескольких секунд). Погрешность показаний уровня, по данным многочисленных исследований [31], составляет величину около 0,1″.

## Измерительные микроскопы

Микроскопы предназначены для точных измерений длины и углов деталей машин и приборов. С помощью микроскопов измеряют размеры изделий в полярных и прямоугольных координатах, угловые размеры элементов приборов, радиусы закруглений, диаметры отверстий, элементы профиля наружной резьбы.

Различают инструментальные и универсальные измерительные микроскопы. Универсальные микроскопы имеют более широкие пределы измерений и более высокую точность измерений по сравнению с инструментальными микроскопами. Универсальные микроскопы значительно больше по размерам и массе, чем инструментальные, и поэтому их считают стационарными приборами.

Основными элементами любого измерительного микроскопа являются: массивное основание, кронштейн, направляющие каретки, визирное устройство, отсчетная оптическая система.

В микроскопах типа УИМ основанием прибора служит мощная станина, устанавливаемая на трех подъемных винтах. На станине укреплены направляющие, по которым передвигаются продольная и поперечная каретки. Одна из кареток (поперечная) несет колонку с визирным микроскопом, другая каретка — предметный столик и закрепительные приспособления. Предварительную установку кареток делают вручную, а окончательную (точную) — микрометренными винтами. На станине укреплены отсчетные микроскопы. Колонка может наклоняться в вертикальной плоскости.

В соответствии с ГОСТ 14968—69 универсальные микроскопы выпускаются трех типов: УИМ-200 (УИМ-21), УИМ-200Э (УИМ-23) и УИМ-500Э (УИМ-24). ГОСТ 8074—71 устанавливает три типа инструментальных микроскопов: малый ММИ, большой БМИ и бинокулярный БИМ.

Основные технические характеристики указанных типов микроскопов приведены в табл. 61.

Проверка микроскопов проводится по инструкции 106—56 Государственного стандарта и в соответствии с ГОСТ 8.003—71.

Таблица 61

| Характеристики                                       | Нормы по типам |                    |            |            |                |                    |
|--|----------------|--------------------|------------|------------|----------------|--------------------|
|  | УИМ-200        | УИМ-200Э           | УИМ-500Э   | ММИ        | БМИ            | БИМ                |
| Диапазон измерений, мм:<br>в продольном направлении  | 0—200          | 0—200              | 0—500      | 0—75       | 0—150          | 0—150              |
| в поперечном   | 0—100          | 0—100              | 0—200      | 0—25       | 0—50           | 0—75               |
| Диапазон угловых измерений, °                        | 0—360          |                    |            |            |                |                    |
| Увеличение визирного микроскопа, крат                | 10, 15, 30, 50 | 10, 15, 30, 50, 90 | 10, 20, 30 | 10, 30, 50 | 10, 15, 30, 50 | 10, 20, 30, 60, 90 |
| Цена деления:<br>оптических отсчетных устройств, мкм | 1              | 1                  | 1          | 5          | 5              | 2                  |
| угломерной шкалы, '                                  | 1              | 1                  | 1          | 1          | 1              | 1                  |
| Предел допускаемой погрешности измерений, мкм        | 1+l*/100       |                    |            | 3          | 3              | 4+l/100            |
| Масса прибора, кг, не более                          | 540            | 600                | 1800       | 27         | 75             | 210                |

\* l — измеряемый размер в миллиметрах.

### Измерительные машины

Измерительные машины предназначены для линейных измерений в диапазоне 1÷12 м методом непосредственной оценки по встроенной шкале или методом сличения с концевой мерой.

Отечественной промышленностью выпускаются различные типоразмеры измерительных машин ИЗМ. ГОСТ 10875—64 устанавливал шесть типоразмеров: ИЗМ-1, ИЗМ-2, ИЗМ-4, ИЗМ-6, ИЗМ-8 и ИЗМ-12 (цифра в шифре означает верхний предел измерения наружных линейных размеров в метрах. По новому ГОСТ 10875—76 выпускаются измерительные машины ИЗМ-1, ИЗМ-2, ИЗМ-4.

На кафедре прикладной геодезии МИИГАиК разработано приспособление к измерительной машине, позволяющее контролировать штриховые меры [3].

Допускаемая погрешность измерения концевых мер на измерительной машине

$$\Delta = (0,4 + 4 \cdot 10^{-3}L) \text{ мкм}, \quad (\text{VII.2})$$

где  $L$  — измеряемая длина в миллиметрах.

Масса самой машины типоразмера ИЗМ-4 — 1,3 т; масса, которую помещают на предметный столик машины, до 10 кг.

Измерительные машины поверяют по ГОСТ 13008—67. Одним из вариантов измерительной машины для линейных из-

мерений в малом диапазоне являются оптические дальномеры (компараторы). В основу действия этих приборов положен принцип Аббе [26].

По ГОСТ 14028—68 выпускают горизонтальные и вертикальные дальномеры. Вертикальные дальномеры позволяют проводить измерения методом непосредственной оценки в пределах до 100 мм шкалы. С помощью горизонтального дальномера можно измерять длины от 0 до 500 мм, наружные диаметры от 0 до 225 мм и внутренние диаметры до 150 мм. Основными элементами дальномера являются шкала, оптическая система и отсчетное устройство, в качестве которого использован окулярный микрометр.

Погрешность показаний дальномера

$$\Delta = \left( 1,5 + \frac{L}{100} \right), \text{ мкм,} \quad (\text{VIII.3})$$

где  $L$  — измеряемая длина в миллиметрах.

Для повышения точности измерений в дальномерах используют интерференционные трубки [5, 18, 20]. Интерферометры применяют преимущественно с ценой деления 0,05 и 0,1 мкм.

Погрешность показаний интерференционных приборов

$$\Delta = (0,03 + 0,0054n\mu) \text{ мкм,} \quad (\text{VIII.4})$$

где  $n$  — число делений шкалы от нулевого штриха;  $\mu$  — цена деления шкалы.

### Катетометры

Катетометры предназначены для измерения линейных размеров в горизонтальной или вертикальной плоскости недоступных объектов (находящихся под воздействием высоких или низких давлений, излучений, нагрева или охлаждения). В обычных условиях катетометры можно использовать для калибровки капиллярных сосудов, стеклянных сосудов, измерять длину штриховых мер, выполнять координатные измерения на крупногабаритных изделиях. На возможность использования катетометров в прикладной геодезии указано в работе [3].

Принципиальная схема катетометра представлена на рис. 11.

Катетометр представляет собой массивный оптико-механический прибор, монтируемый на основании 2 с тремя подъемными винтами 1. Основной несущей деталью прибора является колонка 5. С помощью рукояток 4 колонку можно поворачивать вокруг оси, если предварительно открепить зажим 3. Предварительное горизонтирование прибора осуществляют по круглому уровню 12. Вдоль колонки перемещается измерительная каретка 9. Грубое движение производят от руки, точное — с помощью наводящего винта. Каретка подвешена на стальной ленте 10, на другом конце которой укреплен противовес, расположенный внутри колонки.

Измерительная каретка несет зрительную трубу 6 с визиром 7 и цилиндрическим уровнем 11, обеспечивающим приведение визирной оси трубы в горизонтальное положение. В некоторых катетометрах для этой цели применяется автоколлимационная система.

В поле зрения окуляра зрительной трубы при включенной лампочке подсветки одновременно видны изображения измеряемого объекта, миллиметровой шкалы, наблюдаемой через оптическую систему, изображение масштабной сетки и изображение индикатора горизонтирующего устройства (пузырька уровня или автоколлимационное изображение биссектора). Отсчеты берут с точностью до 0,001 мм. Диапазон измерений устанавливают переключателем 8.

Таким образом, принцип действия катетометра основан на сравнении измеряемого отрезка, находящегося на удалении от объектива, со встроенной в прибор шкалой путем последовательного визирования трубой на концы измеряемого отрезка.

На катетометры распространяется ГОСТ 19719—74. Отечественная промышленность выпускает катетометры следующих

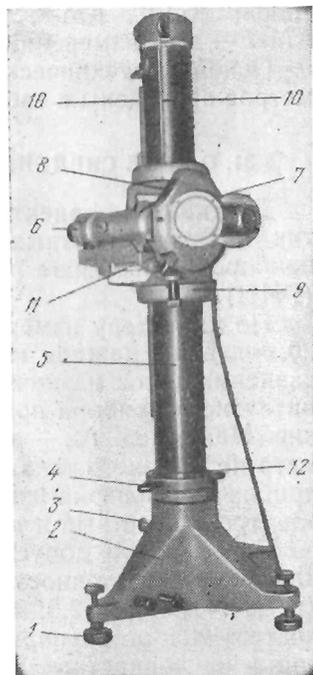


Рис. 11. Катетометр КМ-8

Т а б л и ц а 62

| Параметры                                   | Нормы по типам |          |          |          |
|---|----------------|----------|----------|----------|
|   | КМ-6           | КМ-7     | КМ-8     | КМ-9     |
| Длина измеряемых отрезков, мм               | 0—200          | 0—300    | 0—500    | 0—1000   |
| Пределы фокусировки трубы, мм               | 100—∞          | 100—∞    | 280—∞    | 470—∞    |
| Цена деления отсчетного устройства, мм      | 0,01           | 0,01     | 0,01     | 0,01     |
| Увеличение микроскопа, крат                 | 62,5           | 45       | 45       | 48       |
| Увеличение зрительной трубы, крат           | 8÷20           | 26       | 2÷15     | 2÷17     |
| Цена деления цилиндрического уровня, "/2 мм | 4              | —        | 4        | —        |
| Допустимая погрешность измерений, мкм       | 10+L/100       |          | 10+L/50  |          |
| L, мм                                       | 140—970        | 100—2100 | 280—1810 | 470—2000 |
| Масса, кг                                   | 22             | 59       | 78       | 170±5    |

типов: КМ-6, КМ-8, КМ-9 — для измерений по вертикали и КМ-7 — для измерений в двух плоскостях (универсальный).

Основные технические характеристики выпускаемых катетометров приведены в табл. 62.

### § 31. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О РАДИОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРАХ

Для контроля электрических и радиотехнических характеристик электромагнитных и электронно-оптических геодезических приборов применяют различные радиоизмерительные приборы (РИП).

По характеру измеряемых величин РИП подразделяются на 20 подгрупп, каждая из которых состоит из нескольких видов в зависимости от назначения прибора. Каждому виду радиоизмерительного прибора присваивается буквенно-цифровое обозначение. Например, А2 — амперметр постоянного тока, В3 — вольтметр переменного тока, С8 — осциллограф запоминающий, Ф1 — прибор для проверки измерителей разности фаз, Ч3 — частотомер электронно-счетный и т. д.

По пределам допускаемых погрешностей РИП делятся на классы. Класс точности определяется выражением вида  $K \cdot 10^n$  (где  $K = 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; n = 1, 0, -1$  и т. д.). Классы точности РИП оговариваются в нормативно-технической документации на конкретные виды приборов. По частотному диапазону измеряемых сигналов РИП классифицируются на низкочастотные и высокочастотные. По принципу действия РИП делятся на аналоговые и цифровые. У аналогового прибора показание является непрерывной функцией измеряемого сигнала. Цифровой РИП выдает показания в цифровой форме.

По способу представления информации РИП могут быть показывающими и регистрирующими. У приборов первого типа показания снимают визуально по отсчетному устройству, у второго — предусмотрена автоматическая регистрация отсчетов.

При исследовании электрических характеристик фазовых свето- и радиодальномеров могут использоваться некоторые виды РИП: специализированные или комбинированные приборы для измерения силы тока, сопротивления и напряжения, осциллографы для наблюдения и исследования формы сигнала, приборы для измерения разностей фаз, частотомеры для контроля частоты, приборы для исследования амплитудно-частотных характеристик.

Одной из важнейших метрологических характеристик электромагнитных дальномеров является частота модуляции излучения, ее стабильность во времени и при воздействии различных дестабилизирующих факторов. Контроль частоты осуществляют с помощью частотомеров, аттестованных по ГОСТ 13305—67 и ГОСТ 14173—69.

Таблица 63

| Характеристики  | Нормы по типам        |                       |                        |                        |
|---|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
|   | ЧЗ-22                 | ЧЗ-24                 | ЧЗ-30                  | ЧЗ-34                  |
| Диапазон частот синусоидальных сигналов, Гц           | 10—12·10 <sup>6</sup> | 10—50·10 <sup>6</sup> | 10—540·10 <sup>6</sup> | 10—120·10 <sup>6</sup> |
| Погрешность измерений ( $\pm 1$ ед. счета)            | 1·10 <sup>-7</sup>    | 1·10 <sup>-7</sup>    | 1·10 <sup>-7</sup>     | 2·10 <sup>-7</sup>     |
| Напряжение входного сигнала, В                        | 0,1—100               | 0,1—100               | 0,1—100                | 0,1—100                |
| Время индикации результата, с                         | 1—5                   | 1—10                  | 0,3—8                  | 0,3—5                  |
| Нестабильность частоты кварцевого генератора за 1 сут | 3·10 <sup>-8</sup>    | 1·10 <sup>-8</sup>    | 3·10 <sup>-8</sup>     | 1·10 <sup>-8</sup>     |
| Потребляемая мощность, Вт                             | 60                    | 85                    | 120                    | 100                    |
| Температурный диапазон работы, °С                     | +5÷+40                | +5÷+40                | +5÷+40                 | -30÷+50                |
| Масса, кг   | 13,5                  | 15,0                  | 24,0                   | 22,0                   |

В табл. 63 приведены основные технические характеристики электронно-счетных частотомеров, рекомендуемых при поверке кварцевых генераторов частоты свето- и радиодальномеров.

### § 32. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПОВЕРОЧНЫХ РАБОТ В ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ

#### Компараторы

Компараторами называют устройства, служащие для эталонирования (или аттестации) рабочих мер для линейных измерений. В зависимости от назначения различают компараторы для проволок, мерных лент и рулеток, электромагнитных дальномеров и других приборов.

По конструктивному признаку компараторы делятся на оптико-механические, интерференционные и базисы. По местонахождению различают лабораторные и полевые компараторы. Метрологические характеристики компараторов определяются их назначением.

Примером лабораторного (стационарного) оптико-механического компаратора служит компаратор МИИГАиК для эталонирования проволок [3, 22, 23].

Компаратор расположен в полуподвальном помещении, вдоль одной из стен которого установлены девять столбов, покоящихся на изолированном от пола фундаменте. На каждом столбе укреплены микроскопы так, что расстояние между ними состав-

ляет 3 м и их оптические оси находятся в одном створе по линии измерений. Под микроскопами по рельсам на тележке передвигается 3-метровый жезл (рельсы покоятся на столбах). Микроскопы снабжены винтовыми микрометрами, барабан которых имеет 100 делений; цена одного деления барабана 0,001 мм.

Проволоки при эталонировании подвешивают на блоках, укрепленных в кронштейнах. Натяжение проволок осуществляется теми же гириями, которые используются в полевых производственных условиях.

Перед эталонированием проволок проводится юстировка компаратора и определяется цена деления микроскопов-микрометров. Сам процесс эталонирования включает до шести приемов измерений, выполняемых в течение 2—3 дней. Отдельный прием эталонирования включает: 1) измерение длины компаратора образцовой мерой в прямом и обратном направлениях; 2) измерение длины компаратора проволоками в прямом направлении; 3) обратное измерение проволоками; 4) измерение длины компаратора по п. 1.

Средняя квадратическая погрешность эталонирования проволок на компараторе МИИГАиК по многочисленным данным [3, 22, 23] составляет 10—17 мкм.

В качестве образцовых мер на компараторе МИИГАиК при эталонировании первоклассных проволок используются 3-метровые инварные геодезические жезлы 1-го разряда № 541, 615.

В соответствии с «Общесоюзной поверочной схемой для средств измерений длины» (ГОСТ 8.020—75) геодезические жезлы поверяются методом сличения с рабочими эталонами, хранящимися во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева. Доверительные абсолютные погрешности поверки образцовых мер 1-го разряда при доверительной вероятности 0,98 не должны превышать  $(0,1 + 0,2L)$  мкм, где  $L$  — длина в метрах.

Интерференционный компаратор для эталонирования инварных проволок в полевых условиях (ПИК-2) разработан в ЦНИИГАиК в 1947—1948 гг. Г. Г. Гордоном и В. М. Назаровым [35]. Работа такого компаратора основана на принципе интерференции белого света, получаемой при многократном отражении от зеркал, что создает эффект оптического умножения, позволяющий по малой исходной мере получать значительные расстояния. Например, на интерферометре И. Вейселе [50] исходная мера в 1 м умножается оптическим путем до 6 м, полученный отрезок повторно умножается на 4 по 24 м (после переюстировки). В ПИК-2 исходная мера в 1,2 м в два этапа умножается до 24 м.

Компаратор ПИК-2 (рис. 12) имеет две подставки 1 для зеркал и микроскопов; кварцевый жезл 2, укрепляемый на подставке; коллиматор 3; трубу 4 для наблюдения интерференции; два блочных станка 5 с блоками и подставками. Все оборудование размещается на пяти столбах 6.

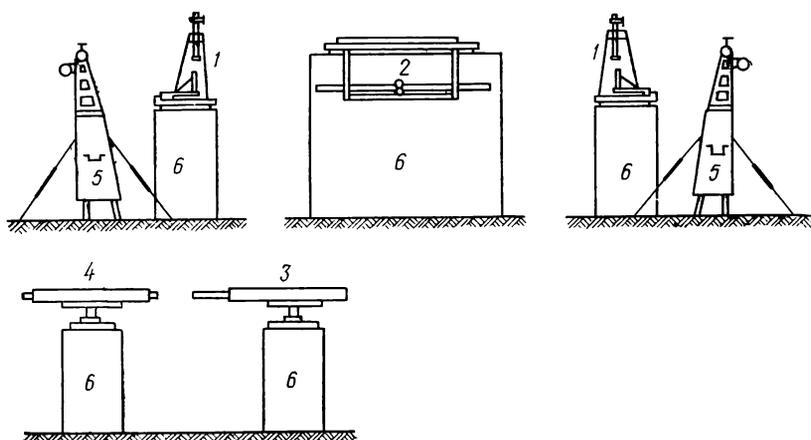


Рис. 12. Интерференционный компаратор ПИК-2

Образцовой мерой в компараторе ПИК-2 служит кварцевая концевая мера, представляющая собой полую трубку из плавленого кварца диаметром около 30 мм. Торцы трубки отполированы под плоскость, и к ним притерты отражающие зеркала. Расстояние между зеркалами равно 1200 мм.

Для измерения длины компаратора необходимо получить совмещенную интерференцию и взять отсчеты по микроскопам с увеличением  $20\times$  и ценой деления 1 мкм.

После определения длины компаратора эталонируют проволоки обычным порядком.

Исследования показали, что ПИК-2 обеспечивает точность эталонирования проволок такого же порядка, что и оптико-механический стационарный компаратор, т. е. не более 15—17 мкм.

В 1951 г. в МИИГАиК была завершена разработка стационарного интерференционного компаратора для эталонирования проволок в лабораторных условиях [23]. При его разработке был использован ПИК-2 с незначительными модификациями. Микроскопмикрометры имели увеличение  $15\times$ . Кварцевая трубка диаметром 32 мм, отполированная в торцах под плоскость, несла два зеркала из пирекса, насаженных способом молекулярного контакта.

Исследования, проведенные в МИИГАиК, показали [22, 23], что точность эталонирования проволок одним приемом на интерференционном компараторе на 30% выше точности эталонирования на оптико-механическом.

Для эталонирования простейших мерных приборов (лент, рулеток) применяют упрощенные варианты компараторов, представляющих собой горизонтальные отрезки, располагаемые на деревянных, металлических или бетонных основаниях, на на-

дежных изолированных фундаментах. Длина отрезков соответствует эталонируемым мерам — 10, 20, 24 или 50 м. Концы отрезков фиксируют штрихами шкал, торцами металлических пластин и другими способами. Отсчетные микроскопы, как правило, отсутствуют. Натяжение мерных приборов осуществляют гири или динамометрами. В качестве образцовых мер, используемых для определения длины компаратора, служат проволоки, инварные или стальные ленты, штриховые меры 3-го разряда. Примером компаратора такого вида является компаратор кафедры геодезии МИИГАиК, описанный в работе [18]. Его метрологические качества характеризуются относительной погрешностью эталонирования порядка  $1 : 100\,000$ .

Для эталонирования мерных приборов в полевых условиях используют базис. Основные особенности последнего заключаются в том, что концы базиса закрепляют центрами со стандартными марками [11], а длина достигает 0,3—12 км в зависимости от типов средств линейных измерений. В дополнение к уже упоминавшимся образцовым средствам для измерения полевых базисов могут применяться высокоточные электромагнитные приборы. Приборы над центрами центрируют оптическим или механическим путем. Относительная погрешность базисов колеблется в широких пределах от  $1 \cdot 10^{-6}$  до  $5 \cdot 10^{-4}$  в зависимости от задач контроля. Сеть базисов образует эталонные полигоны [5].

Для эталонирования нивелирных инварных реек в ЦНИИ-ГАиК разработан малый компаратор МК-1 [33]. Относится к оптико-механическим компараторам лабораторного типа. Составными частями МК-1 являются: рельсовый путь длиной 4 м; два неподвижных микроскопа в кронштейнах, установленных на столбах, на расстоянии 1 м один от другого; тележка для перемещения рейки; две образцовые штриховые меры 3-го разряда (основная и рабочая). Образцовые штриховые меры поверяют на компараторе МИИГАиК. Во время эталонирования реек используют рабочую меру, основная служит для периодического сличения.

На компараторе МК-1 можно эталонировать также и рабочие штриховые меры длиной 1 м. Средняя квадратическая погрешность эталонирования инварных реек и штриховых мер на МК-1 не превышает 0,01 мм.

### Экзаменаторы

Экзаменатор — прибор, предназначенный для исследования и поверки уровней и их ампул. Экзаменатор можно использовать как угломерный прибор при поверке геодезических приборов. Существует большое число разновидностей экзаменаторов [44], отличающихся конструктивным исполнением. Отметим среди них два типа: механические и интерференционные.

Схема устройства обычного механического экзаменатора со штангой показана на рис. 13.

На массивном основании 1 экзаменатора установлен кронштейн 3, несущий штангу 2. Наклон штанги измеряют микрометрическим винтом 4 с лимбом, наконечник которого упирается в каленый подпятник 5. У некоторых видов экзаменаторов на противоположном относительно винта конце штанги располагают противовес 7. Исследуемый уровень 8 размещают в лагерах 6 или на специальном столике, который прикреплен к штанге. В нерабочем положении нагрузка с винта снимается арретиром 9.

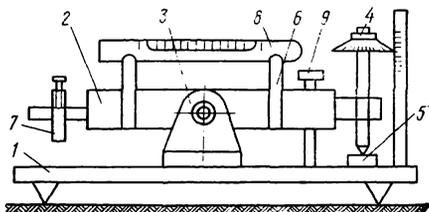


Рис. 13. Экзаменатор

Цену деления лимба винта экзаменатора определяют по формуле

$$\mu = \frac{z\rho''}{lN}, \quad (\text{VII.5})$$

где  $z$  — шаг винта;  $l$  — расстояние от оси вращения штанги до оси винта;  $N$  — число делений лимба;  $\rho'' = 206265''$ .

Вместо микрометрического винта могут применяться оптиметр, шарнирное устройство, механический клин в сочетании с угловой мерой. Представляет интерес круговой экзаменатор. В нем наклон рабочего столика, укрепленного на горизонтальной оси, измеряют с помощью лимба вертикального круга. Отсчитывание по лимбу производят по двум микроскопам с увеличением около  $40\times$ , цена деления барабана  $0,0002^\circ$ . Пределы задаваемых круговым экзаменатором наклонов практически не ограничены. Его достоинством является также возможность самокалибровки.

Точность винтовых экзаменаторов ограничена неизбежными дефектами изготовления винтов и нестабильностью работы с течением времени вследствие износа резьбы и поверхности пятки винта. От указанных недостатков свободен клиновой экзаменатор ЦНИИГАиК, предназначенный для исследования высокоточных уровней. В нем опорой для верхней части служат три шарика, один из которых перемещается по вертикали клиновым механизмом, а два других несут плиту экзаменатора. Клин перемещают измеритель-винтом с барабаном. Для эталонирования клинового механизма экзаменатор снабжен интерферометром Уверского, с помощью которого измеряют перемещение штанги по высоте числом интерференционных полос монохроматического света. Цена деления экзаменатора определяется формулой

$$\mu = \frac{H}{L} \rho'', \quad (\text{VII.6})$$

где  $H$  — линейное перемещение конца штанги;  $L$  — длина штанги.

В конструкции экзаменатора ЦНИИГАиК  $L=765$  мм, диапазон измерений  $60''$ ,  $\mu \approx 1''$ , погрешность определения цены деления  $0,01''$ .

Экзаменатор можно использовать в двух режимах: при исследовании особо точных уровней клиновым механизмом наклоняют столик, а отсчитывают по интерферометру; во всех остальных случаях отсчитывают по измерительному винту, прокалиброванному с помощью интерферометра.

### Коллиматорные стенды

Коллиматорный стенд — опико-механическое устройство, включающее два коллиматора и более, располагаемых на общем массивном основании с поверяемым прибором. Визирные оси коллиматоров должны пересекаться в одной точке, совпадающей с пересечением визирной и горизонтальной осей поверяемого прибора.

В качестве коллиматоров обычно используют зрительные трубы с внутренней или внешней фокусировкой. Фокусное расстояние зрительной трубы должно обеспечивать наблюдения в параллельном ходе лучей. Сетка нитей коллиматора должна иметь подсветку. Измерительные коллиматоры снабжают окулярными микрометрами. Основное назначение коллиматорных стендов — задание направлений и контрольных углов, в том числе и эталонных. Кроме того, измерительные коллиматоры могут применяться при проведении различных исследований теодолитов, нивелиров, тахеометров, дальномеров.

При оценке качества изображения зрительной трубы в фокальной плоскости объектива одного из коллиматоров вместо сетки устанавливают точечную диафрагму или миру. В этом случае необходимо, чтобы фокусное расстояние объектива коллиматора было не менее 1000 мм.

Из известных на практике коллиматорных стендов широкое применение получил УК-1 (рис. 14). Этот коллиматорный стенд используют для проверки теодолитов типов Т2, Т5, Т15, Т30, а также при исследованиях по отдельным параметрам других приборов.

УК-1 состоит из массивного основания 1, на котором установлен кронштейн 2, несущий коллиматоры 3. Последние располагаются таким образом, что образуют контрольные углы: горизонтальные углы  $\beta=30^\circ$ ,  $60^\circ$  ( $\alpha=0^\circ$ ) и  $60^\circ$  ( $\alpha=30^\circ$ ); вертикальные углы  $\alpha=0^\circ$ ,  $\pm 25^\circ$ ,  $\pm 50^\circ$ . Визирные оси коллиматоров вертикального веера находятся в одной плоскости с отклонением не более  $10''$ . Разность высот коллиматоров горизонтального веера не превышает  $3'$ .

Основание коллиматорного стенда горизонтируют с помощью установочных уровней 4 с ценой деления  $30''/2$  мм. Подсветка сеток коллиматоров осуществляется электролампочками напряжением 2,5 В, питание — от сети через трансформатор.

Поверяемый прибор устанавливают на стандартной подставке типа ПО-60, закрепляемой с помощью резьбового соединения 5 на основании стенда.

Фокусные расстояния объективов коллиматоров около 309 мм, предел разрешения  $3,5''$ .

Сетки коллиматоров имитируют бесконечно удаленный предмет и расстояния до предмета 10; 2; 1,5 и 1,2 м. Один из коллиматоров ( $\alpha = -50^\circ$ ) имеет горизонтальную шкалу с ценой деления  $10''$ .

С помощью УК-1 можно проверять: точность измерения горизонтальных и вертикальных углов, смещение визирной зрительной трубы при перефокусировке, неперпендикулярность горизонтальной и вертикальной осей теодолита, коллимационную погрешность и место нуля, коэффициент нитяного дальномера (по контрольному значению параллактического угла).

Более доступным в изготовлении является коллиматорный стенд ПК-1, [15], состоящий из двух коллиматоров с  $f=200$  мм. Один из коллиматоров неподвижен, а другой может перемещаться по дуговой направляющей таким образом, что угол между коллиматорами изменяется от  $15$  до  $100^\circ$ . При исследованиях стенд устанавливают на столбе, размер площадки которого не менее  $50 \times 50$  см. С помощью стенда ПК-1 можно исследовать точность измерения углов, а также определять погрешность диаметров лимба горизонтального круга. Для проверки астрономических теодолитов применяют азимутальный стенд, имитирующий движение небесного светила. Коллиматорные стенды, применяемые за рубежом для определения погрешностей лимбов, имеют много общего с описанными выше [10, 39, 73].

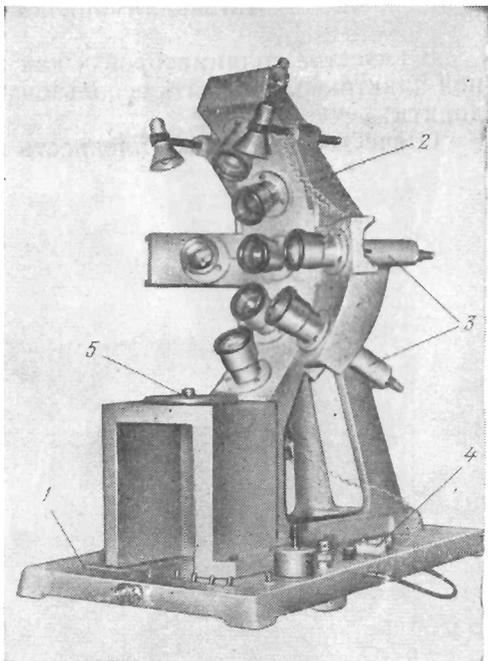


Рис. 14. Коллиматорный стенд УК-1

## Автоколлимационные теодолиты

В качестве коллиматоров и как автоколлиматоры в поверочной практике могут быть использованы автоколлимационные теодолиты.

Отечественная промышленность в настоящее время выпуска-

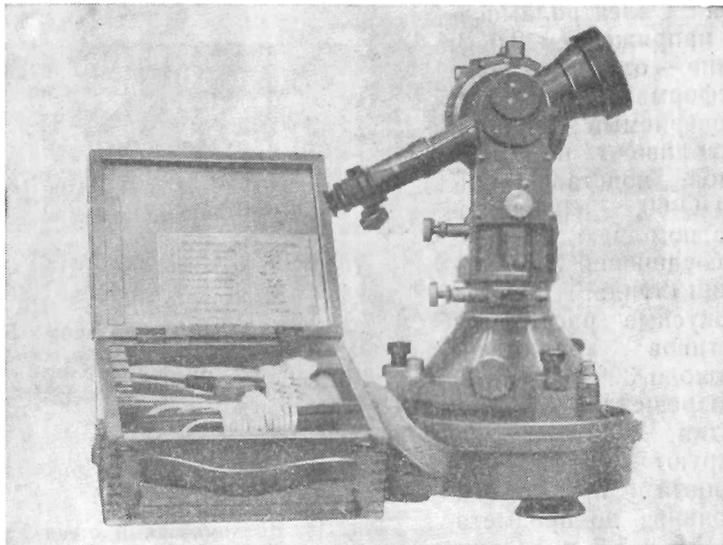


Рис. 15. Угломерный комплект УВК

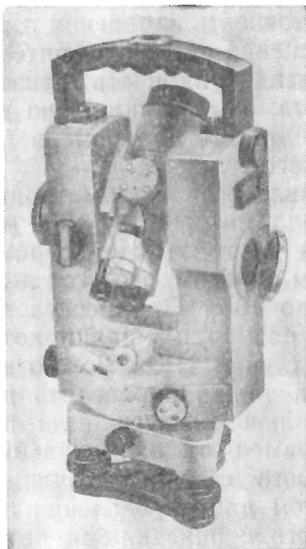


Рис. 16. Теодолит 2Т2А

ет три типа автоколлимационных теодолитов: УВК, 2Т2А, 2Т5А одно-, двух и пятисекундной точности соответственно. Для измерительных целей 2Т5А имеет ограниченное применение. От автоколлиматоров указанные теодолиты выгодно отличаются более широким диапазоном измерений в вертикальной ( $\pm 60^\circ$ ) и горизонтальной ( $360^\circ$ ) плоскостях, портативностью, возможностью центрирования и горизонтирования с высокой точностью.

Угломерный высокоточный комплект УВК состоит из угломера (рис. 15) с автоколлимационным окуляром, штатива, центрировочной плиты, зеркала, столика принудительного центрирования, оптического центра.

Угломер создан на базе теодолита ОТ-1, параметры которого соответствуют типу Т1 по ГОСТ 10529—79. Допускаемая погрешность измерений из одного приема составляет: для горизонтальных углов не более  $1,5''$ , для зенитных расстояний —  $3''$ . Отсчетывание по лимбам производится с помощью оптического микрометра с точностью до  $0,1''$ .

Зрительная труба астрономическая с внутренней фокусировкой, переводится через зенит окулярным концом.

Теодолиты 2Т2А (рис. 16) и 2Т5А являются образцами приборов унифицированной серии 2Т и созданы на основе теодолитов 2Т2 и 2Т5 соответственно. Их параметры отвечают требованиям ГОСТ 10529—79 в отношении типоразмеров Т2 и Т5.

Внешне приборы очень схожи. Различаются они построением оптической отсчетной системы: теодолит 2Т2А относится к приборам с двухсторонней системой отсчета по лимбу с помощью

Т а б л и ц а 64

| Параметры                                | Нормы по типам |          |          |
|--|----------------|----------|----------|
|  | УВК            | 2Т2А     | 2Т5А     |
| Увеличение зрительной трубы, крат        | 30, 40         | 25       | 25       |
| Световой диаметр объектива, мм           | 55             | 35       | 35       |
| Угол поля зрения, °                      | 1,7; 1,3       | 1,5      | 1,5      |
| Наименьшее расстояние визирования, м     | 5              | 2        | 2        |
| Пределы наклона трубы, °                 | $\pm 58$       | $\pm 60$ | $\pm 60$ |
| Цена деления уровня, $''/2$ мм:          |                |          |          |
| при алидаде горизонтального круга        | 8              | 15       | 30       |
| при вертикальном круге                   | 10             | 15       | 15       |
| Рабочий диаметр лимба, мм:               |                |          |          |
| горизонтального круга                    | 135            | 90       | 90       |
| вертикального круга                      | 90             | 65       | 70       |
| Цена деления лимба, $''$ :               |                |          |          |
| горизонтального круга                    | 10             | 20       | 60       |
| вертикального круга                      | 20             | 20       | 60       |
| Высота прибора до оси вращения трубы, мм | 288            | 225      | 225      |
| Масса, кг:                               |                |          |          |
| теодолита                                | 12             | 5,0      | 4,4      |
| футляра                                  | 5,0            | 4,0      | 4,0      |

оптического микрометра, теодолит 2Т5А — прибор с односторонней системой отсчета по шкаловому микроскопу.

С помощью 2Т2А можно вести наблюдения с допустимой погрешностью одного приема: 3" — для горизонтальных углов, 4" — для зенитных расстояний. Для 2Т5А эти погрешности соответственно равны 6 и 12".

В теодолитах 2Т2А и 2Т5А применен автоколлимационный окуляр конструкции И. М. Монченко [13]. Подсветка сетки осуществляется электролампочкой МН 2,5—0,4.

Основные технические параметры автоколлимационных теодолитов указаны в табл. 64.

Указанные приборы выпускаются серийно в комплекте со штативом, зеркалом, принадлежностями для ухода и юстировки.

### Оборудование для поверки лимбов

К оборудованию, применяемому для поверки лимбов, встроенных в прибор, предъявляют следующие основные требования: 1) возможность образования контрольного угла заданной величины; 2) стабильность угла во времени; 3) надежная индикация направлений с помощью испытываемого прибора или контрольно-измерительного устройства.

В настоящее время для указанных целей используют оптико-механическое оборудование, механические упоры, электромеханические и фотоэлектрические приставки. Подробно различные способы образования контрольного угла рассмотрены в работах [37, 39].

Относительно эффективности применения автоколлимационного метода в сочетании с угловыми призматическими мерами в литературе уже сообщалось [32, 41]. Конструкции автоколлиматоров и многогранников нами были рассмотрены в § 30. Представляет интерес разработанная ЦНИИГАиК установка для исследования лимбов (УИЛ), в основе работы которой использован индуктивный принцип фиксирования направлений, реализованный В. Г. Львовым и П. С. Поповым в электронном уровне [11, 31].

УИЛ (рис. 17) состоит из массивного основания 1, с тремя подъемными винтами, на котором укреплены два кронштейна 2, несущие индуктивные датчики 3. На алидадной части поверяемого теодолита 4 закрепляют контактную рамку 5 с наконечником 6, который при измерениях поочередно касается штырей левого и правого датчиков.

В основании УИЛ имеются два выступа с направляющими пазами 7, перемещая по ним кронштейны, можно изменять значение контрольного угла; закрепление кронштейнов в требуемом положении достигается с помощью рукояток 8.

Датчики 3 являются основными чувствительными элементами установки. Коробчатый корпус датчика содержит маятник,

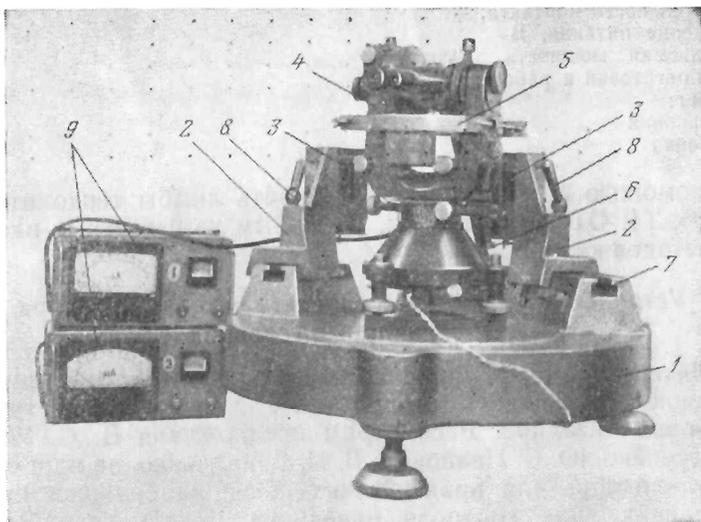


Рис. 17. Установка для исследования лимбов

подвешенный на двух пластинах из бериллиевой бронзы. Маятник несет две пластины из карбонильного железа. В корпусе датчика симметрично относительно маятника установлены сердечники с катушками индуктивности. В нижней части корпуса имеется отверстие для вывода што́ра маятника.

При касании наконечника контактной рамки што́ра меняются воздушные зазоры магнитопроводов, а вместе с этим изменяются и индуктивности катушек, включенных в мостовую схему. При равенстве индуктивный ток в диагонали моста Максвелла равен нулю. Если изменить индуктивность катушек так, чтобы полное сопротивление одной из них увеличилось, а другой уменьшилось, то сигнал диагонали моста станет отличным от нуля. После усиления этот сигнал можно зарегистрировать и по нему оценить изменение индуктивностей.

Индикаторный блок 9 представлен двумя стрелочными приборами типа М24. Каждый из них связан кабелем с соответствующим датчиком. Измерения при поверке лимба на УИЛ ведутся в компенсационном режиме: установка алидады теодолита считается выполненной, если в результате касания (контакта) што́ра маятника наконечником рамки получен заданный отсчет по шкале микроамперметра (например, 0). После этого делают отсчет по лимбу теодолита.

*Основные технические характеристики УИЛ*

Значения контрольных углов . . . . . 24, 30, 36, 40, 45, 60, 75, 90°  
 Длина контактного рычага, мм . . . . . 200

|                              |      |
|------------------------------|------|
| Чувствительность контакта, " | 0,05 |
| Напряжение питания, В        | 12   |
| Потребляемая мощность, Вт    | 1    |
| Время подготовки к работе, ч | 0,5  |
| Масса, кг:                   |      |
| установки                    | 60   |
| датчика                      | 0,8  |

С помощью УИЛ можно исследовать лимбы теодолитов типов Т05, Т1, ОТ02М, УВК, Т2, Т5 любым из известных на практике методов калибровки.

### Устройства для проверки главного условия нивелира в лабораторных условиях

В литературе [3, 17] описано несколько оптико-механических установок для контроля параллельности визирной оси трубы и оси уровня нивелира. Рассмотрим предложения В. С. Усова и Г. В. Дурейко, Ю. С. Иванова и В. Н. Бондаренко, на наш взгляд, представляющие для практических целей наибольший интерес.

Установка для контроля нивелиров (УКН) разработана в МИИГАиК. Принцип действия УКН заключается в получении в поле зрения трубы двух изображений горизонтального штриха сетки поверяемого нивелира.

Схема установки показана на рис. 18. Зрительную трубу 2, поверяемого нивелира располагают перед входным отверстием УКН, заключенного в коробчатый кожух 1. За УКН устанавли-

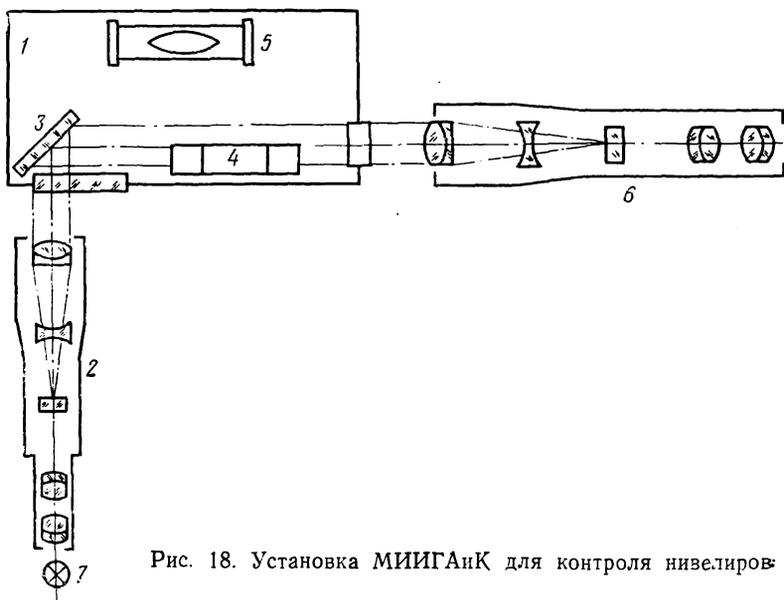


Рис. 18. Установка МИИГАиК для контроля нивелиров

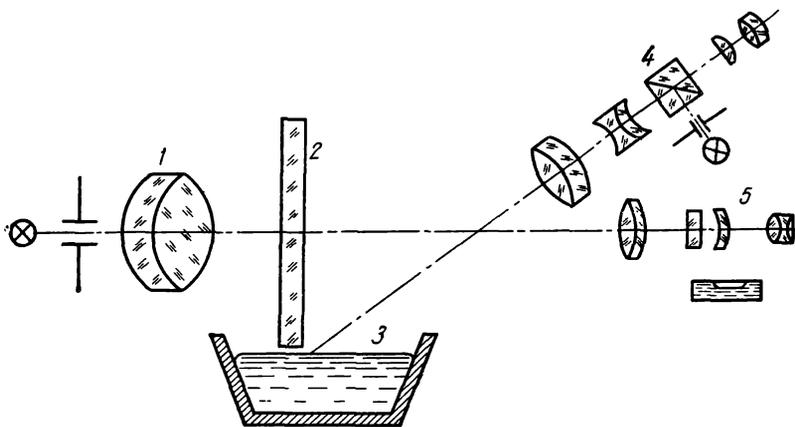


Рис. 19. Установка для проверки главного условия нивелира

вают зрительную трубу 6 измерительного прибора (имеющего окулярный микрометр). Трубы 2 и 6 сфокусированы на бесконечность. Изображение сетки трубы 2, освещаемое лампочкой 7, попадает в поле зрения трубы 6, предварительно пройдя призму Дове 4 и отразившись зеркалом 3. Горизонтирование УКН осуществляется накладным уровнем 5.

Одно изображение сетки строится непосредственно параллельным пучком лучей, поворачиваемым зеркалом 3 на  $90^\circ$  в поле зрения трубы 6. Второе создается горизонтально расположенной отражающей гранью призмы 4, перекрывающей половину пучка лучей.

Принцип работы УКН позволяет не только зафиксировать значение угла  $i$ , но и устранить причину, его вызывающую, действием исправительных винтов уровня нивелира или сетки.

На ином принципе работает установка, предлагаемая в работе [17]. В основе работы этой установки (рис. 19) лежит использование уголкового отражателя, образуемого полупрозрачной плоскопараллельной пластиной 2 и масляным горизонтом 3. Если отражающие поверхности пластины 2 вертикальны, то, используя визирную ось автоколлиматора 1 как эталонную, определяют наклон визирной оси нивелира 6.

Для установки пластины 2 в вертикальное положение служит масляный горизонт 3 и вспомогательный автоколлиматор 4. При значении угла между поверхностями жидкости и пластины, отличным от  $90^\circ$ , в поле зрения автоколлиматора 4 появятся два изображения марки, наклоном пластины 2 добиваются совмещения автоколлимационных изображений марки, при котором угол между поверхностями пластины и жидкости будет равен  $90^\circ$ . Погрешность метода составляет  $2-3''$ .

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аскеров С. В., Беднягин А. А., Захаров А. И. Малый светодальномер 2СМ-2 и результаты его испытаний. — Геодезия и картография, 1977, № 8, с. 53—59.
2. Большаков В. Д., Гайдаев П. А. Математическая обработка результатов геодезических измерений. М., Недра, 1977.
3. Большаков В. Д., Новак В. Е., Ключин Е. Б. Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве. М., Недра, 1976.
4. Бронштейн Г. С., Симонович В. Н. Выявление и учет постоянной ошибки светодальномера при измерении расстояний в комбинациях. — Геодезия и картография, 1973, № 7, с. 17—25.
5. Вировец Ю. Б. Эталонный угловой полигон ЦНИИГАиК. — Геодезия и картография, 1967, № 5, с. 41—45.
6. Витоженец Ч. Ю. Методы исследования оптических теодолитов. М., Воениздат, 1948.
7. Водеников Ю. Н. Светодальномер МСД1М. — Геодезия и картография, 1974, № 5, с. 19—21.
8. Воронков Н. Н., Ашимов Н. М. Гироскопическое ориентирование. М., Недра, 1973.
9. Генике А. А., Ларин Б. А., Назаров В. М. Геодезические фазовые дальномеры. М., Недра, 1974.
10. Деймlich Ф. Геодезическое инструментоведение. Пер. с нем. М., Недра, 1970.
11. Елисеев С. В. Геодезические инструменты и приборы. М., Недра, 1973.
12. Захаров А. И. Новые теодолиты и оптические дальномеры. М., Недра, 1978.
13. Захаров А. И., Спиридонов А. И. Новый автоколлимационный теодолит. — Оптико-механическая промышленность, 1975, № 7, с. 47—48.
14. Захаров А. И., Россомaho Ф. В., Сикорская Л. Н. Светодальномер СМ-5. — Геодезия и картография, 1978, № 9, с. 69—71.
15. Зимин В. М. Стенд для исследования угломерных инструментов. — Геодезия и картография, 1969, № 4, с. 35—38.
16. Иванов Ю. С. Об эталонировании гиротеодолитов по двум направлениям и углу между ними. — Геодезия и картография, 1972, № 1, с. 31—32.
17. Иванов Ю. С., Бондаренко В. Н. Анализ методов и средств поверки нивелиров. — Измерительная техника, 1976, № 2, с. 52—54.
18. Инструкция о построении государственной геодезической сети Союза ССР. М., Недра, 1966.
19. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. М., Недра, 1966.
20. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500. М., Недра, 1973.
21. Кондрашков А. В. Электрооптические и радиогеодезические измерения. М., Недра, 1972.
22. Кондрашков А. В., Ларин П. И., Певнев А. К. О точности эталонирования инварных проволок на интерференционном и оптико-механическом компараторах МИИГАиК. — Труды МИИГАиК, 1959, вып. 36, с. 63—66.
23. Кондрашков А. В. Интерференционный компаратор для инварных

провонок в МИИГАиК. — Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 1966, № 4, с. 37—46.

24. Котков А. В. Применение светодальномеров в промышленности и строительстве и их метрологическое обеспечение. Л., ЛДНТП, 1978.

25. Кочетов Ф. Г. Нивелиры с самоустанавливающейся линией визирования. М., Недра, 1969.

26. Крупн Н. Я. Оптико-механические измерительные приборы. М., Машгиз, 1962.

27. Кузнецов П. Н. Исследование тахеометров и кипрегелей с диаграммами. М., Недра, 1975.

28. Кутырев В. В. Зарубежные средства гироскопического ориентирования. Геодезия и картография, 1977, № 9, с. 55—65.

29. Лазанов П. Е., Буров В. Н., Беляев О. И. Высокоточный светодальномер «Кварц». — Геодезия и картография, 1967, № 11, с. 6—9.

30. Литвинов Б. А., Воронков Н. Н., Лобачев В. М. Геодезическое инструментоведение. М., Недра, 1971.

31. Львов В. Г., Попов П. С. Электронный уровень с индуктивным датчиком. — Геодезия и картография, 1969, № 2, с. 14—17.

32. Мартынов В. Т. Определение погрешностей делений лимбов теодолитов способом калибровки при помощи многогранных призм. — Измерительная техника, 1971, № 1, с. 14—15.

33. Мецкерский И. Н., Кузнецов Ю. Г. Компаратор МК-1. — Геодезия и картография, 1977, № 8, с. 59—61.

34. Михеев В. С. Практикум по курсу «Геодезические приборы». М., Недра, 1974.

35. Назаров В. М. Новый полевой интерференционный компаратор ЦНИИГАиК и результаты его испытаний. — Труды ЦНИИГАиК, вып. 85, 1951, с. 123—140.

36. Рытов А. В. О способах определения угла  $i$  нивелира. — Геодезия и картография, 1972, № 4, с. 30—35.

37. Рытов А. В., Спиридонов А. И. Геодезические приборы для крупномасштабных топографических съемок. М., Недра, 1977.

38. Спиридонов А. И. Некоторые особенности эксплуатации теодолитов с односторонним отсчетом. — Геодезия и картография, 1973, № 5, с. 27—31.

39. Спиридонов А. И. Способы создания постоянного угла при исследовании лимбов. — Геодезия и картография, 1970, № 9, с. 26—32.

40. Спиридонов А. И., Кузьмин М. В. Результаты испытаний высокоточного оптического теодолита Т1. — Труды ЦНИИГАиК, вып. 214, 1975, с. 67—77.

41. Спиридонов А. И., Кузьмин М. В. Применение многогранников для проверки теодолитов. — Измерительная техника, 1978, № 4, с. 30—32.

42. Стародубов В. Л., Сундаков Я. А. Короткобазисная параллактическая полигонометрия. М., Госгеолтехиздат, 1963.

43. Татевян Р. А. Современные зарубежные светодальномеры. ОНТИ ЦНИИГАиК, М., 1976.

44. Товчигречко С. С. Уровни и методы их исследования. М., Стандартгиз, 1965.

45. Хренов Л. С., Матвеев С. И. Новый способ проверки главного условия нивелиров. — Сб.: Геодезические работы в строительстве, ВАГО АН СССР, М., 1977, с. 9—11.

46. Черемисин М. С., Кольцов В. П., Ардасенов В. Д. Нивелиры с компенсаторами (устройство, исследование, применение). М., Недра, 1978.

47. Эйдинов В. Я. Измерение углов в машиностроении. М., Стандартгиз, 1963.

48. Buschmann E. Metrologische Grundlagen der Geodäsie. Vermessungstechnik, 1975, № 10, S. 361—366.

49. Hartmann O. Interferenzrefraktometer für den automatischen Interferenzkomparator des ASMW. Feingerätetechnik, 1978, № 3, S. 108—109.

50. Kukkamäki T. I. Vaisäläinterference Comparator. Publications of the Finnish Geodetic Institute, 1978, № 87, p. 3—49.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |           |
|--|-----------|
| Предисловие . . . . .  | 3         |
| <b>Глава I. Краткие сведения из метрологии . . . . .</b>   | <b>5</b>  |
| § 1. Основные понятия метрологии . . . . .   | 5         |
| § 2. Единицы физических величин . . . . .  | 7         |
| § 3. Система обеспечения единства измерений . . . . .  | 11        |
| § 4. Порядок передачи размера единиц рабочим средствам измерений . . . . .                               | 12        |
| § 5. Методы поверки . . . . .  | 15        |
| <b>Глава II. Общая характеристика геодезических приборов как средств измерений . . . . .</b>             | <b>17</b> |
| § 6. Классификация геодезических приборов . . . . .  | 17        |
| § 7. Стандартизация геодезических приборов . . . . .   | 19        |
| § 8. Эксплуатационные особенности геодезических приборов . . . . .                                       | 20        |
| § 9. Особенности метрологического обслуживания геодезических приборов . . . . .                          | 21        |
| § 10. Основные метрологические характеристики геодезических приборов . . . . .                           | 23        |
| § 11. Некоторые вопросы организации поверочных работ . . . . .   | 25        |
| <b>Глава III. Поверка теодолитов . . . . .</b>   | <b>28</b> |
| § 12. Типы теодолитов и их описание . . . . .  | 28        |
| § 13. Метрологические характеристики теодолитов . . . . .  | 32        |
| § 14. Содержание поверочных работ . . . . .  | 33        |
| § 15. Порядок выполнения отдельных операций поверки теодолитов . . . . .                                 | 34        |
| <b>Глава IV. Поверка нивелиров . . . . .</b>   | <b>58</b> |
| § 16. Краткий обзор современных нивелиров . . . . .  | 58        |
| § 17. Содержание поверочных работ для нивелиров . . . . .  | 60        |
| § 18. Содержание поверочных работ для нивелирных реек . . . . .  | 71        |
| <b>Глава V. Поверка геодезических приборов для измерений длин линий . . . . .</b>                        | <b>77</b> |
| § 19. Электромагнитные дальномеры . . . . .  | 77        |
| Характеристика некоторых типов электромагнитных дальномеров . . . . .                                    | 77        |
| Содержание поверочных работ . . . . .  | 79        |
| Проведение поверки свето- и радиодальномеров . . . . .   | 80        |
| § 20. Поверка дальномеров двойного изображения . . . . .   | 87        |
| Типы дальномеров двойного изображения и их основные метрологические характеристики . . . . .             | 87        |
| Содержание поверочных работ . . . . .  | 88        |
| Выполнение отдельных операций поверки дальномеров . . . . .  | 88        |
| § 21. Поверка рулеток и землемерных лент . . . . .   | 96        |
| Краткий обзор применяемых рулеток и землемерных лент . . . . .   | 96        |
| Содержание и порядок выполнения поверочных работ для рулеток . . . . .                                   | 97        |
| Содержание и порядок выполнения поверочных работ для землемерных лент . . . . .                          | 100       |
| § 22. Поверка оборудования для измерения длин линий коротко-базисным параллактическим способом . . . . . | 100       |

|  |            |
|--|------------|
| Состав и краткая характеристика оборудования . . . . .   | 101        |
| Поверка базисной рейки . . . . .   | 102        |
| <b>Глава VI. Поверка приборов для съемочных работ . . . . .</b>  | <b>107</b> |
| § 23. Краткий обзор приборов для наземных топографических<br>съепок . . . . .  | 107        |
| § 24. Содержание и порядок выполнения поверочных работ для<br>кипрегелей . . . . .                                   | 110        |
| § 25. Содержание и порядок выполнения поверочных работ для<br>тахеометров . . . . .                                  | 115        |
| § 26. Содержание и порядок выполнения поверочных работ для<br>буссолей . . . . .                                     | 117        |
| <b>Глава VII. Поверка гиротеодолитов . . . . .</b>   | <b>120</b> |
| § 27. Краткий обзор современных гиротеодолитов, применяемых в<br>геодезическом производстве . . . . .                | 120        |
| § 28. Содержание и порядок выполнения поверочных работ . . . . .   | 123        |
| <b>Глава VIII. Контрольно-измерительные приборы . . . . .</b>  | <b>130</b> |
| § 29. Классификация контрольно-измерительных средств, применяе-<br>мых для поверки геодезических приборов . . . . .  | 130        |
| § 30. Оптико-механические контрольно-измерительные приборы<br>общего назначения . . . . .                            | 131        |
| Автоколлиматоры . . . . .  | 132        |
| Гониометры . . . . .   | 133        |
| Меры угловые призматические . . . . .  | 135        |
| Уровни . . . . .   | 136        |
| Измерительные микроскопы . . . . .   | 138        |
| Измерительные машины . . . . .   | 139        |
| Катетометры . . . . .  | 140        |
| § 31. Общие сведения о радиоизмерительных приборах . . . . .   | 142        |
| § 32. Специализированные контрольно-измерительные приборы для<br>поверочных работ в геодезической практике . . . . . | 143        |
| Компараторы . . . . .  | 143        |
| Экзаматоры . . . . .   | 146        |
| Коллиматорные стенды . . . . .   | 148        |
| Автоколлимационные теодолиты . . . . .   | 150        |
| Оборудование для поверки лимбов . . . . .  | 152        |
| Устройства для поверки главного условия нивелира в лабора-<br>торных условиях . . . . .                              | 154        |
| <b>Список литературы . . . . .</b>   | <b>156</b> |

**АНАТОЛИЙ ИВАНОВИЧ СПИРИДОНОВ,  
ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ КУЛАГИН,  
МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ КУЗЬМИН**

## **ПОВЕРКА ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ**

*Редактор издательства Э. Н. Чумаченко  
Переплет художника В. Б. Строганова  
Художественный редактор Е. Л. Юрковская  
Технический редактор Т. П. Локтионова  
Корректор Т. Ю. Шульц*

ИБ № 3416

---

Сдано в набор 10.02.81. Подписано в печать 18.05.81. Т-08874.  
Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub> Бумага типографская № 1 Гарнитура «Литературная»  
Печать высокая. Усл. п. л. 10,0. Усл. кр-отт. 10,25. Уч.-изд. л. 9,95.  
Тираж 12 600 экз. Заказ № 165/7759—15. Цена 55 коп.

---

Издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19.

Московская типография № 6 Союзполиграфпрома  
при Государственном комитете СССР  
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.  
109088, Москва, Ж-88, Южнопортовая ул., 24.

