ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
ПРИ СОВЕТЕ МИНИСТРОВ СССР

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ, КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ИНСТРУКЦИИ,
НОРМЫ И ПРАВИЛА

УТВЕРЖДЕНО
Главным управлением геодезии
и картографии
при Совете Министров СССР
26 февраля 1981 г.

РУКОВОДСТВО ПО АСТРОНОМИЧЕСКИМ ОПРЕДЕЛЕНИЯМ

ГКИНП —01—153—81

ИЗДАНИЕ ОФИЦИАЛЬНОЕ

Обязательно для предприятий, организаций и учреждений
системы Главного управления геодезии и картографии
при Совете Министров СССР

МОСКВА «НЕДРА» 1984

gost.e-ecolog.ru

УДК 528 28

Руководство по астрономическим определениям: Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила.— М.: Недра, 1984.— 381 с. (Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР).

Приведены обязательные требования к выполнению высокоточных астрономических определений на пунктах астрономо-геодезических сетей, изложена методика наблюдений и даны схемы вычислений при определениях широт, долгот и азимутов. Описаны способы определения координат и азимутов, основанные на применении современных высокоточных астрономических методов и приборов в различных широтных условиях. Установлены требования и дана методика при определении азимутов с погрешностью $\pm 2''$, а также для приближенных астрономических определений, необходимых при выполнении работ на астропункте.

Предназначено для предприятий, организаций и учреждений системы ГУГК. Может быть использовано специалистами геодезических предприятий и отделов.

Табл. 144, ил. 68, список лит.— 28.

Разработано Центральным научно-исследовательским институтом геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф. Н. Красовского (ЦНИИГАиК).

В составлении Руководства принимали участие ст. инж. А. В. Ермоленко (разд. 2, 5, 7, 10, 11), инж. А. А. Исаев (разд. 9), канд. техн. наук В. Г. Львов (разд. 3, 6, 7, 10, 11), канд. техн. наук В. З. Халхунов (разд. 2, 3, 4, 11), ведущий инж. О. В. Черневский (разд. 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 12), ст. науч. сотрудник В. И. Шашкин (разд. 10, 11).

С введением в действие настоящего «Руководства по астрономическим определениям» использование «Практического руководства по геодезической астрономии» (Труды ЦНИИГАиК, 1962, вып. 148) не рекомендуется.

Р $\frac{1902020000-152}{043(01)-84}$ 107—83

© Издательство «Недра», 1984

1. ВВЕДЕНИЕ

Одной из составных частей в работах по построению Государственной геодезической сети являются астрономические определения координат и азимутов. По точности исполнения они должны удовлетворять следующим стандартным требованиям.

Средняя квадратическая погрешность определения широты пункта, выведенная по внутренней сходимости результатов ее многократного измерения, не должна превосходить 0,30″. Погрешность определения долготы — не более $0{,}03^s$, при этом учитывается погрешность лично-инструментальной разности. Погрешность определения астрономического азимута, выводимая по внутренней сходимости измерений 18 приемами по Полярной, должна быть не более 0,5″, а в определениях геодезического азимута непосредственно из наблюдений звезд — не более 0,7″, с учетом погрешности азимутальной лично-инструментальной разности.

Указанная точность реальна, если надежно исключены различного рода систематические погрешности, прежде всего инструментальные, а также личные, присущие самому наблюдателю. Погрешности особенно велики в определениях долготы и азимута на пунктах, расположенных в высоких широтах. В заполярной зоне возникают еще и трудности при исполнении астрономических наблюдений в условиях полярного дня.

Все это потребовало совершенствования астрономических теодолитов и приборов, методов их исследования, уточнения методики наблюдений звезд, разработки новых, более эффективных способов астрономических определений в высоких широтах.

Необходимость в составлении нового Руководства была обусловлена тем, что «Практическое руководство по геодезической астрономии» (Труды ЦНИИГАиК, вып. 148), изданное в 1962 г., к настоящему времени заметно устарело: за истекший период в геодезической астрономии произошли значительные изменения как в части применяемых астрономических теодолитов и приборов, так и в методах астрономических определений, а также и в вычислительной технике.

В астрономо-геодезическом производстве кроме отечественного теодолита АУ 2/10 применяются оптические теодолиты швейцарских фирм — Вильд Т4 и ДКМ3-А, снабженные контактными микрометрами.

Находит применение фотоэлектрическая регистрация моментов прохождения звезд. Для фиксирования моментов наблюдения звезд (и приемов радиосигналов) успешно применяются цифропечатающие хронографы. Разработаны радиоприемник «Астра» и кварцевый хронометр «Альтаир». Создан ряд новых приборов: «Искусственная звезда», многодиапазонные экзаменаторы, азимутальный стенд и т. п.

Применение кварцевых хронометров, обеспечивающих хранение времени с высокой точностью в течение больших интервалов, и современного типа высокочувствительных обладающих большой избирательной способностью всеволновых радиоприемников, а также наличие более совершенной системы передач радиосигналов времени вызвали значительное изменение программ астрономических определений.

Использование при окончательной обработке наблюдений в стационарных условиях больших ЭВМ и микрокалькуляторов в полевых позволяет не только упростить, но и привести к единообразию основные рабочие формулы и схемы для вычислений как в зенитальных, так и в азимутальных способах астрономических определений.

Разработаны и прошли испытание в полевых условиях способы определений геодезического азимута и координат в высоких широтах:

определение геодезического азимута из многократных наблюдений ярких звезд вблизи меридиана;

способы многократного измерения — широты по зенитальным и долготы по азимутальным наблюдениям пар ярких звезд вблизи меридиана;

способ совместного определения координат по азимутальным наблюдениям пар ярких звезд на равных высотах.

Произведено уточнение методов наблюдений звезд с применением микрометра, разработаны рекомендации по ослаблению влияния наклона подвижной нити при определении широты по способу Талькотта в произвольных малых часовых углах.

Для лабораторных исследований астрономических теодолитов созданы прибор «Искусственная звезда», экзаменаторы новой конструкции и специальный коллиматорный стенд, позволяющий определять неправильности в положениях визирной оси при установках трубы на различные зенитные расстояния.

Вместо устаревших Каталога 1967 звезд и Программы способа Талькотта применяются Каталог геодезических звезд (КГЗ-2), содержащий 2957 звезд с редукциями их координат на современную систему международного каталога FK 4, и Рабочие эфемериды способа Талькотта для широтной зоны от +35 до +65°. Кроме того, на основе нового Каталога геодезических звезд (КГЗ-3, 4949 звезд, эпоха координат 1990,0), охватывающего все небо, составлены Рабочие эфемериды пар Талькотта для всех широт.

В настоящем Руководстве описание астрономических теодолитов и приборов, методов исследования их, а также изложение способов наблюдений и обработки материалов произведено в расчете на то, что общая теория астрономических теодолитов, приборов, способов астрономических определений исполнителю работ известна.

Так как методы астрономических определений используются нашими геодезистами, выполняющими съемочные работы в не-

которых частях южного полушария Земли, например в порядке оказания помощи развивающимся странам и ежегодно с научными целями в Антарктиде, то при изложении были отмечены особенности наблюдений и обработки результатов в условиях южных широт.

В тексте приняты следующие сокращенные названия:

АЕ — Астрономический ежегодник СССР [1];

АТ — Таблицы по геодезической астрономии (см. приложение).

Основные обозначения, принятые в Руководстве:

φ — астрономическая широта. Для северного полушария со знаком «плюс» (обычно знак опускается), для южного «минус»;

λ — астрономическая долгота. К востоку от Гринвича считается положительной, к западу — отрицательной;

α — прямое восхождение светила;

δ — склонение } Экваториальные координаты

t — часовой угол } звезды или Солнца;

Δ — полярное расстояние светила; $\Delta = 90° - \delta$;

z — зенитное расстояние светила;

h — высота светила;

B — геодезическая широта;

L — геодезическая долгота;

N, S, E, W — страны света: север, юг, восток, запад;

U — поправка часов (хронометра) относительно Гринвичского времени;

u — поправка часов относительно местного времени;

ω — ход хронометра;

X — показания хронометра в момент приема сигналов времени;

T — показания хронометра в момент наблюдения (измерения) светила;

s — местное звездное время;

S — гринвичское звездное время;

S_0 — звездное время (истинное) в среднюю гринвичскую полночь;

UT1 — всемирное время — время среднего гринвичского меридиана, определяемого средними положениями полюсов Земли;

UTC — координированное (согласованное) время (в равномерной шкале атомного времени). Часы и минуты совпадают с UT1;

D_M — московское время. Отличается от координированного зимой на 3^h, летом на 4^h; $D_M = \text{UTC} + 3\text{h}$ или $D_M = \text{UTC} + 4^h$;

ET — эфемеридное время;

μ — коэффициент перевода среднего времени в звездное, равный 0,002737909;

ν — коэффициент перевода звездного в среднее время, равный 0,002730434;

MZ — место зенита на вертикальном круге;

$MN(S)$ — место севера (юга) на горизонтальном круге;

КЛ, КП — положение верхней части теодолита — вертикальный круг слева, справа;

МЛ, МП, М — отсчеты по горизонтальному или вертикальному кругу при положениях соответственно КЛ, КП и средний отсчет;

Q — горизонтальный угол между направлениями A и B, $Q = M_B - M_A$;

C — коллимационная ошибка;

Ψ — наклон горизонтальной нити микрометра;

t °С — температура в градусах по шкале Цельсия;

ρ — вертикальная рефракция;

ЛИР — долготная лично-инструментальная разность;

АЛИР — азимутальная лично-инструментальная разность;

R — цена оборота винта микрометра;

$\mu_{тг}$, $\mu_{пт}$ — цена одного деления винта микрометра соответственно главной и поверительной труб;

τ — цена одного деления уровня;

$m(\mu)$ — средняя квадратическая погрешность единицы веса;

M — средняя квадратическая погрешность среднего значения из n измерений;

Δ — обозначение для поправок. Рядом с этим символом должен стоять второй, показывающий, куда вводится поправка, и третий, подстрочный, за что она вводится. Например, Δa_r — поправка в азимут за редукцию визирной цели.

Сокращения, употребляемые как подстрочные при обозначении поправок:

аб — за аберрацию;

r — за редукцию визирной цели;

I — за центрировку теодолита;

γ — за сближение меридианов;

ц — за неправильности цапф;

w — за ускорение;

p — за движение полюса;

мш — за мертвый ход и ширину контактов;

бг — за боковое гнутие;

вл — за смещение визирной линии;

$в$ — за уровень.

2. ОБЩАЯ ЧАСТЬ

2.1. ОРГАНИЗАЦИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Выбор способа производится заранее, при составлении проекта. При этом учитывается ряд факторов:

— определяемые элементы (широта, долгота и астрономический азимут; геодезический азимут);

— расположение района работ по широте;

— наличие теодолитов и приборов (в частности фотоэлектрической установки);

— сезон предстоящих определений (особые требования к способу возникают при работе в летний период в высоких широтах);

— условия передвижения астрономической партии.

При выполнении полных определений рекомендуется использовать два теодолита, один — устанавливаемый на столике сигнала — для определения азимута, второй — внизу на столбе — для наблюдения широты и долготы. Это приводит к значительному повышению производительности труда.

Требования к астрономическому столбу изложены в 2.2.

Размещение всей аппаратуры на пункте должно выполняться продуманно. Непосредственно у астростолба или на сигнале находятся только вспомогательный хронометр или часы, необходимые для нахождения звезд по эфемеридам, и пульт управления. Остальные приборы, в том числе и основной хронометр, удобно располагать в палатке. Связь между наблюдателем и помощником осуществляется по проводам. Возможно для этой цели использование телефонной или радиосвязи.

При азимутальных определениях необходимо обеспечить высоту визирного луча над препятствием не менее 6 м во всех районах страны. Если рельеф местности позволяет наблюдать азимут с земли, то его определяют со столба, установленного приблизительно в створе наблюдаемого направления.

Астрономический столб как для определения азимута, так и для определения широт и долгот должен находиться не далее 80 м и не ближе высоты сигнала от центра пункта.

Палатка должна быть установлена от центра на расстоянии, превышающем 1,2 высоты знака.

На расстоянии $\geqslant 0{,}5$ км (в лесных районах $\geqslant 0{,}25$ км) от центра пункта устанавливается мира. Она используется для ориентирования теодолита. Азимут миры находится одним из приближенных способов (9.3.1 и 9.3.2). В отдельных случаях необходимо знать приближенные значения широты и долготы, они определяются по способам раздела 9.

Методика определения астрономического и геодезического азимутов с погрешностями $\pm 2''$ изложена в 6.6 и 6.7. Необходимость в таких наблюдениях возникает при решении задач,

связанных с ориентированием полигонометрических сетей 3—4 классов.

Вспомогательные (эфемеридные) часы должны быть установлены по местному звездному времени, основные часы — в зависимости от того, являются ли они звездными или средними — соответственно по местному звездному времени или по координированному. Средние часы могут быть установлены и по московскому времени. Для того чтобы установить на часах показание, соответствующее тому или другому времени, необходимо знать поправку часов. Она определяется по приему радиосигналов точного времени, как указано в 2.3.

При наблюдении запись результатов производят в журналы специально установленной формы. Часть вычислительной обработки выполняют непосредственно в журналах.

До отъезда с пункта выполняют полевые вычисления, позволяющие судить о качестве наблюдений. Полевые вычисления широт и долгот необходимы также для использования их результатов при обработке азимутов. При обработке долготных определений при полевых вычислениях достаточно для опытного астронома ограничиться $^1/_3$ объема наблюденных пар. Образцы полевых вычислений с необходимой точностью даны на страницах Руководства.

По окончании сезона (после определения заключительной лично-инструментальной разности) астроном составляет полевой технический отчет, содержащий основные сведения о наблюдениях.

При окончательной обработке следует использовать точные формулы и схемы из Руководства, но целесообразнее, конечно, применить ЭВМ. Материалы Руководства достаточны для составления программ.

При камеральной обработке координаты звезд должны быть взяты в системе FK4 или в системе подготавливаемого к изданию нового каталога FK5.

Все широты, долготы и азимуты должны быть приведены к Условному международному началу — полюсу *OCI* (см. 8.4), центру пункта (8.1 и 8.2), а азимуты, кроме того, к референц-эллипсоиду (8.3).

Основной системой времени является система всемирного времени $UT1_{SU}$, вычисляемая Государственной службой времени и частоты СССР. Для астрономических определений вне территории Советского Союза разрешается использовать всемирное время $UT1_{МБВ}$ (Международного бюро времени).

2.2 АСТРОНОМИЧЕСКИЙ СТОЛБ

Основными требованиями, которым должен удовлетворять астрономический столб, являются его сохранность и устойчивость при воздействии ежесуточных, сезонных и многолетних климатических факторов. Названные требования будут выпол-

нены, если строительство астростолба произвести следующим образом.

На возвышенном месте, не подверженном затоплению в паводок, с которого обеспечиваются наблюдения земной визирной цели и звезд на нужных зенитных расстояниях, роется котлован (рис. 2.1) размером 3 × 3 м в верхней и 2,5 × 2,5 м в нижней части. Котлован должен быть на 1 м ниже глубины сезонного промерзания грунта в данном районе. На дно котлована засыпается песок *1* слоем 50 см. На утрамбованную поверхность песка укладывается гравийно-бетонная подушка *2* с размерами в плане 2×2 и высотой 20 см. В качестве подушки может быть использована готовая железобетонная плита. На подушке строится бетонное или кирпичное основание *4* астростолба, имеющего в поперечнике 1×1 м. Верхняя площадка основания должна возвышаться над поверхностью естественного почвенного покрова на 0,5 м. На площадке основания выкладывается кирпичный астрономический столб *7* высотой 120 см и с размерами в поперечнике 0,5×0,5 м. Наружные поверхности основания покрываются гидроизоляцией. В песок котлована укладывается якорь заземления, шина от которого выводится к астростолбу на поверхность. После этого котлован засыпается землей *3*. Для отвода дождевой воды от столба делают откосы. Вокруг столба строится помост *6*, нижняя поверхность которого должна располагаться на 15 см выше площадки основания. Помост не должен иметь точек касания с астростолбом. Опоры помоста *5* должны находиться на расстоянии 1 м и более от внешних обводов астростолба. В верхней части столба строят опалубку высотой 20 см, которую заливают бетоном, образующим после отвердевания инструментальный столик *8*. Поверхность бетона тщательно выравнивается. Центр столба обозначается стандартной маркой *9*, вбетонированной в столик. Столб штукатурится и после высыхания окрашивается в белый цвет.

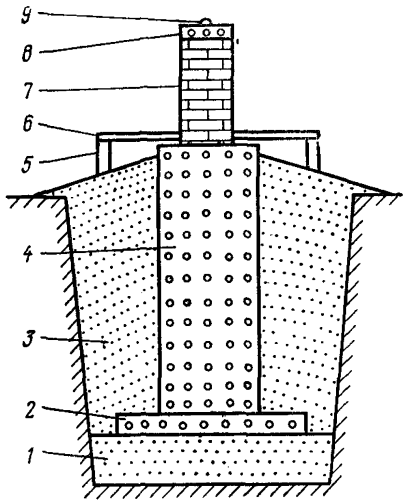


Рис. 2.1. Астрономический столб

2.3. ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОПРАВКИ ХРОНОМЕТРА ПО ПРИЕМУ РАДИОСИГНАЛОВ ВРЕМЕНИ

Поправкой часов (хронометра) называют величину, которую надо прибавить к показанию часов X, чтобы получить точное время T. Следовательно,

$$u = T - X. \tag{2.1}$$

Для поправки часов должен быть указан момент, на который она вычислена.

Изменение поправки за единицу времени называют ходом ω часов. Ход может быть отнесен к различным единицам времени. Говорят о суточном ходе часов, часовом, минутном и т. д. (ω_d, ω_h, ω_m)

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{T_2 - T_1}. \tag{2.2}$$

Различают ход по отношению к среднему солнечному времени и ход по отношению к звездному времени. Хронометр называют средним или звездным. Средний хронометр имеет малый ход (порядка нескольких секунд в сутки или значительно меньше) относительно шкалы среднего времени, а звездный — относительно шкалы звездного времени.

Кроме того, необходимо различать, как поставлен хронометр. Средний хронометр может быть поставлен (т. е. иметь малую поправку) по координированному, местному среднему солнечному, московскому и даже по местному звездному времени.

В последнем случае его поправка, вычисленная по отношению к звездному времени, будет быстро изменяться.

Для вычисления поправки хронометра используют эталонные радиосигналы точного времени. В момент приема радиосигнала отсчитывают показание хронометра. Зная время подачи радиосигнала, по формуле (2.1) находят поправку хронометра. Для повышения точности используется несколько сигналов.

В качестве основной шкалы времени в геодезической астрономии используют шкалу всемирного времени UT1, базирующуюся на фактическом вращении Земли вокруг оси, полученную из астрономических наблюдений и учитывающую колебание полюса. Для вычисления T, входящего в формулу (2.1), момент сравнения, зафиксированный по приему радиосигналов, должен быть приведен к шкале UT1. Однако в силу неравномерности вращения Земли шкала времени UT1 является неравномерной и потому невоспроизводимой с помощью технических средств. Эталонные сигналы времени, передаваемые радиостанциями, даются по шкале координированного времени UTC на базе равномерной шкалы атомного времени (AT). Единичный интервал — секунда — в этой шкале равен атомной секунде, принятой в качестве основной единицы в международной системе единиц (СИ).

Для обеспечения максимального приближения к шкале UT1 счет координированного времени по шкале UTC может дискретно меняться на 1 с с первого числа месяца в 00 часов всемирного времени (координироваться) таким образом, чтобы различие со шкалой UT1 не превышало 0,8 с. Таким образом, разность UT1 — UTC всегда $\leqslant$ 0,8 с.

Все эталонные сигналы времени, передаваемые радиостанциями СССР, в том числе и широковещательные сигналы «шесть точек» СПВ (сигналы проверки времени), формируются на базе шкалы координированного времени Советского Союза UTC_{SU}. Часы и минуты этой шкалы совпадают с международным координированным временем $UTC_{МБВ}$ и всемирным временем UT1.

В повседневной жизни для приближения к местному солнечному времени в зависимости от часового пояса ко времени UTC прибавляется целое число часов. Так, Москва в настоящее время живет по времени, отличающемуся от координированного на 3 ч зимой $D_М = UTC + 3^h$ и на 4 ч летом $D_М = UTC + 4^h$. Для астрономических определений необходимо пользоваться всемирным временем UT1.

Для перехода от шкалы UTC к шкале UT1 Государственной комиссией единого времени и эталонных частот СССР ежеквартально выпускаются бюллетени «Всемирное время», серия *E*, содержащие точные разности $(UT1 - UTC)_{SU}$ в $0{,}0001^s$ на 0^h всемирного времени каждых суток для советских и некоторых зарубежных радиостанций [5]. Кроме того, выпускаются еженедельные бюллетени серии *A* [4], которые дают срочные (предварительные) данные о разности шкал (UT1 — UTC) для советских и зарубежных станций с двухнедельной задержкой. Этих данных часто бывает достаточно для окончательной обработки астроопределений.

Во многих случаях бывает достаточно знать еще более приближенное значение разности $(UT1 - UTC) = (DUT1 + dUT1)$, передаваемое радиостанциями в эфир с помощью кода при передаче секундных сигналов после каждого минутного сигнала времени путем маркирования дополнительными импульсами соответствующих секундных сигналов.

Информация *D*UT1 передается как советскими, так и зарубежными станциями с точностью $0{,}1^s$. Кроме того, радиостанции СССР передают дополнительную информацию *d*UT1 с точностью $0{,}02^s$.

Положительное значение *D*UT1 передаётся маркированием n секундных сигналов в интервале от 1 до 8 с, так что $DUT1 = +0{,}1^s n$. Отрицательное значение *D*UT1 передается маркированием m секундных сигналов в интервале от 9 до 16 с, так что $DUT1 = -0{,}1^s m$.

Положительное значение *d*UT1 передаётся маркированием секундных сигналов в интервале от 21 до 24 с, так что $dUT1 = +0{,}02^s p$. Отрицательное значение — маркированием секундных сигналов в интервале от 31 до 34 с, так что $dUT1 = -0{,}02^s q$.

Пример. Маркированы 9-й, 10-й, 11-й, 21-й и 22-й секундные сигналы в серии; $m = 3$, $p = 2$. Найти разность шкал UT1 и UTC.

$$DUT1 + dUT1 = 3(-0{,}1^s) + 2(+0{,}02^s) = -0{,}26^s.$$

Если средний хронометр установлен по всемирному или координированному времени, то его поправка относительно шкалы

всемирного времени определяется очень просто, поскольку в этом случае всемирное время в момент приема радиосигнала равно

$$\mathrm{UT1} = \mathrm{UTC} + (\mathrm{UT1} - \mathrm{UTC}) + DT, \qquad (2.3)$$

где UTC — координированное время подачи радиосигнала; (UT1 — UTC) — разность шкал всемирного и координированного времен, интерполируемая из бюллетеней серий E или A на момент сравнения и заменяемая (когда это возможно) приближенным ее значением $D\mathrm{UT1} + d\mathrm{UT1}$; DT — поправка для данной конкретной радиостанции. Ее приближенное значение дается в бюллетенях серии A, окончательное — в бюллетенях серии E. Для советских радиостанций обычно $DT = 0$.

В соответствии с этим поправка хронометра, установленного по всемирному времени, относительно шкалы ИТ1

$$u = \mathrm{UTC} + (\mathrm{UT1} - \mathrm{UTC}) - (X - \tau_p) \qquad (2.4)$$

или

$$u = \mathrm{UTC} + (D\mathrm{UT1} + d\mathrm{UT1}) - (X - \tau_p), \qquad (2.5)$$

где τ_p — задержка сигнала, обусловленная конечной скоростью распространения радиоволн (выражают в тысячных долях секунды), ее выбирают из таблицы АТ или вычисляют по формуле

$$\tau_p = +\,0{,}9 + 3{,}25\,(L/1000), \qquad (2.6)$$

где $L = 1{,}852Z$ — расстояние между передатчиком и приёмником, вычисленное по дуге большого круга Земли в км, Z — центральный угол в минутах дуги, соответствующий дуге большого круга между пунктами передачи и приема

$$\cos Z = \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos\Delta\lambda, \qquad (2.7)$$

где φ_1, φ_2 — широты пунктов передачи и приема (с точностью до минуты), $\Delta\lambda$ — разность долгот (с точностью до угловой минуты).

При обработке астроопределений возникает необходимость вычисления поправки хронометра u относительно местного звездного времени. Общая формула для вычисления этой поправки в момент приема сигналов имеет вид

$$u = [\mathrm{UTC} + (\mathrm{UT1} - \mathrm{UTC}) + DT](1 + \mu) + S_0 + \lambda - (X - \tau_p), \qquad (2\,8)$$

где $\mu = 0{,}0027379$ — коэффициент перехода от среднего времени к звездному; S_0 — истинное звездное время в Гринвичскую полночь, т. е. на 0^h всемирного времени, S_0 выбирают из таблицы «Звездное время» АЕ; λ — долгота пункта, считаемая положительной к востоку от Гринвича.

Отличие звездного хронометра от среднего состоит лишь в том, что для первого поправка хронометра и ход — величины небольшие, а это позволяет при интерполировании поправки на момент наблюдения звезд обходиться меньшим числом знаков. При современном развитии вычислительной техники указанный недостаток средних хронометров не является принципиальным. Средний хронометр целесообразно устанавливать по всемирному

(точнее координированному) времени — это удобно при приеме радиосигналов, ибо шкала UTC и шкала хронометра практически в этом случае совпадают. При производстве наблюдений (нахождении звезд по эфемеридам) необходимы звездные часы, (звездный хронометр, секундомер, ручные и вообще любые часы, показывающие местное звездное время). Необходимость в специальных эфемеридных часах отпадает, если используемый средний хронометр установить по местному звездному времени. Тогда поправка этого хронометра по отношению к звездному времени не превысит в данном вечере 2^m, каждый час хронометр будет отставать примерно на 10^s.

Практически поправку хронометра автоматическим способом с записью на ленту хронографа радиосигналов времени (UTC) и показаний хронометра (X) определяют следующим образом.

Ознакомившись с расписанием передач эталонных сигналов точного времени (бюллетень В), настраиваются на частоту выбранной радиостанции. Хронометр, поправку которого определяют, приставку для приема радиосигналов, регистратор и радиоприемник подключают и готовят к работе в соответствии с правилами, изложенными в разделах 10.5.2 и 10.6. С началом очередной серии секундных сигналов включают регистратор, записывают на ленте дату наблюдений, название радиостанции. Особое внимание уделяют записи минуты по координированному времени UTC. Для этой цели используют кварцевые, электронные ручные часы, если таковые имеются в бригаде; можно использовать и средний хронометр, если приближенная поправка его известна.

Лучший же способ, особенно в том случае, когда прием сигналов начат не с первой минуты серий, — подождать конца серии сесекундных сигналов или воспользоваться тем, что в соответствии с программой сигналы времени 56, 57, 58, 59 с каждой ($5n$ — 1)-й мин пропускаются ($n = 1, 2, \ldots, 12$). Например, для радиостанции РВМ в серии секундных сигналов с 10-й по 20-ю мин пропуски будут с 14^m55^s по 15^m00^s и с 19^m55^s по 20^m00^s. После начала очередной минуты координированного времени переключают перья (марки) хронографа. Таким образом, часть принятых сигналов будет принята при одном положении переключателя, а другая — при втором. Записывают номера маркированных секунд для определения величины

$$D\mathrm{UT1} + d\mathrm{UT1}.$$

Продолжительность приема сигналов должна быть такой, чтобы при каждом из двух положений (до и после переключения перьев) можно было бы произвести при расшифровке сравнение показания хронометра со шкалой UTC по 10 контактам (не менее).

Расшифровывают ленту с помощью специальной палетки или прибора для расшифровки хронограмм. Записи производятся в журнале для приема радиосигналов (табл. 2.1).

Для момента приёма радиосигналов может быть найдено гринвичское звёздное время S по формуле

$$S = S_0 + [\mathrm{UTC} + (\mathrm{UT1} - \mathrm{UTC}) + DT](1 + \mu), \qquad (2.8, a)$$

которое используется при вычислении долготы.

Таблица 2.1

Журнал приема радиосигналов времени

Хронометр *средний, 1М43,* № 6465 установлен по всемирному времени

Дата *25—26 марта 1979 г.* Станция РИД 11^h54^m

$DUT1 + dUT1 = +0{,}36^s \quad \tau_p = 0{,}015^s$

N	UTC	X
1	$11^h53^m37^s$	$11^h53_m30{,}05^s$
2	38	31,06
3	39	32,05
4	40	33,04
5	41	34,06
6	54 09	54 02,03
7	10	03,03
8	11	04,04
9	12	05,03
10	13	11 54 06,04
Среднее	11 53 55,000	11 53 48,043
Редукция к началу минуты (в системе показаний хронометра)	+5,000	+5,000
Среднее + редукция	11 54 00,000	11 53 53,043
Промежуток времени от предыдущего приема (в системе показаний хронометра)	1 03 00 000	1 03 00,034
ω^h		— 0,032

Цифры после позывных радиостанции (например, РИД 10^h57^m) означают час и ту минуту (в шкале UTC), к началу которой редуцируется показание хронометра. Именно эти значения UTC и X используют в дальнейшем при вычислении поправки и хода хронометра.

Для звездного хронометра величину редукции (табл. 2.2) в показание хорнометра X, т. е. интервал времени от $\mathrm{UTC_{ср}}$ до начала ближайшей минуты UTC, выражают в единицах звездного времени.

Для контроля ход хронометра вычисляют по двум смежным приемам радиосигналов. Для этого исправляют показания X

Таблица 2.2

Журнал приема радиосигналов времени

Хронометр *звездный завода им. Кирова № 7300*
Дата *30/31 марта 1979 г.* Станция РИД 10^h57^m
$DUT1 + dUT1 = +0{,}36^s$; $\tau_p = 0{,}015^s$

	N	UTC	*X*
	1	$10^h56^m49^s$	$10^h22^m04{,}37^s$
	2	50	05,37
	3	54	09,39
	4	55	10,39
	5	56	11,38
	6	57 02	17,39
	7	07	22,42
	8	12	27,43
	9	13	28,43
	10	10 57 16	10 22 31,45
Среднее		10 57 01,400	10 22 16,802
Редукция к началу минуты (в системе показаний хронометра)		— 1,400	— 1,404
Среднее + редукция		10 57 00,000	10 22 15,398
Промежуток времени от предыдущего приема (в системе хронометра)		1 06 10,842	1 06 10,888
ω^h			— 0,042

задержками τ_p, если принимались сигналы различных радиостанций; находят промежуток времени (в UTC) между данным и предыдущим приемами сигналов; для звездного хронометра полученную разность выражают в единицах звездного времени. Вычисляют разность показаний хронометра и по формулам:

для среднего хронометра

$$\omega = [(UTC_2 - UTC_1) - (X_2 - X_1)] : (X_2 - X_1); \qquad (2\,9)$$

для звездного хронометра

$$\omega = [(UTC_2 - UTC_1)(1 + \mu) - (X_2 - X_1)] : (X_2 - X_1) \qquad (2.10)$$

получают величину хода хронометра в промежутке времени $X_2 - X_1$. Индексы 1 и 2 относятся соответственно к первой и второй станции. Для того чтобы иметь возможность сравнения отдельных ходов, их приводят к единице времени, например к одному часу, к одной минуте, к десяти минутам и т. д.

При обработке наблюдений, когда для смежных приемов радиосигналов поправки хронометра u_2 и u_1 вычислены, ход хронометра для промежутка времени $X_2 - X_1$ вычисляют так

$$\omega = \frac{u_2 - u_1}{X_2 - X_1}, \qquad (2.10, a)$$

причем промежуток времени $X_2 - X_1$ выражают в секундах, если используемый хронометр средний и в десятках минут — если звездный.

Пример вычисления поправки среднего и звездного хронометров относительно местного звездного времени по формуле (2.8) приведен в табл. 2.3 и 2.4.

Таблица 23

Вычисление поправок и хода среднего хронометра, используемого как звездный

Дата	25/26 марта 1979 г.	25/26 марта 1979 г.
Радиостанция	РИД 10^h51^m	РИД 11^h54^m
S_0	$12^h07^m26{,}401^s$	$12^h07^m26{,}401^s$
UTC $(1+\mu)$	10 52 46,943	11 55 57,292
(UT1 — UTC) $(1+\mu)$	+ 0,363	+ 0,363
λ	8 56 10,007	8 56 10,007
s	7 56 23,714	8 59 34,063
$X - \tau_p$	10 50 52,994	11 53 53,028
u	−2 54 29,280	−2 54 18,965
$X_2 - X_1$, $u_2 - u_1$	3780^s; $+10{,}315^s$	
ω	$0{,}0027788^s$	

Таблица 24

Вычисление поправок и хода звездного хронометра

Дата	30/31 марта 1979 г.	30/31 марта 1979 г.
Радиостанция	РИД 9^h51^m	РИД 10^h57^m
S_0	$12^h27^m09{,}143^s$	$12^h27^m09{,}143^s$
UTC $(1+\mu)$	9 52 37,086	10 58 47,929
(UT1 — UTC) $(1+\mu)$	+ 0,343	+ 0,343
λ	10 56 19,380	10 56 19,380
s	9 16 05,952	10 22 16,795
$X - \tau_p$	9 16 04,495	10 22 15,383
u	+ 1,457	+ 1,412
$X_2 - X_1$, $u_2 - u_1$	$(6{,}62)^{10^m}$, $-0{,}045^s$,	
ω^{10^m}	$-0{,}0068^s$	

При полевой обработке наблюдений вместо разности UT1 — — UTC берут ее приближенное значение $D\mathrm{UT1} + d\mathrm{UT1}$, а также используют приближенную долготу λ_0.

Таблица 2.5

Интерполирование поправки среднего хронометра на моменты наблюдения звезд

Номер звезды	T	$X_{ср}$	$(T - X_{ср})^s$	ω_s	Δu_ω	$u_{ср}$	$u = u_{ср} + \Delta u_\omega$
222	$11^h10^m13{,}7^s$	$11^h22^m23{,}0^s$	−729,3	+0,0027288	−1,990	$-2^h54^m24{,}122^s$	$-2^h54^m26{,}112^s$
232	11 49 26,1	11 22 23,0	+1623,1	+0,0027288	+4,429	−2 54 24,122	−2 54 19,693

Таблица 2.6

Интерполирование поправки звездного хронометра на моменты наблюдения звезд

Номер звезды	T	$X_{ср}$	$(T - X_{ср})^{10^m}$	ω_{10^m}	Δu_ω	$u_{ср}$	$u = u_{ср} + \Delta u_\omega$
244	$9^h20{,}3^m$	$9^h49{,}2^m$	−2,89	−0,0068	+0,020	+1,434	+1,454
263	10 14,7	9 49,2	+2,55	−0,0068	−0,017	+1,431	+1,417

Интерполирование поправки хронометра на момент наблюдений T, заключенный между двумя смежными приемами радиосигналов, производят по формуле

$$u = u_{ср} + \Delta u_{\omega} = u_{ср} + \omega^{s}(T - X_{ср}), \qquad (2.11)$$

где $u_{ср} = (u'_2 + u_1)/2$, а $X_{ср} = (X_2 + X_1)/2$. Величины $X_{ср}$ и соответственно $(T - X_{ср})$ для среднего хронометра вычисляют до $0{,}1^{s}$, а для звёздного — до $0{,}1^{m}$. Примеры интерполирования поправки среднего и звездного хронометров на момент наблюдении приведены в табл 2.5 и 2 6

Методика определения поправки кварцевого среднего хронометра «Альтаир» с помощью сличающего устройства описана в 10 2.1. Показание хронометра X в момент сравнения может быть считано непосредственно со шкал прибора, поэтому нет надобности иметь специальный журнал, название станции, момент сравнения (UTC), X и разность DUT1 + dUT1 записывают непосредственно в журнал наблюдений, ход хронометра «Альтаир» относительно среднего времени практически равен нулю и проверяется непосредственно при приеме сигналов.

С поправкой хронометра (любого), вычисленной относительно местного звездного времени по приведенной выше методике, часовой угол светила вычисляется по единой формуле

$$t = T + u - \alpha. \qquad (2.12)$$

Часовой угол светила можно найти без предварительного вычисления поправки хронометра непосредственно по формуле

$$t_i = S_0 + \lambda - \alpha_i + \left[\frac{\mathrm{UTC}_1\,(X_2 - \tau_{p_2}) - \mathrm{UTC}_2\,(X_1 - \tau_{p_1}) + T_i\,(\mathrm{UTC}_2 - \mathrm{UTC}_1)}{(X_2 - \tau_{p_2}) - (X_1 - \tau_{p_1})} + \right.$$
$$\left. + (\mathrm{UT1} - \mathrm{UTC}) + DT\right](1 + \mu). \qquad (2\ 13)$$

Эта формула может быть применена при окончательной обработке результатов на ЭВМ.

2 4. ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

Согласно общей теории методов геодезической астрономии [24] в зенитальных методах вычисляется зенитное расстояние $[Z'_{выч}]$, в азимутальных — азимут $[a'_{выч}]$ светила по часовому его углу t. В первом случае для этой цели служит формула

$$\cos Z'_{выч} = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t \qquad (2.14)$$

или преобразованная к виду

$$\cos Z'_{выч} = \frac{1}{2}\left[\cos(\varphi - \delta)(1 + \cos t) - \cos(\varphi + \delta)(1 - \cos t)\right]. \qquad (2.15)$$

Во втором случае применяется формула

$$\operatorname{ctg} a'_{выч} = \sin\varphi \operatorname{ctg} t - \cos\varphi \operatorname{tg}\delta \operatorname{cosec} t \qquad (2.16)$$

или

$$\operatorname{tg} a'_{\text{выч}} = \frac{\sin t}{\sin\varphi \cos t - \cos\varphi \operatorname{tg}\delta} = \frac{m \sin t}{n - 1}, \qquad (2.17)$$

где

$$m = \operatorname{ctg}\delta \sec\varphi, \quad n = \operatorname{ctg}\delta \operatorname{tg}\varphi \cos t,$$

здесь в обеих формулах азимут светила отсчитывается от точки юга по ходу часовой стрелки.

По $\operatorname{ctg} a'$ или $\operatorname{tg} a'$ находят угол a_1 для первого положительного квадранта, затем квадрант для азимута звезды a' выбирают в соответствии с величиной часового угла t и знака тригонометрической функции, по которой был получен угол a_1.

При определении азимута земного предмета по Полярной всегда небольшой азимут самой звезды a' выбирают для первого положительного или отрицательного квадранта, в зависимости от знака тригонометрической функции; таким образом, азимут Полярной получается отсчитанным от точки севера по ходу часовой стрелки (к востоку) положительным $a' = a_1$, против часовой стрелки (к западу) — отрицательным $(a' = -a_1)$.

2.5. ПОПРАВКИ ЗА УСКОРЕНИЕ В ВЫЧИСЛЕННЫЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КООРДИНАТЫ

2.5.1. Поправка за зенитальное ускорение

Если было выполнено n отдельных зенитальных наблюдений звезды при положениях ее вблизи большого круга трубы теодолита, тогда зенитное расстояние Z', вычисленное со средним моментом наблюдения T, например по формуле (2.15) или ей равносильной, подлежит исправлению поправкой ΔZ_W за зенитальное ускорение. Исправленное зенитное расстояние Z получают по формуле

$$Z = Z' + \Delta Z_W. \qquad (2.18)$$

При вычислении ΔZ_W могут быть три случая.

1 случай. Средний момент $T = \sum T_i / n$ выведен из нескольких моментов наблюдений звезды ($n > 2$). Моменты были отмечены последовательно через одинаковые интервалы времени (например, моменты контактирования на двух центральных оборотах контактного микрометра). В этом случае используется формула

$$\Delta Z_W = 0{,}454 \frac{n+1}{n-1} \frac{d^2 Z}{dt^2} \left(\frac{T_n - T_1}{100} \right)^2, \qquad (2\ 19)$$

где T_1, T_n — первый и последний из отмеченных моментов наблюдений по показанию хронометра.

2 случай. Средний момент наблюдения $T = (T_1 + T_2)/2$ получен по двум фиксированным моментам T_1, T_2 или по двум средним моментам $T_л$, $T_п$, выведенным, например, из наблюдений звезды при двух кругах.

В этом случае для вычисления ΔZ_W пользуются формулой

$$\Delta Z_w = 5{,}454 \frac{d^2Z}{dt^2}\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2, \qquad (2.20)$$

где аргументом служит

$$\Delta T = (T_2 - T_1)/2 = T - T_1 = T_2 - T.$$

3 с л у ч а й. Средний момент наблюдения $T = \Sigma T_i/n$ выведен из n моментов, интервалы между которыми не равны между собой; в этом случае находят разности $(T_i - T)$, где T_i — отдельные моменты, а T — средний момент, и по ним вычисляют искомую поправку ΔZ_W, пользуясь формулой

$$\Delta Z_W = 5{,}454 \frac{d^2Z}{dt^2}\frac{1}{n}\sum\left(\frac{T_i - T}{100}\right)^2. \qquad (2.21)$$

Во всех основных формулах (2.19) — (2.21) содержится величина

$$\frac{d^2Z}{dt^2} = m_1 + m_2 \operatorname{ctg} Z, \qquad (2.22)$$

представляющая собой зенитальное ускорение, выраженное через коэффициенты

$$m_1 = \cos\varphi \sin\varphi \cos a; \quad m_2 = \cos^2\varphi \cos^2 a,$$

где азимут a исчисляется от точки юга по ходу часовой стрелки.

Аргументы $(T_n - T_1)$, ΔT, $(T_i - T)$ выражают в секундах времени, величина поправки ΔZ_W получается при этом в секундах дуги.

Если моменты наблюдений были фиксированы по показаниям среднего хронометра, тогда значение ΔZ_W, полученное по одной из указанных выше формул, умножают на постоянное число 1,00548, представляющее собой $(1 + \mu)^2$, где $\mu = 1/365{,}24220$ есть коэффициент перехода от средних солнечных единиц времени к звездным.

2.5.2. Поправка за азимутальное ускорение

Азимут a', вычисленный со средним моментом наблюдения по одной из формул (2.16), (2.17), исправляется поправкой Δa_W за азимутальное ускорение. Исправленный азимут a звезды находят по формуле

$$a = a' + \Delta a_W. \qquad (2.23)$$

Поправка Δa_W вычисляется по одной из формул (2.19)—(2.21) для вычисления ΔZ_W, лишь с заменой в них зенитального ускорения $\frac{d^2Z}{dt^2}$ на азимутальное

$$w = \frac{d^2a}{dt^2} = -k_1 \sin a - k_2 \sin 2a, \qquad (2.24)$$

где

$$k_1 = \sin\varphi \cos\varphi \operatorname{ctg} Z;\ k_2 = \frac{1}{2} \cos^2\varphi\,(2\operatorname{cosec}^2 Z - 1).$$

Таким образом, формулы для вычисления Δa_W в зависимости от видов фиксирования моментов наблюдений, рассмотренных выше, будут следующие:

для 1-го случая

$$\Delta a_W = 0{,}454 \frac{n+1}{n-1} \frac{d^2a}{dt^2} \left(\frac{T_n - T_1}{100}\right)^2; \qquad (2.25)$$

для 2-го случая

$$\Delta a_W = 5{,}454 \frac{d^2a}{dt^2} \left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2; \qquad (2.26)$$

для 3-го случая

$$\Delta a_W = 5{,}454 \frac{d^2a}{dt^2} \frac{1}{n} \sum \left(\frac{T_i - T}{100}\right)^2. \qquad (2.27)$$

Все замечания, касающиеся применения формул для вычислений ΔZ_W, относятся в той же мере и к формулам для вычислений Δa_W.

2.6. ПОПРАВКА ЗА СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ТЕКУЩЕЙ КОЛЛИМАЦИИ И ЗЕНИТАЛЬНОГО УСКОРЕНИЯ

Если отдельные зенитальные наблюдения звезды при неподвижной алидаде горизонтального круга производились на различных расстояниях от центральной вертикальной нити, тогда зенитное расстояние Z' звезды, вычисленное со средним моментом наблюдения T, исправляется поправкой ΔZ_{CW} за совместное влияние текущей коллимации и зенитального ускорения по формуле

$$Z = Z' + \Delta Z_{CW}. \qquad (2.28)$$

Для вычисления ΔZ_{CW} служат формулы из 2.5.1 с заменой в них зенитального ускорения выражением

$$E = (\cos^2\delta - \cos^2\varphi) \operatorname{ctg} Z - \sin\varphi \cos\varphi \cos a. \qquad (2.29)$$

Таким образом, в зависимости от различий в фиксировании отдельных моментов наблюдений друг относительно друга применяются формулы:

для 1-го случая

$$\Delta Z_{CW} = 0{,}454 \frac{n+1}{n-1} E \left(\frac{T_n - T_1}{100}\right)^2; \qquad (2.30)$$

для 2-го случая

$$\Delta Z_{CW} = 5{,}454E\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2; \tag{2.31}$$

для 3-го случая

$$\Delta Z_{CW} = 5{,}454E\frac{1}{n}\sum\left(\frac{T_i - T}{100}\right)^2. \tag{2.32}$$

Формулы (2.28) — (2.32) пригодны для вычисления ΔZ_{CW} при обработке наблюдений, выполненных в любом вертикале и для обоих полушарий Земли.

По формуле (2.28) исправляется поправкой вычисленное зенитное расстояние. Иногда необходимо исправить измеренное зенитное расстояние, в этих случаях пользуются той же формулой, но знак поправки ΔZ_{CW} меняется на обратный.

2.7. О ФОРМУЛАХ МЕСТА ЗЕНИТА И ЗЕНИТНОГО РАССТОЯНИЯ

Введем понятие «основной круг» или «основное положение верхней части теодолита». Основным считается такое положение, при котором с увеличением зенитного расстояния трубы отсчеты по вертикальному кругу возрастают. Для теодолитов Вильд Т4, АУ 2/10 и ДКМ3-А таким основным является круг лево (КЛ).

Второе положение назовем дополнительным.

Обозначим соответственно отсчеты по вертикальному кругу через МО и МД.

2.7.1. Место зенита

Для любого типа теодолита при произвольно установленном круге место зенита MZ вычисляется по одной из следующих формул:

$$MZ = (МЛ + МП)/2 \pm 180^\circ \tag{2.33}$$

или

$$MZ = (МЛ + МП)/2, \tag{2.34}$$

где $МЛ$ и $МП$ — отсчеты по вертикальному кругу при наведении на неподвижный объект при КЛ и КП.

Выбор формулы производится следующим образом:

если МО<МД, то формула (2.33);

если МО>МД, то формула (2.34).

Кроме того, если известно, что место зенита мало (359—360 —1°), то всегда применяется формула (2.34).

Можно сделать выбор формулы опытным путем: если при переводе трубы через зенит нулевой отсчет проходит через индекс микроскопа I (или отсчетного устройства), то используется формула (2.33), если не проходит, то формула (2.34).

Правило действует при любом месте зенита.

Во всех случаях, если при вычислении по формуле (2.33) получится $(МЛ+МП)/2 > 180°$, то перед 180° берется знак «−», если $<180°$, то «+».

Примеры

1. *МЛ* 30°10′5″ МО < МД

МП 270°10′7″. Формула (2.33). $MZ=\frac{1}{2}(30°10'5''+270°10'7'')+$ $+ 180° = 330°10'6''$

Теодолит ДКМ 3-А

МО = *МЛ*;

МД = *МП*.

2. *МЛ* 350°02′10″. МО = МП

МП 9°01′56″ МД = МЛ

МО < МД

Формула (2.33)

$$MZ = \frac{1}{2}(9°01'56'' + 350°02'10'') - 180° = 0°02'3''$$

3. *МЛ* 350°01′4″ МО = МЛ

МП 290°01′6″ МД = МП

МО > МД Формула (2.34)

$$MZ = (350°01'4'' + 290°01'6'')/2 = 320°01'5''.$$

2.7.2. **Вычисление зенитного расстояния**

2.7.2.1. При известном месте зенита

$$Z = МО - MZ; \tag{2.35}$$

$$Z = MZ - МД. \tag{2.36}$$

Следовательно, для Т4, ДКМ3-А, АУ 2/10

$$Z = МЛ - MZ, \tag{2.37}$$

$$Z = MZ - МП. \tag{2.38}$$

Зенитное расстояние всегда положительная величина, лежащая в пределах от 0 до 180°. Поэтому при получении отрицательного значения необходимо прибавить 360°.

Пример.

Т4 $MZ = 359°59'50''$ $МЛ = 15°4'20''$.

Формула (2.37) $Z = 15°4'20'' - 359°59'50'' + 360° = 15°4'30''$.

2.7.2.2 Место зенита неизвестно. Сделаны отсчеты по вертикальному кругу при двух положениях

$$Z = МО/2 - МД/2 + 180°, \tag{2.39}$$

180° прибавляется, если Z получается отрицательным.

Формула действует при любом MZ.

Следовательно,

для Т4, ДКМ3-А и АУ 2/10

$$Z = МЛ/2 - МП/2 + 180°; \tag{2.40}$$

Пример.
Формула (2.40).

Т4 $МЛ = 180°;$ $МП = 60°;$ $Z = \frac{180}{2} - \frac{60}{2} = 60°.$

2.8. ФОРМУЛЫ К СОСТАВЛЕНИЮ ЭФЕМЕРИД ЗВЕЗД ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ ВБЛИЗИ МЕРИДИАНА. ОБОБЩЕНИЕ НАЗВАНИЙ ЗВЕЗД ПО ИХ ПОЛОЖЕНИЯМ ОТНОСИТЕЛЬНО ПЕРВОГО ВЕРТИКАЛА

1. Формулы приведены в табл. 2.7

Таблица 2.7

Южная звезда		Северная звезда	
вблизи верхней кульминации	вблизи нижней кульминации	вблизи верхней кульминации	вблизи нижней кульминации
Для северного полушария Земли ($\varphi > 0$)			
$s = \alpha \pm \Delta s$ $Z = \varphi - \delta + \Delta Z$ $a = \pm \Delta a$		$s = \alpha \pm \Delta s$ $Z = \delta - \varphi + \Delta Z$ $a = 180° \pm \Delta a$	$s = \alpha \pm 12^h \pm \Delta s$ $Z = 180° - (\varphi + \delta) - \Delta Z$ $a = 180° \pm \Delta a$
Для южного полушария Земли ($\varphi < 0$, Антарктида)			
$s = \alpha \pm \Delta s$ $Z = \varphi - \delta + \Delta Z$ $a = \pm \Delta a$	$s = \alpha \pm 12^h \pm s$ $Z = 180° + (\varphi + \delta) - \Delta Z$ $a = \pm a$	$s = \alpha \pm \Delta s$ $Z = \delta - \varphi + \Delta Z$ $a = 180° \pm \Delta a$	

Примечания. 1. При вычислении Z числовые значения широты φ пункта и склонения δ звезды берутся с их знаками.

2. Приращения Δs, ΔZ, Δa берутся по абсолютной величине; из двух знаков перед Δs и Δa верхний относится к положению звезды до кульминации, нижний — после кульминации

3. При $\Delta s = \Delta Z = \Delta a = 0$ получаются s, Z, a для положений звезд в кульминациях

Приращения азимута Δa и зенитного расстояния ΔZ (в минутах дуги) за интервал времени $\Delta s^m = (s' - s)$ (в минутах) между моментом s', на который определяются координаты звезды, и моментом s кульминации определяются по формулам:

$$\Delta a^{(1)} = v_a^{(1)} \Delta s^{(m)}; \tag{2.41}$$

$$\Delta Z = 2{,}18 \cdot 10^{-3} \cos\varphi \cdot \Delta a^{(1)} \Delta s^{(m)} \tag{2.42}$$

или

$$\Delta Z = 0{,}131 \cos\varphi \cdot \Delta a^{(0)} \Delta s^{(m)}, \tag{2.43}$$

где $v_a = 15 \cos\delta \operatorname{cosec} Z$, $\Delta a^{(0)}$ — приращение азимута, выраженное в градусах.

Например, на пункте, широта которого $\varphi = +70°00'$, получим для звезды № 278 ($\alpha = 23^h2^m$, $\delta = 61°52'$, эпоха 1979,0) на момент нижней кульминации

$$s = \alpha \pm 12^h = 23^h02^m - 12^h = 11^h02^m,$$

$$Z = 180° - (\varphi + \delta) = 180° - (70°00' + 61°52') = 48°08',$$
$$a = 180°.$$

Приращения за интервал времени $\Delta s = 10^m$:

$$\Delta a = v_a \Delta s^{(m)} = 9{,}51 \cdot 10 = 95{,}1' = 1°35' = 1{,}6°,$$

где $v_a = 15 \cos\delta \operatorname{cosec} Z = 15 \cdot 0{,}472 \cdot 1{,}343 = 9{,}51'$;

$$\Delta Z = 0{,}131 \cdot \cos\varphi \Delta a^{(0)} \Delta s^{(m)} = 0{,}131 \cdot 0{,}342 \cdot 1{,}6 \cdot 10 = 0{,}7' \approx 1'.$$

Координаты звезды:

на момент $s' = s - \Delta s = 11^h02^m - 10^m = 10^h52^m$ (до кульминации)

$$Z' = Z - \Delta Z = 48°08' - 1' = 48°07',$$
$$a' = 180° - 1°35' = 178°25';$$

на момент $s'' = s + 10^m = 11^h02^m + 10^m = 11^h12^m$ (после кульминации)

$$Z'' = Z - \Delta Z = 48°08' - 1' = 48°07' \ (Z'' = Z'),$$
$$a = 180° + \Delta a = 180° + 1°35' = 181°35'.$$

2. С целью обобщения названий звезд по их положению в какой-либо момент относительно первого вертикала для пунктов, расположенных в разных полушариях Земли (северном, южном), будем звезды, находящиеся на стороне верхней точки экватора, именовать «экваториальными», а находящиеся на стороне полюса мира (который над горизонтом) — «полюсными». На этом основании в формулах при необходимости все обозначения, относящиеся к экваториальной звезде, отмечаются индексом Q, относящиеся к полюсной — индексом P. Например, прямые восхождения α_Q, α_P, склонения δ_Q, δ_P и др.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОТЫ

3.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

В отечественной геодезической астрономии принято считать долготы пунктов, расположенных к востоку от начального (гринвичского) меридиана, положительными, а к западу — отрицательными. Поэтому долгота пункта может быть представлена в виде разности одноименных времен, отнесенных к одному физическому моменту,

$$\lambda = s - S, \tag{3.1}$$

где s — местное время на определяемом пункте, находится из звездных наблюдений тем или иным способом; S — гринвичское время получают из приема радиосигналов.

В настоящем руководстве принят дифференциальный метод вычисления долготы пункта. При этом вычисляется не долгота, а поправка $\Delta\lambda_y$ к приближенной долготе λ_0. Таким образом,

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda_y, \tag{3.2}$$

где $\Delta\lambda_y$ — поправка, вычисляемая в зависимости от способа определения местного времени по формулам, приведенным в соответствующих разделах.

Независимо от способа определения местного времени звездным наблюдениям должен предшествовать прием радиосигналов времени; после серии наблюдений звезд должен быть снова произведен прием радиосигналов, после чего наблюдения могут быть продолжены.

Таким образом, имеем следующую программу: 1) прием радиосигналов времени, 2) наблюдения звезд, 3) прием радиосигналов, 4) наблюдения звезд, 5) прием радиосигналов и т. д.

Прием радиосигналов по пункту 3 является общим при обработке результатов наблюдений по пункту 2 и пункту 4.

Число пар звезд в интервале между радиосигналами не лимитируется, но желательно, чтобы пары располагались равномерно по времени. По каждой отдельной паре с использованием двух смежных приемов радиосигналов вычисляется долгота.

Интервал между приемами радиосигналов для механического хронометра не должен превышать 2 ч.

Для кварцевого хронометра допускается прием сигналов производить только два раза в вечер — до и после наблюдений.

Разрешается принимать радиосигналы времени только тех радиостанций как советских, так и зарубежных, моменты которых публикуются в бюллетенях «Всемирное время», серия E [5]. При работе вне территории Советского Союза разрешается принимать радиосигналы, подаваемые теми зарубежными радиостанциями, данные о времени подачи которых даны в циркулярах Международного бюро времени [27].

Желательно принимать радиосигналы, передаваемые на длинных волнах. Для удобства полевых вычислений следует использовать радиосигналы со специальным кодом, дающим информацию о разности всемирного и координированного времени [25].

Полное определение долготы пункта с визуальной регистрацией звезд состоит из наблюдений на определяемом пункте и на основном. *Основным долготным пунктом* называется такой пункт, долгота которого официально утверждена. Сведения об основных пунктах помещены в 3.2.

Наблюдения на основном пункте позволяют найти долготную лично-инструментальную (или просто личную) разность астронома (ЛИР).

Лично-инструментальная разность вычисляется по формуле

$$\text{ЛИР} = \lambda_{\text{осн}} - \lambda, \qquad (3.2, a)$$

где $\lambda_{\text{осн}}$ — официальная долгота основного пункта; λ — долгота, полученная из наблюдений астронома на основном пункте.

Лично-инструментальную разность астроном определяет дважды: в начале полевого сезона и в конце его. За окончательное значение принимается среднее из начального и заключительного определений

$$\text{ЛИР} = (\text{ЛИР}_1 + \text{ЛИР}_2)/2. \qquad (3.3)$$

Лично-инструментальную разность определяют тем же методом, что и долготу на полевом пункте, с применением одних и тех же приборов. После определения начальной личной разности не разрешается заменять в астрономическом теодолите окуляр, объектив, контактный микрометр, ампулу рабочего уровня, переставлять секундную стрелку пружинного хронометра, нежелательно менять на другой, хотя и однотипный, хронограф и импульсную приставку.

Для получения окончательной долготы полевого пункта находят сумму

$$\lambda = \lambda' + \text{ЛИР}. \qquad (3.4)$$

Выбор способа определения местного времени при долготных определениях зависит прежде всего от широты пункта (табл. 3.1). При прочих равных условиях следует отдать предпочтение зенитальному методу — способу Цингера.

Таблица 3.1

Зоны применения способов

Название способа	Интервал широт
Способ Цингера (3.3)	От 70° ю. ш. до 70° с. ш.
Способ Деллена (3.4)	60 с. ш. — 80 с. ш.
Азимутальные наблюдения пар звезд вблизи меридиана (3.5)	85 ю. ш. — 60 ю. ш.
	60 с. ш. — 85 с. ш.
Совместное определение долготы и широты по азимутальным наблюдениям пар звезд на одинаковых высотах (5)	85 ю. ш. — 60 ю. ш.
	60 с. ш. — 85 с. ш.

Для получения каждой лично-инструментальной разности на основных долготных пунктах наблюдают не менее четырех вечеров, на протяжении которых определяют местное время из следующего объема измерений.

Способ	Пар звезд (не менее)
3.3	50
3.4	40
3.5	9
5	72

На полевом пункте наблюдают не менее трех вечеров, регистрируя следующее число пар звезд.

Способ	Пар звезд (не менее)
3.3	36
3.4	30
3.5	9
5	72

Не разрешается в один вечер наблюдать 40 % программы.

Методика долготных определений рассчитана таким образом, чтобы средняя квадратическая погрешность долготы полевого пункта в конечном итоге не превышала

$$M_\lambda \leqslant \pm 0{,}03^s.$$

Для обеспечения этого условия необходимо, чтобы долгота на самом полевом пункте M_λ, определялась с погрешностью не более $\pm 0{,}22^s$ (по внутренней сходимости). Суммарная погрешность определения средней лично-инструментальной разности, вычисленная как

$$M_{\text{ЛИР}} = \frac{1}{2}\sqrt{M^2_{\text{ЛИР1}} + M^2_{\text{ЛИР2}}}, \qquad (3.5)$$

не должна превышать $\pm 0{,}012^s$.

Среднее квадратическое значение колебания лично-инструментальной разности для всех способов визуальных долготных определений с применением контактного микрометра $M_{\delta\text{лир}}$ принимается равным $\pm 0{,}016^s$.

Суммарная погрешность долготы пункта при соблюдении этих допусков, вычисленная по формуле

$$M_\lambda = \sqrt{M^2_{\lambda'} + M^2_{\text{ЛИР}} + M^2_{\delta\text{ЛИР}}}, \qquad (3.,5a)$$

не превысит $\pm 0{,}03^s$.

Разность (ЛИР1 — ЛИР2) не должна превышать $0{,}08^s$ (по абсолютной величине)

При астрономических долготных определениях в высоких широтах (70° и больше) получить указанные выше погрешности довольно трудно. Поэтому следует увеличить число пар и число вечеров против указанных выше.

Приведенные объемы наблюдений (число пар и вечеров) на пункте рассчитаны на астрономические определения южнее 70

параллели с. ш. Севернее 70 параллели объем наблюдений зависит от качества наблюдений поправок часов.

Качество работы астронома при наблюдении поправок часов определяется по погрешности одной пары, приведенной к экватору.

При $m_u \cos\varphi$	Оценка
менее 0,025	Отлично
0,025—0,040	Хорошо
0,040—0,060	Удовлетворительно

Погрешность m_u выводится по формуле

$$m_u = \sqrt{\frac{[\Sigma\, \delta_u^2]}{n-g}}, \qquad (3.6)$$

где n — число всех поправок часов; g — число вечеров; $[\Sigma\, \delta_u^2]$ — общая сумма квадратов уклонений поправок (долгот) от среднего значения за вечер на данном пункте.

При удовлетворительном качестве работ в районах с широтой 70—85° необходимо увеличить число пар в 1,5 раза против указанного выше, а число вечеров, как минимум, до четырех. При оценке «хорошо» указанные требования по увеличению программы устанавливают в широтной зоне 78—85°, а при отличном качестве — для зоны 83—85°. Таким образом, например на широте 80° при оценке «отлично» можно наблюдать без увеличения программы. Для получения требуемой точности долгот предельной является широта 85°.

Все указанные требования в равной мере относятся и к южному полушарию.

Пример. Вычисление долготы с учетом лично-инструментальной разности. Оценка точности окончательной долготы.

Определена долгота $\lambda' = 2^h31^m38{,}253^s$ полевого пункта со средней квадратической погрешностью $M_{\lambda'} = \pm\, 0{,}018^s$, выведенной по внутренней сходимости результатов отдельных измерений. Дважды была определена лично-инструментальная разность на одном из основных долготных пунктов;

1) до измерения долготы полевого пункта ЛИР1 $= -0{,}039^s$ со средней квадратической погрешностью $M_{\text{ЛИР1}} = \pm\, 0{,}014^s$;

2) после измерения долготы полевого пункта ЛИР2 $= -0{,}027^s$ со средней квадратической погрешностью $M_{\text{ЛИР2}} = \pm\, 0{,}012^s$.

Отсюда

$$\text{ЛИР} = (\text{ЛИР1} + \text{ЛИР2})\,/2 = (-0{,}039^s - 0{,}027^s)\,/2 = -\,0{,}033^s,$$

средняя квадратическая погрешность ЛИР

$$M_{\text{ЛИР}} = \frac{1}{2}\sqrt{M_{\text{ЛИР1}}^2 + M_{\text{ЛИР2}}^2} = \frac{1}{2}\sqrt{0{,}014^2 + 0{,}012^2} = \pm\, 0{,}009^s.$$

Следовательно,

$$\text{ЛИР} = -0{,}033^s \pm 0{,}009^s.$$

Долгота λ, исправленная за лично-инструментальную разность

$$\lambda = \lambda' + \text{ЛИР} = 2^h31^m38{,}253^s + (-0{,}033^s) = 2^h31^m38{,}220^s;$$

средняя квадратическая погрешность определения λ

$$M_\lambda = \sqrt{M_{\lambda'}^2 + M_{\text{ЛИР}}^2 + M_{\text{ЛИР}}^2} = \sqrt{0{,}018^2 + 0{,}009^2 + 0{,}016^2} = \pm 0{,}026^s.$$

Таким образом, имеем

$$\lambda = 2^h31^m38{,}220^s \pm 0{,}026^s.$$

Обработка всех наблюдений выполняется в системе каталога FK4 или каталога FK5, который его сменяет.

Основной системой времени является система Всемирного времени СССР $UT1_{SU}$. Для определений за рубежом разрешается использование системы $UT1_{BIH}$. Недопустимо смешивание систем. Долготы, полученные астрономом из наблюдений, как на основном, так и на полевом пунктах приводятся к среднему полюсу Земли — Условному международному началу (ОСІ).

Наблюденные долготы приводятся к центру геодезического пункта или (на основном пункте) к точке, для которой дана точная долгота (8.1).

С целью придания устойчивости личной разности астроном обязан выполнить в лабораторных условиях наблюдения искусственной звезды (см. 10.13), пользуясь при этом комплектом приборов, подготовленных к долготным определениям. Такие упражнения опытный астроном производит в течение двух дней накануне определения первой в сезоне ЛИР; астроном, впервые приступающий к долготным определениям (или опытный астроном после перерыва в работе), выполняет упражнения по усиленной программе, в течение десяти дней с тем, чтобы надежно отработать методику биссектирования звезды. В первые вечера надлежит наблюдать по 35—40 условных пар звезд, в остальные по 18—20 пар. Под условной парой звезд здесь понимается прохождение искусственной звезды в прямом и обратном направлениях.

Яркость искусственной звезды должна соответствовать средней величине звезд применяемого метода (3—3,5^m в способе Цингера, 2—2,5^m в азимутальных методах в условиях полярного дня).

Кроме того, искусственную звезду надлежит наблюдать при скорости, приблизительно соответствующей скорости движения звезд в избранном способе определения.

3.2. ОБ ОСНОВНЫХ ДОЛГОТНЫХ ПУНКТАХ

Основными считаются такие астрономические пункты, на которых официально разрешается определять лично-инструментальную разность. Долготы таких пунктов известны с погрешностью $\leqslant \pm 0{,}01$ с.

В настоящее время на территории Советского Союза шесть основных долготных пунктов: Пулково, Москва, Новосибирск, Иркутск, Николаев и Ташкент.

При выборе основного пункта кроме организационных соображений следует руководствоваться требованием: широта основного пункта не должна отличаться от широт определяемых пунктов более чем на 10°. Для северных районов ($\varphi > 65°$) лично-инструментальная разность всегда должна определяться на пункте Пулково независимо от разности широт.

При астрономических определениях, выполняемых за рубежом в широтах южнее параллели 30° с. ш., основные долготные пункты выбираются по согласованию с ЦНИИГАиК из числа служб времени (BIH). При работах в экваториальных областях разность широт основного и определяемого пунктов допускается до 20°.

При определениях в Антарктиде используется долготный пункт станции Молодежная.

В табл. 3.2 дан список основных долготных пунктов СССР, в котором указаны точки, для которых известны официально утвержденные долготы. В большинстве случаев на этих точках непосредственно установить теодолит нельзя и определения ЛИР выполняются с близко расположенных столбов. Взаимное расположение этих астростолбов приведено в табл. 3.3—3.5 и на рис. 3.1—3.3.

Таблица 3.2

Список основных долготных пунктов

Название пунктов	Место расположения
Пулково	Главная астрономическая обсерватория АН СССР. Центр обсерватории
Москва	Государственный астрономический институт им. Штернберга. Столб службы времени
Новосибирск	Сибирский научно-исследовательский институт метрологии. Павильон астролябий. Основной столб (северный)
Иркутск	Новосибирск Новый. Матвеевка. Столб № 1 Астрономическая обсерватория Иркутского ун-та. Столб № 1
Николаев	Основной столб службы времени Астрономический институт АН Узбекской ССР
Ташкент	Основной южный столб на площадке для определения личной разности
Молодежная	Антарктида. Полярная советская станция «Молодежная». Основной столб

3.2.1. Пулково

Самый северный пункт страны. Для определения лично-инструментальных разностей можно использовать специальный астрономический столб, расположенный в павильоне и находящийся в 380 м к юго-западу от центра обсерватории (центр круглого зала в главном здании), вблизи павильона астрономо-геодезического пункта. При переносе координат от центра обсерватории к этому астростолбу использованы результаты геодезической, гравиметрической связи этих точек, т. е. учтены аномалии уклонений отвесных линий.

Астростолб расположен южнее центра обсерватории на 7,1″ и западнее на 1,378^s.

3.2.2. Москва

Пункт может использоваться для определений лично-инструментальных разностей при полевых наблюдениях в зоне 45—65° с. ш.

Для определения лично-инструментальных разностей используются открытые столбы на крыше главного здания Астрономического института им. Штернберга. Приращения координат относительно северного столба павильона службы времени даны в табл. 3.3, схема расположения приведена на рис. 3.1.

Таблица 3.3

Пункт Москва

Номер столба	Приращения	
	по широте	по долготе
	—1″	+0,228^s
1	—1	+0,242
2	—1	+0,249
3	—1	+0,257
4	—1	+0,265
5	—1	+0,272
6	—1	+0,280
7	—1	+0,279
8		
Северный столб павильона службы времени	0	0,000^s

3.2.3. Новосибирск

Пункт используется для определений лично-инструментальных разностей в широтной зоне 45—65° с. ш.

На территории СНИИМ (табл. 3.2) наблюдать затруднительно, поэтому на окраине города в районе Матвеевки создан пункт Новосибирск Новый (рис. 3.2), где построен тройной павильон с тремя фундаментальными столбами, на один из которых (№ 1) была передана долгота с помощью геодезическо-гравиметрической связи и инструментальных астрономических определений на призменных астролябиях Данжона.

В табл. 3.4. даны приращения координат столбов на пункте Новосибирск Новый по отношению к столбу № 1.

Таблица 3.4

Название и расположение	Приращения	
	по широте	по долготе
Новосибирск Новый. Матвеевка:		
столб № 1	0″	0,000^s
столб № 2	+0,1	—0,005
столб № 3	+0,4	—0,018

Лично-инструментальные разности могут определять также на старом столбе (постройки 30-х годов) во дворе дома № 28 по улице Романова в центре города, *который расположен севернее на* 13,3″ и восточнее на 1,722^s основного столба, находящегося на территории СНИИМ.

3.2.4. Иркутск

Пункт используется для определений лично-инструментальных разностей в широтной зоне 42—62° с. ш.

На территории астрономической обсерватории ИГУ им. Жданова на площадке для определения лично-инструментальных разностей установлен открытый столб № 1.

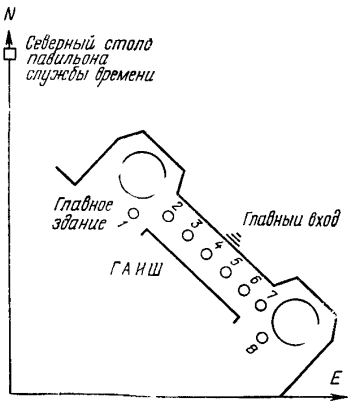


Рис. 3.1. Схема расположения столбов (ГАИШ, Москва)

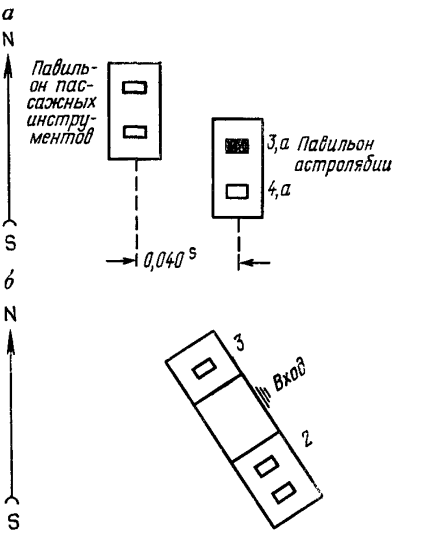


Рис. 3.2 Схема расположения столбов: *а* — Новосибирск, СНИИМ, *б* — Новосибирск Новый

Павильон пассажного инструмента расположен восточнее на 132 мс, но центр столба пассажного инструмента не является точкой, к которой приводится привязка наблюдений. Результаты наблюдений на пассажном инструменте службы времени приводятся к центру столба 1.

3.2.5. Николаев

Пункт используется для определений лично-инструментальных разностей в широтной зоне 37—57° с. ш.

В табл. 3.5. даны приращения координат точек обсерватории Николаевского отделения Главной астрономической обсерватории АН СССР.

Таблица 3 5

Название точки на п. Николаев	Приращения координат	
	по широте	по долготе
Основной столб службы времени	0,0″	0,000^{s}
Центр обсерватории		—0,083
Малая башня	+4,6	+0,032
Астрономический столб в 19 м от малой башни к югу (1954)	+3,9	+0,058

Любая из этих точек может служить исходной при привязке теодолита.

3.2.6. Ташкент (рис. 3.3)

Пункт используется для определений лично-инструментальных разностей в широтной зоне 30—50° с. ш. Пункт находится на территории Астрономического института АН Узбекской ССР. Кроме основного южного столба, привязка наблюдений может производиться к столбу 1 для пассажного инструмента Службы времени, который находится севернее на 0,4″ и западнее на 0,101^{s} основного столба.

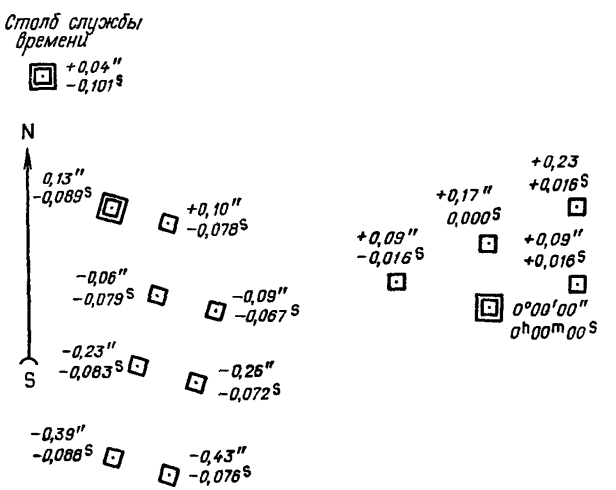


Рис. 3.3. Схема расположения столбов (Ташкент)

3.2.7. Станция «Молодежная»

Используется для определений в Антарктиде. Находится на советской полярной станции «Молодежная». Над основным столбом построен павильон.

3.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОТЫ (ВРЕМЕНИ) ПО СПОСОБУ ЦИНГЕРА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНТАКТНОГО МИКРОМЕТРА

3.3.1. Подготовка к наблюдениям

Из общих исследований теодолита (лабораторных и полевых) производят такие, которые обеспечивают исполнение высокоточных зенитальных наблюдений пар звезд при неизменной установке трубы по высоте с применением контактного микрометра (см. 11.24). При выполнении поверок юстировка на горизонтальность подвижной нити микрометра осуществляется с погрешностью не более 5′.

Теодолит устанавливают на астростолб заблаговременно, за 1,5—2 ч до наблюдений, горизонтируют сначала при помощи накладного (подвесного, алидадного) уровня, затем окончательно при помощи талькоттовского и ориентируют в меридиане с точностью 2′. Перед началом наблюдений звезд принимают радиосигналы времени (см. 3. 1).

Для составления программы используют «Рабочие эфемериды пар Цингера» [16—20], рассчитанные для широтной зоны, включающей определяемый пункт, или применяют оперативные эфемериды, составленные специально для данного пункта и лишь на определенный интервал звездного времени. Выбирают пары Цингера с зенитными расстояниями от 20 до 50° и с удалениями звезд от первого вертикала не более 25° (азимуты западных звезд от 65 до 115°). Если предполагается выполнять наблюдения с применением круговой позиционной шкалы, то вычисляют позиционные углы p (если их нет в упомянутых Эфемеридах), и по ним соответствующие отсчеты по шкале $P_{ш}$ (см. 10. 15).

3.3.2. Методика наблюдений

Наблюдения пар Цингера производят следующим образом. Трубу теодолита устанавливают на зенитное расстояние пары и на азимут первой звезды: скрепляют раму талькоттовского уровня с горизонтальной осью закрепительным винтом при раме, освобождают ограничительную вилку и элевационным винтом приводят пузырек уровня на середину рабочей части ампулы; подвижную нить микрометра устанавливают на расстоянии около 1,5 оборота винта от нуль-пункта на той стороне поля зрения, на которой появится звезда. Далее действия наблюдателя зависят от того, что применяется в наблюдениях — позиционная шкала или координатная сетка.

3.3.3. Наблюдение пар Цингера с применением позиционной шкалы

Поворотом алидады горизонтального круга при помощи наводящего винта звезду пропускают через отсчет по шкале $P_{ш}$ (см. 10.15) и в этом положении алидаду оставляют неподвижной на все время наблюдения звезды. Когда звезда приблизится к подвижной рабочей нити микрометра, отсчитывают по уровню, включают хронограф и как только звезда вступит на нить сопровождают звезду этой нитью на протяжении трех оборотов винта; отсчитывают второй раз по уровню. Смещение пузырька уровня в промежутке между первым и вторым отсчетами не должно превышать $0{,}4^{д}$. Выключают хронограф. На этом наблюдение первой звезды данной пары заканчивают. При переходе к наблюдениям второй звезды переключают электрические цепи микрометра и хронометра с целью исключения параллакса в записывающей системе хронографа. Далее, оставляя неизменной установку трубы по высоте, алидаду горизонтального круга устанавливают по азимуту второй звезды; вторую звезду пары наблюдают так же, как первую.

Закончив наблюдения пары звезд, производят подготовку к установке трубы теодолита для наблюдений следующей пары: накидывают ограничительную вилку на водильце рамы талькоттовского уровня, освобождают закрепительный винт этой рамы, освобождают закрепительный винт трубы. По эфемеридным данным устанавливают трубу для наблюдений следующей пары. Звезды второй пары наблюдают в обратной последовательности, т. е. если были исполнены наблюдения звезд первой пары, например в порядке EW, то звезды второй пары наблюдают в порядке WE, третьей — в порядке EW и т. д.

Наблюдения пары звезд должны выполняться так, чтобы уже после первого отсчета по талькоттовскому уровню при наблюдении первой звезды не должно быть никаких прикосновений к уровню (элевационному винту, оправе ампулы, зеркальцу и другим деталям рамы уровня) вплоть до последнего отсчета по уровню в наблюдениях второй звезды, так как даже легкое прикосновение может вызвать изменение наклона лишь самого уровня, не отражающего изменения наклона трубы, что окажет влияние на результат определения в виде фиктивной составляющей поправки за уровень.

3.3.4. Наблюдение пар Цингера с применением постоянной координатной сетки

На рис. 3.4 представлена прямоугольная постоянная координатная сетка нитей контактного микрометра ЦНИИГАиК, предназначенная для наблюдений пар Цингера. Она содержит две пары горизонтальных сближенных нитей K_1K_3 и $K_1'K_3'$ и вертикальную (боковую) K_1K_1'. Биссекторы сближенных нитей расположены по разные стороны относительно нуль-пункта, на расстояниях от него

в два оборота винта. Для наблюдений в широтной зоне от 35 до 70° вертикальная координатная нить установлена на расстоянии $f = 410''$ от центральной вертикальной K_2K_2'. Точками встречи звезд, составляющих пару Цингера, называют постоянные точки пересечения K_1, K_1' биссекторов сближенных нитей с вертикальной координатной нитью.

Установку трубы, подготовку талькоттовского уровня к наблюдениям звезд, установку подвижной нити микрометра производят так же, как и для случая наблюдений с применением позиционной шкалы; когда звезда приблизится к ближайшей по ее ходу паре сближенных нитей, отсчитывают по уровню, затем поворотом алидады горизонтального круга наводят вертикальную координатную нить на звезду и удерживают на ней (действуя наводящим винтом алидады горизонтального круга) до вступления звезды в точку встречи; в этот момент движение алидады прекращают, и когда звезда достигнет рабочей нити hh микрометра, включают хронограф, биссектируют звезду этой нитью на протяжении трех оборотов, пользуясь приводом для вращения винта микрометра; отсчитывают второй раз по уровню, выключают своевременно хронограф. Закончив этим наблюдение первой звезды, переключают в хронографе цепи микрометра и хронометра, устанавливают алидаду горизонтального круга по азимуту второй звезды, которую наблюдают так же, как и первую.

При применении постоянной координатной сетки звезды пары в общем случае не пройдут через центр поля и их пути не

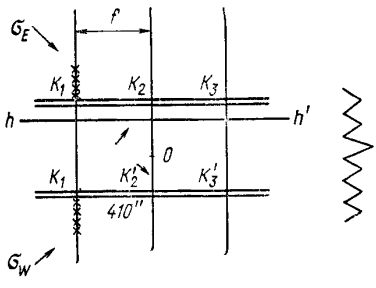


Рис. 3 4. Сетка нитей контактного микрометра геодолита АУ 2/10

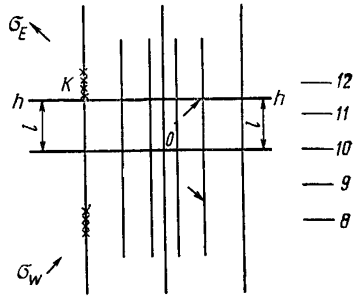


Рис. 3.5. Сетка нитей микрометров теодолитов Вильд Т4 и ДКМ3-А

пересекутся в какой-нибудь одной общей точке на подвижной нити при положении последней в нуль-пункте поля, потому что будет иметь место влияние погрешностей за наклон нити и др. Однако эти погрешности окажутся незначительными, если наклон нити мал (не более 5′) и если положению подвижной нити микрометра на середине промежутка между координатными биссекторами (точками встречи звезд) соответствует середина опо-

знавательного контакта (точка симметрии контактов двух рабочих оборотов винта). И все же во избежание остаточного влияния погрешностей юстировку на горизонтальность нити надлежит производить всякий раз перед началом звездных наблюдений, а по окончании наблюдений — контролировать.

На определяемых пунктах, расположенных в широтной зоне от $+35$ до $-35°$, в качестве вертикальной координатной нити служит центральная K_2, K'_2, а в широтной зоне от -35 до $-70°$ служит боковая $K_3K'_3$ (или нить $K_1K'_1$ но при другом положении вертикального круга теодолита). Наблюдения всех пар производят при одном и том же круге, удобнее при том, при котором отсчет по кругу тождествен зенитному расстоянию звезды (при МО = 0), т. е. при КЛ для Т4, АУ 2/10 и ДКМ3-А.

Контактные микрометры теодолитов Вильд Т4, ДКМ3-А специальной координатной сетки не имеют, поэтому в качестве вертикальной координатной нити используют крайнюю боковую или центральную (в зависимости от широтной зоны, к которой относится определяемый пункт), а в качестве горизонтальной служит подвижная нить hh, устанавливаемая всегда на одном и том же расстоянии $l=1{,}5$ оборота винта от нуль-пункта сверху или снизу в зависимости от направления суточного движения звезды (рис. 3.5). С момента вступления звезды в точку встречи K (точка пересечения подвижной нити с вертикальной неподвижной) осуществляют биссектирование на протяжении трех оборотов винта при неподвижной алидаде горизонтального круга. В таких наблюдениях положению неподвижной нити в нуль-пункте ($10_{об}$) должна соответствовать середина опознавательного контакта (установка счетной головки $0_{дел}$) или, когда этого нет, за нуль-пункт принимают отсчет $10_{об}\pm$ $\pm d_{дел}$, соответствующий середине опознавательного контакта.

Для определения нуль-пункта подвижную нить микрометра устанавливают по шкале оборотов на штрих 10 (при этом отсчет по шкале 0), микрометр подключают к хронографу и по срабатыванию записывающего устройства находят положение опознавательного контакта внутри интервала $9{,}5$—$10{,}5^{об}$. В качестве нуль-пункта принимают среднее из отсчетов по шкале головки. При установке подвижной нити hh на расстояние l, исчисляемое от положения опознавательного контакта, учитывают величину нуль-пункта, т. е. ставят на отсчет нуль-пункт $\pm l$, где знак «+» соответствует установке нити на стороне старших оборотов, знак «—» на младших оборотах.

Рекомендуется наблюдать по 10—12 пар в каждый вечер. При неблагоприятных погодных условиях в отдельном вечере может наблюдаться и меньшее число пар, в обработку включаются даже одиночные пары, наблюденные в интервале между приемами радиосигналов времени, не превышающем допуск.

3.3.5. Вычисление долготы

По каждой звезде пары Цингера с хронографической ленты записывают в журнал (табл. 3.6) по 10 контактам, симметричным относительно опознавательного, моменты наблюдений, фиксированные на двух рабочих оборотах барабана контактного микрометра. Выводят средние моменты наблюдений T_W, T_E звезд и средние отсчеты по жидкостному уровню (Л + П) или m для электромеханического; здесь же находят изменение наклона трубы.

$$\left.\begin{aligned}\delta_i &= (Л+П)_W - (Л+П)_E, \text{ если нуль уровня вблизи объектива,}\\ \delta_i &= (Л+П)_E - (Л+П)_W, \text{ если нуль уровня вдали от объектива.}\end{aligned}\right\} \quad (3.7)$$

Таблица 3.6

Журнал наблюдений

Определение долготы (времени) по способу Цингера

Дата *16/17 июля 1978 г.* Теодолит АУ 2/10
Наблюдатель *А. В. Ермоленко* $\delta_i = (m_W - m_E)$, $\tau = 1{,}190''$
Пункт $\varphi = 43°44'56{,}3''$, $\lambda = 2^h50^m40{,}000^s$
МШ = + 2,04″.

Пара № 950

$s = 21^h41{,}2^m$ $z = 30°5'$

Звезда 724 — W $a_W = 88°25'$		Звезда 708 — E $a_E = 270°20'$	
Уровень	Хронометр	Уровень	Хронометр
38,2—18,0	$21^h38^m16{,}12^s$	37,5—17,2	$21^h41^m13{,}68^s$
38,0—17,9	17,92	37,4—17,1	11,94
56,05	19,76	54,60	09,98
	21,65		08,25
	23,40		06,35
	25,02		04,46
	26,98		02,83
	28,68		41 01,10
	30,67		40 59,20
	38 32,25		40 57,45
	21 38 24,245		21 41 05,524

$$\delta_i = +1{,}45^\partial, \quad \Delta z_b = \delta i \cdot \tau = +1{,}73''$$
$$\Delta z_{МШ} = -(МШ) = -2{,}04$$
$$\Delta z_b + \Delta z_{МШ} = -0{,}31''$$

Из АЕ выбирают видимые координаты (α_W, δ_W), (α_E, δ_E) звезд. По материалам приема радиосигналов вычисляют ход хронометра ω относительно звездного времени и, пользуясь долготой λ_0 пункта, находят соответствующие поправки хронометра относительно местного звездного времени на моменты наблюдений звезд (см. 2.3). Вычисляют часовые углы t_W, t_E звезд на средние моменты наблюдений T_W, T_E по формуле $t = T + u - \alpha$; по часовым углам с известной широтой пункта вычисляют зенитные расстояния Z_W, Z_E (см. 2.4). Для полевых вычислений требуется широта с точностью

до 2″, предварительная долгота до 1^s. Если они не известны, то получают их по нескольким широтным и долготным парам.

Вычисляют условное уклонение отвесной линии (табл. 3.7)

Таблица 3.7

Вычисление y_i по отдельной паре Цингера

Дата *16/17 июля* 1978 г.

Пара	950	
Схема	Звезда	
	724—W	708—E
T	$21^h38^m24{,}245^s$	$21^h41^m05{,}524^s$
u	+ 1 24,730	+ 1 25,170
s	21 39 48,975	21 42 30,694
α	19 06 33,888	0 17 13,134
t	2 33 15,087	2 34 42,440
t°	38.31286	38.67683
φ	43°44′56,3″	
δ	36 04 10,22	36°39′50,11″
$\varphi - \delta$	7,679466	7,085052
$\varphi + \delta$	79,81847	80,41289
$\cos(\varphi - \delta)$	0,991031	0,992364
$1 + \cos t$	1,784637	1,780683
$\cos(\varphi + \delta)$	0,176767	0,166547
$1 - \cos t$	0,215363	0,219317
$\cos z$	0,8652805	0,8652796
z	30 05 07,00	30 05 07,33
$z_E - z_W$	+0,33″	
$\Delta z_b + \Delta z_{МШ}$	−0,31	
$\sin a_W - \sin a_E$	2,000	
y'_i	+0,01	
Δy_a	+0,20	
y_i	+0,21″	

$$y_i = \frac{(Z_E - Z_W) + \Delta Z_b + \Delta Z_{МШ}}{\sin a_W - \sin a_E} + \Delta y_{ac}, \qquad (3.8)$$

где $\Delta Z_b = \delta_i \frac{\tau}{2}$ — поправка за уровень; $\Delta Z_{мш} = -(МШ)$ — поправка за мертвый ход винта и ширину контактов микрометра; $\Delta y_{ac} = 0{,}32'' \cos\varphi \cos Z$ — поправка за суточную аберрацию.

По каждой группе пар находят Σy_i и затем по всей программе измерений долготы (по всем группам) $\Sigma\Sigma y_i$.

Вычисляют среднее значение $y = (\Sigma\Sigma y_i)/n$ и поправку $\Delta\lambda = y/15\cos\varphi$ к приближенной долготе λ_0.

Измеренную долготу получают по формуле

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda. \qquad (3.9)$$

По всей программе находят уклонения $v = y - y_i$ и $\Sigma\Sigma v^2$, где Σv^2 определяется по каждой группе.

Средние квадратические погрешности измерений получают по формулам;

$$m_y = \sqrt{\frac{\Sigma\Sigma v^2}{n-1}}; \quad m_u \cos\varphi = \frac{1}{15}\sqrt{\frac{\Sigma\Sigma v^2}{n-g}}; \quad m_\lambda = \frac{m_y}{15\cos\varphi};$$

$$M_\lambda = \frac{m_\lambda}{\sqrt{n}}. \qquad (3.10)$$

Таблица 3.8

Вычисление y из полной программы измерений

Пункт $\lambda_0 = 2^h50^m40{,}000^s$ Группа I
Дата 16/17 июля 1978 г.

Номер наблюдений	Номер пары	y_i	$v = y - y_i$	Вычисление $\Delta\lambda_{nut}$ поправки	
1	932	+0,24″	+0,36″	Интерполяционный множитель	0,970
2	933	+1,33	—0,73	p'	0,09″
3	937	+1,10	—0,50	G'	10,7^h
4	939	+0,12	+0,48	$S_{ср}$	21,7
5	947	+0,52	+0,08	$G' + S_{ср}$	8,4
6	950	+0,21	+0,39	I'	—0,013^s
7	955	+0,95	—0,35		
8	956	+1,20	—0,60		
9	958	+0,02	+0,58	$\frac{1}{15} g \operatorname{tg}\varphi \sin(G' + S_{ср})$	+0,005
10	961	+1,42	—0,82	$\Delta\lambda_{nut}$	—0,008
11	964	+0,29	+0,31		
$n_i = 11$		$\Sigma y_i = +7{,}40$	$\Sigma v^2 = 2{,}889$		

Сводка вычислений y

Дата 1978 г.	n_j	Σy_i	Σv^2	$\Delta\lambda_{nut}$
16/17 июля	11	+7,40″	2,889	—0,008^s
17/18 »	13	+7,38	3,800	—0,006
18/19 »	2	+1,08	0,352	—0,003
22/23 »	11	+6,22	3,248	+0,006
	$n = 37$	+22,08″	$10{,}289 = \Sigma\Sigma v^2$	

$$y = \frac{\Sigma\Sigma y_i}{n} = \frac{+22{,}08''}{37} = 0{,}60'', \quad \Delta\lambda = \frac{y}{15\cos\varphi} = \frac{+0{,}60}{10{,}83} = +0{,}055^s.$$

Вычисление долготы и оценка точности

$$m_y = \sqrt{\frac{\Sigma\Sigma v^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{10{,}289}{37-1}} = 0{,}54''; \quad m_u \cos\varphi = \frac{1}{15}\sqrt{\frac{\Sigma\Sigma v^2}{n-g}} =$$

$$= \frac{1}{15}\sqrt{\frac{10{,}289}{37-4}} = 0{,}037^s \text{ («хорошо»)};$$

$$\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda = 2^h50^m40{,}000^s + 0{,}055^s = 2^h50^m40{,}055^s;$$

$$m_\lambda = \frac{m_y}{15\cos\varphi} = \frac{0{,}54''}{10{,}83} = 0{,}050^s, \quad M_\lambda = \frac{m_\lambda}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}050}{\sqrt{37}} = 0{,}008^s;$$

$$\Delta\lambda_{nut} = \frac{\Sigma n_j \Delta\lambda_{nut}}{n} = \frac{-0{,}106}{37} = -0{,}003^s, \quad \lambda = \lambda' + \Delta\lambda_{nut} =$$

$$= 2^h50^m40{,}052^s.$$

При окончательных вычислениях надлежит (табл. 3.8) учитывать влияние короткопериодической нутации (если не было учтено в экваториальных координатах α, δ звезд). С этой целью все величины y_i группируют так, что в каждую отдельную группу включают пары, наблюденные в интервале продолжительностью не более 4 ч. По группе, содержащей, например, n_j пар, находят средний момент наблюдения их $s_{ср} = (1/n_j)\,\Sigma s_i$ по местному звездному времени (с точностью до $0{,}1^h$), выбирают из АЕ (см. табл. «Редукционные величины») числа f', g', G' и по ним вычисляют поправку $\Delta\lambda_n$ в долготу по формуле

$$\Delta\lambda_n = f' + (1/15)\,g'\,\mathrm{tg}\,\varphi\,\sin(G' + S_{ср}). \qquad (3.11)$$

Такой поправке придается вес p, равный числу пар, вошедших в группу ($p = n_j$). Из групповых $\Delta\lambda_n$ выводят среднюю весовую поправку $\Delta\lambda_{nut}$, которую вводят в долготу $\lambda + \Delta\lambda_{nut} = \lambda'$.

В измеренную долготу вводят поправки за приведение к центру пункта и к среднему полюсу (см. 8.1 и 8.4).

В долготу, приведенную к центру пункта и к среднему полюсу, вводится средняя в сезоне лично-инструментальная разность

$$\lambda_{ок} = \lambda' + \text{ЛИР}, \qquad (3.12)$$

после чего производят оценку точности окончательного значения долготы (см. 3.1).

3.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОТЫ ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ЮЖНЫХ ЗВЕЗД В ВЕРТИКАЛЕ ПОЛЯРНОЙ (СПОСОБ ДЕЛЛЕНА)

Сущность способа Деллена состоит в измерении микрометром малого угла между вертикалами Полярной и южной звезды, с одновременной регистрацией моментов прохождения звезд. Так как способ Деллена является способом азимутальным, то для достижения хорошего качества работ должно соблюдаться условие постоянства азимутальной ориентировки астрономического теодолита и его частей во время наблюдений звезд пары Если ориентировка теодолита меняется линейно, это также не внесет заметных погрешностей в результат.

Наблюдения пар звезд по способу Деллена производят теодолитами, снабженными подвесными или алидадными уровнями, не требующими снятия их с горизонтальной оси при переводе трубы через зенит и предотвращающими тем самым возможность азимутального разворота верхней части теодолита при переходе от наблюдений Полярной к регистрации моментов прохождения южной звезды пары. К достоинствам способа Деллена следует отнести хорошую обеспеченность яркими звездами. Одна из них (Полярная) входит во все пары, а южные звезды легко подбираются из АЕ в достаточном количестве. К недостаткам способа относится большая трудоемкость при составлении эфемерид и обработке результатов наблюдений, из-за чего способ находит применение только за 60-й параллелью в северном полушарии Земли.

В общем случае ожидаемая средняя квадратическая погрешность определения поправки хронометра (долготы) по одной паре звезд данным способом, с достаточной точностью для современных астрономических теодолитов может быть подсчитана по формуле

$$\mu_0 = \pm 0{,}03^s \sec\varphi \sec Z_S.$$

Для определения долготы полевого пункта с погрешностью $\pm 0{,}03^s$ программа наблюдений должна содержать не менее 30 пар звезд, распределенных не менее чем на три вечера наблюдений. Регистрация пар выполняется между приемами радиосигналов точного времени, интервал между которыми не превышает 2 ч для механических хронометров и не ограничен для кварцевых. Астрономические теодолиты, предназначенные для определения долготы по способу Деллена, должны быть исследованы в лаборатории и в поле по программе, приведенной в 11.24. До и после полевых определений астроном должен выполнить определение долготной лично-инструментальной разности на основном долготном пункте Пулково. Каждое из определений долготной разности выполняют в четыре вечера, наблюдая не менее 40 пар звезд. Методика наблюдений принимается такой же, как и на полевом пункте. Средняя квадратическая погрешность определения долготы по одной паре звезд при определении долготной лично-инструментальной разности не должна превышать $\pm 0{,}5^s \cdot \sec\varphi$, а погрешность определения долготной разности из программы — $\pm 0{,}008^s \cdot \sec\varphi$. Пары, долготы по которым отличаются от средней долготы, полученной из всей программы более чем на $0{,}08^s \cdot \sec\varphi$, из обработки исключаются. Взамен их производится наблюдение новых пар. Расхождение между значениями начальной ЛИР 1 и заключительной ЛИР 2 не должно превышать $\pm 0{,}08^s$.

Определение долготы основного и полевого пунктов начинают с составления эфемерид. Пользуясь моментом $s_н$ начала наблюдений, выраженным в местном звездном времени (см. раздел 2 3) и широтой φ_0 пункта наблюдений, известной с погрешностью 1 — 2′, из АЕ выбирают хорошо видимые в трубу данного астрономического теодолита на данном пункте яркие южные звезды, кульминирующие в интервале зенитных расстояний 10—50°. Прямое восхождение первой из подобранных южных звезд должно составлять $\alpha_S = s_н + 10^m$, а последующие звезды должны кульминировать через 8—15 мин одна за другой. В ведомость вычисления эфемерид (табл. 3.9) записывают номера, прямые восхождения α_S и склонения δ_S выбранных звезд.

Для каждой южной звезды выбирают из АТ или вычисляют по формуле $v_a = 15' \cos\delta \operatorname{cosec} Z_S$ скорости движения звезд по азимуту в минутах дуги за минуту времени.

Из таблиц высот и азимутов Полярной АЕ на моменты $s_i = \alpha_S - 4^m$ выписывают в ведомость величины f и a^*_N, необходимые для последующих вычислений зенитного расстояния и азимута Полярной

По формуле $t_S = \frac{a_N}{v_a}$ вычисляют часовой угол t_S южной звезды в момент пересечения ею вертикала Полярной. Знак часового угла будет одинаковым со знаком величины a_N^*, которую считают от направления на север к западу отрицательной, а к востоку — положительной.

Таблица 3.9

Ведомость вычисления эфемерид

Пункт *Петровск* $\varphi_0 = 69°36'$ $s_H = 1^h00^m$

Номер звезды	m	α	δ	v_a	t_s	f_N	a_N^*
27	2,4	1^h09^m	35°31′	21,8	$+2^m$	+48′	+41′
35	2,8	24	60 08	45,5	+1	+48	+32
38	3,8	37	48 31	27,6	+1	+49	+23

Таблица 3.10

Рабочие эфемериды пар Деллена

Теодолит Вильд Т4, $R = 150{,}0''$

Номер звезды	m	s_N	Z_N	a	Z_S	ΔM	v_a
27	2,4	1^h07^m	19°36′	180°26′	34°05′	2,44 об	21,8
35	2,8	21	19 36	180 17	9 28	2,44	45,5
38	3,8	34	19 35	180 08	21 05	2,45	27,6

По данным табл. 3.9 вычисляют рабочие эфемериды (табл. 3.10). В таблицу записывают номер и величину m южной звезды и скорость движения по азимуту, а также вычисленный по формуле $s_N = \alpha_S + t_S - 4^m$ момент начала наблюдений Полярной. Находят зенитные расстояния Полярной и южной звезд $Z_N = (90° - \varphi_0) - f$, $Z_S = \varphi_0 - \delta_S$. Находят азимут вертикала инструмента, установленного для наблюдений Полярной в первом полуприеме $a_1 = 180° + a_N^* - 15'$. Азимут a_1 считается от направления на юг, по ходу часовой стрелки, от 0 до 360°. По формуле $\Delta M = (1/R)\,90\,000 \cos\varphi_0 + (1/R)\,108{,}22\,f$ подсчитывают установочный отсчет для подвижной вертикальной нити контактного микрометра, относительно отсчета M_0 в нуль-пункте последнего. В приведенной формуле величина ΔM получается в делениях барабана микрометра и их долях, при условии, что R — цена оборота выражена в секундах дуги, а f — в минутах дуги. Формулы даны для теодолита, барабан микрометра которого разделен на 100 делений.

Перечисленные выше вычисления выполняют для всех подобранных южных звезд, число которых должно быть таким, чтобы наблюдатель в метеорологических условиях каждого данного пункта мог в течение вечера регистрировать 12—15 пар

звезд Обычно это удается сделать, если эфемериды составлены на 5—6 ч непрерывных ежевечерних наблюдений, следующих за моментом $s_н$

Для определения и последующего вычисления долгот по способу Деллена необходимо на каждом полевом пункте определять цену оборота винта микрометра по наблюдениям звезд в меридиане (см. 11.12). Цену оборота целесообразно определять в процессе наблюдений долготных пар по южным звездам, входящим в пары. При этом, если южная звезда пары регистрируется до меридиана (кульминации) на достаточном удалении от него (более 2°), то цену оборота определяют по этой звезде сразу же после окончания наблюдений данной пары. Если же южная звезда пары регистрируется после меридиана, то цену оборота определяют перед наблюдением данной пары

Долготные определения рассматриваемым способом выполняют в следующем порядке. За 35—40 мин до начала наблюдений производят тщательное горизонтирование астрономического теодолита и проверку работоспособности всей аппаратуры. Горизонтирование теодолита между наблюдениями звезд пары недопустимо, а внутри одного вечера нежелательно из-за возможного влияния упругих деформаций на азимутальную стабильность теодолита.

За 10—15 мин до момента $s_н$ начала вечерних наблюдений принимают радиосигналы точного времени и используя приближенную долготу пункта наблюдений, известную с погрешностью ± 10 с, вычисляют поправку хронометра (см. 2.3). Одновременно проверяют работу электрических цепей регистрации моментов прохождения звезд, измеряют мертвый ход и ширину контактов микрометра Порядок наблюдений звезд в каждой паре принимают следующим:

КП (КЛ) — Полярная,
КЛ (КП) — южная звезда,
КП (КЛ) — южная звезда,
КЛ (КП) — Полярная.

Наблюдения звезд выполняют в такой последовательности.

1. КП(КЛ) За 2—3 мин до эфемеридного момента начала наблюдений Полярной в данном приеме верхнюю часть теодолита поворачивают и закрепляют по азимуту a_N, выбранному из эфемерид (см табл. 3 10) Трубу теодолита закрепляют на зенитном расстоянии Полярной и, отыскав последнюю в поле зрения, отводят подвижную нить в сторону Полярной на величину ΔM от нуль-пункта микрометра. За 30—40 с до эфемеридного момента начала наблюдений, наводящими винтами трубы и алидады горизонтального круга приводят изображение Полярной на подвижную нить микрометра, в удалении по

высоте на 0,5—1,0 оборота от неподвижной горизонтальной нити, всегда с одной и той же ее стороны (например, между горизонтальной нитью и шкалой оборотов).

2. Измеряют направление на Полярную. Если для определения наклона теодолита применяют жидкостный алидадный (подвесной) уровень, отсчитывают сначала по левому, а затем по правому его концам. Порядок отсчетов дан для наблюдателя, обращенного лицом к светилу. С интервалом 10—20 с пять раз подряд наводят подвижную нить микрометра на Полярную, сопровождая каждое наведение регистрацией момента по хронометру и взятием отсчета по шкале микрометра. Закончив визирование на Полярную, вторично отсчитывают уровень.

3. КЛ(КП). Не сдвигая верхнюю часть теодолита по азимуту, осторожно переводят трубу через зенит и закрепляют ее на эфемеридном зенитном расстоянии южной звезды пары. Подвижную нить контактного микрометра отводят навстречу ожидаемому движению звезды и устанавливают в 5,5 оборотах от нуль-пункта. При появлении звезды в поле зрения трубы, вращая наводящий винт трубы, устанавливают последнюю так, чтобы изображение южной звезды расположилось по высоте с той же стороны и на том же удалении неподвижной горизонтальной нити, что и изображение Полярной в предыдущем полуприеме. Отсчитывают по уровню. Как только изображение звезды достигнет подвижной нити микрометра, дают команду помощнику на включение регистрирующего устройства и, плавно вращая рукоятку микрометра, удерживают нить на изображении звезды до тех пор, пока на ленте не будет зафиксировано 10 рабочих контактов микрометра. Закончив наблюдение, вторично отсчитывают по уровню.

4. КП (КЛ). Переводят трубу через зенит и вновь закрепляют ее на зенитном расстоянии южной звезды. Верхнюю часть теодолита поворачивают по ходу часовой стрелки на угол $180°+30'$ и с точностью $\pm 10''$ закрепляют в таком положении для наблюдений южной звезды во втором полуприеме. Обнаружив звезду в поле зрения трубы, в порядке, изложенном в пункте 3, регистрируют моменты прохождения звезды на тех же рабочих оборотах винта микрометра, что и в первом полуприеме.

5. КЛ (КП). Не сдвигая верхнюю часть теодолита по азимуту, осторожно переводят трубу через зенит и закрепляют ее на зенитном расстоянии Полярной. Наводящим винтом трубы приводят изображение Полярной к неподвижной горизонтальной нити примерно на ту же высоту, где находилась южная звезда в средний момент регистрации ее во втором полуприеме. Выждав 1,5—2,0 мин, выполняют измерения в объеме, перечисленном в пункте 2, визируя на Полярную подвижной нитью микрометра.

Наблюдения Полярной в следующей паре начинают при положении верхней части теодолита, зафиксированном в пункте 5. Наблюдателю следует помнить, что скорости движения южных звезд по азимуту весьма значительны и возрастают при уменьшении зенитных расстояний звезд. В связи с этим действия наблюдателя при переходе от пункта 3 к пункту 4 должны быть хорошо отработанными, быстрыми, но одновременно плавными и мягкими с тем, чтобы быстрота не сказалась на качестве работ. Время, отводимое по данной методике на переход от пункта 3 к 4, не превышает 1,0—1,5 мин, и в случае, если наблюдатель не уложится в него, прием может быть не законченным. В первые два вечера работ на пункте рекомендуется наблюдать по 14—15 пар звезд. В третий вечер программу завершают и, кроме того, выполняют наблюдения дополнительных пар, взамен отбракованных по результатам вычислений.

Результаты измерений записывают в журнал наблюдений (табл. 3.11). Если на интервал наблюдений подобрано избыточное число пар, то в разные вечера следует наблюдать разные пары с тем, чтобы ослабить влияние погрешностей координат звезд на результаты измерений.

В процессе наблюдений помощник производит вычисления и контроль.

Сравнивает отсчеты уровня, взятые до и после наблюдения звезды в полуприемах. Разности $(Л + П)_1 - (Л + П)_2$ не должны превышать $0{,}8^{\partial}$.

Вычисляет наклон теодолита при наблюдении Полярной b_N и южной звезды b_S, в делениях уровня. Наклон $b_N + b_S$ не должен превышать 15″.

Выводит средние значения отсчетов $M_П$ и $M_Л$ по микрометру в полуприемах наблюдений Полярной. Полусумма этих отсчетов должна быть в пределах $\pm 50^{\partial} + M_0$, где M_0 — отсчет в нуль-пункте микрометра, в делениях его шкалы.

Обработку результатов наблюдений выполняют в определенной последовательности. С хронографической ленты выписывают в журнал наблюдений (см. табл. 3.11) моменты регистрации прохождений южных звезд. Для каждого полуприема Полярной и южной звезды находят среднее значение T' и T'', а затем и средние моменты наблюдений звезд в приеме: $T_{N,S} = (T' + T'')/2$. Вычисляют коэффициенты $D_{N,S} = (T' - T''/100)^2$ для последующего введения поправок за ускорение движения звезд по азимуту. Числитель $T' - T''$ в этой формуле должен быть выражен в секундах времени.

На моменты $s'_N = T'_N + u_0$ и $s''_N = T''_N + u_0$ с точностью до 0,1″ вычисляют зенитные расстояния Полярной $Z = (90° - \varphi) + I + II + III$. Поправки I, II, III выбирают из АЕ в таблице «Широта по наблюдениям Полярной». Одновременно из АЕ на средние моменты наблюдений звезд, выраженные в звездном времени $s_{N,S} = T_{N,S} + u_0$, где u_0 — поправка хронометра, вычисленная на

Таблица 3.11

Журнал наблюдений

Пункт *Петровск* Пара № 5 Дата *4/5октября 1979 г.*

Теодолит Вильд Т4, $R = 150{,}000''$, $\tau = 1{,}682''$, МШ $= +1{,}065''$

КП				КЛ		
Микрометр	Хронометр	Уровень		Уровень	Хронометр	Микрометр
			Полярная			
$12{,}368^{об}$	$1^h33^m20{,}0^s$	26,9—5,9		5,1—26,1	$1^h39^m30{,}0^s$	$11{,}584^{об}$
338	37,0	26,9—5,8		5,2—26,1	44,0	594
324	49,0				55,0	618
303	59,0	32,75		31,25	40 06,0	635
281	34 12,0		$b_N = -0{,}75^\partial$		18,0	649
12,3228	1 33 47,4		$T_N = 1^h36^m51{,}0^s$		1 39 54,6	11,6160
$z' = 19°35'20{,}7''$			$D_N = 13{,}47$			$z'' = 19°35'06{,}7''$
			$\Delta a_b = -1{,}89''$			
			$M = +2'38{,}04''$			
			Южная звезда № 38			
			$z_s = 21°05''$			
$1^h36^m09{,}63^s$	6,1—27,0			26,2—5,2	$1^h37^m55{,}41^s$	
11,85	6,0—27,0	$b_S = +0{,}88^\partial$		26,1—5,1	57,41	
13,74	33,05			31,30	59,52	
15,72					38 01,50	
17,66			$T_S = 1^h37^m10{,}526^s$		03,34	
19,63			$D_S = 1{,}13$		05,46	
21,45			$\Delta a_b = +1{,}92''$		07,62	
23,27					09,50	
25,38					11,37	
1 36 17,592			$b_N + b_S = +0{,}13^\partial$		1 38 03,459	

момент наблюдений T_i, выбирают и записывают в вычислительную ведомость (табл. 3.12) координаты α и δ Полярной и южной звезд.

Таблица 3.12

Вычисление долготы

Пункт *Петровск* $\varphi_0 = 69^\circ 35' 32{,}5''$, $\lambda_0 = 11^h 20^m 47{,}000^s$

Номер пары Дата Номер звезды	5 4/5 октября 1979 г. αUM$_i$	38S
T	$1^h 36^m 51{,}0^s$	$1^h 37^m 10{,}526^s$
u	+20,5	+20,541
α	2 13 18,0	1 36 46,348
t	23 23 53,5	0 00 44,719
δ	89°10′06,7″	48°31′30,64″
a'	180 23 20,41	0 20 35,98
δi	−1,89	+1,92
δa	+0,33	−0,31
Δa_W	−0,13	−0,01
$\Delta a_{вл}$	+0,50	+0,50
$\Delta a_{МШ}$	—	+1,47
a	180 23 19,22	0 20 39,55
$a_S - a_N$	−0°02′39,67″	
ΔM	+0 02 38,04	
$(a_S - a_N) + \Delta M$	−1,63″	
Δv	27,6	
λ_0	$11^h 20^m 47{,}000^s$	
$\Delta\lambda$	−0,059	
λ'_i	$11^h 20^m 46{,}941^s$	

Вычисляют поправки Δa_{b_N} и Δa_{b_S} за наклон теодолита для Полярной и южной звезд соответственно по формуле:

$$\Delta a_b = b \frac{\tau''}{2} \operatorname{ctg} Z. \tag{3.13}$$

Поправку за микрометр при наблюдении Полярной вычисляют по формуле

$$\Delta M_N = \frac{1}{2} R (\Delta M' \operatorname{cosec} Z' + \Delta M'' \operatorname{cosec} Z''), \tag{3.14}$$

где R — цена оборота микрометра, выраженная в секундах дуги и определенная в порядке, указанном в 11.11, а $\Delta M'$ и $\Delta M''$ — разности $\Delta M = \pm (M - M_0)$, где M_0 — отсчет в нуль-пункте микрометра. Знаки перед скобкой в последней формуле назначают с учетом типа теодолита и конструкции микрометра (см. раздел 6.2).

Находят часовые углы звезд $t = T + u_0 - \alpha$, а затем вычисляют азимуты вертикалов наблюдений северной a'_N и южной a'_S звезд по формуле

$$\operatorname{tg} a'_{N,S} = \frac{\sin t}{\sin\varphi \cos t - \cos\varphi \operatorname{tg}\delta} \tag{3.15}$$

или ее модификациям для малых значений часовых углов t.

Используя вычисленные значения азимутов, вычисляют поправки за ускорение движения звезд по азимуту по формулам:

$$\Delta a_{w_S} = KD \sin 2a'_S \text{ — для южной звезды;}$$

$$\Delta a_{w_N} = -0{,}68''D \sin 2a'_N \text{ — для Полярной звезды.}$$

Коэффициент K вычисляют по формуле

$$K = -1{,}36''\left(\frac{\cos^2 B}{\sin^2 Z^*} + \frac{\cos B \sin \delta}{2 \sin Z^* \cos a^*}\right). \quad (3.16)$$

Из результатов лабораторных исследований (см. 11.17 и 11.20) выписывают в ведомость поправки за неправильность цапф и боковое гнутие трубы. В тех случаях, когда взамен этих двух поправок определялась азимутальная поправка теодолита (см. 11.18), в ведомость заносят ее значение $\Delta a_{вл}$.

Находят поправки за суточную аберрацию:

$$\Delta a_{аб} = 0{,}32'' \cos \varphi \operatorname{cosec} Z.$$

Поправку за мертвый ход и ширину контактов в азимут южной звезды вычисляют по формуле

$$\Delta a_{Мш} = \frac{1}{2} (Мх \pm Шк) \operatorname{cosec} Z_S.$$

Подсчитывают исправленные поправками азимуты Полярной и южной звезды

$$a_N = a'_N + \Delta a_{b_N} + \Delta a_{аб} + \Delta a_{w\,a} + \Delta a_{вл};$$

$$a_S = a'_S + \Delta a_{b_S} + \Delta a_{аб} + \Delta a_{w\,a} + \Delta a_{вл} + \Delta a_{Мш}.$$

При полевых вычислениях разность Δv принимают равной v_{a_S} Разность скоростей движения звезд по азимуту вычисляют по формуле

$$\Delta v = 15'' \cos \varphi \, (\operatorname{ctg} Z_S \cos a_S - \operatorname{ctg} Z_N \cos a_N).$$

Вычисляют поправку в принятое для обработки значение долготы λ_0 пункта наблюдений $\Delta\lambda_i = [(a_S - a_N) + M]/\Delta v$, где разность азимутов $(a_S - a_N)$ звезд должна быть выражена в секундах дуги, а разность скоростей движения звезд по азимуту Δv — в секундах дуги за секунду времени.

По формуле $\lambda'_i = \lambda_0 + \Delta\lambda_i$ находят долготу пункта наблюдений по каждой паре звезд. Если по двум первым парам величина $\Delta\lambda$ получилась больше чем $\pm 10^s$, приближенное значение долготы λ_0 уточняют (принимают равным значению λ', полученному по этим двум парам, с округлением до ближайшей целой секунды) и уже с этим новым значением долготы производят обработку всего материала наблюдений (включая и первые две пары).

Закончив вычисления долготы по всем парам программы, выводят среднее значение и производят оценку точности

$$\mu = \sqrt{\frac{[v\,v]}{n-1}}, \quad m_\lambda = \frac{\mu}{\sqrt{n}}. \quad (3.17)$$

Погрешность единицы веса μ не должна превышать $\pm 0{,}04^s \sec\varphi$, а погрешность $m_\lambda \pm 0{,}03^s$.

Кроме того, вычисляется погрешность определения долготы по одной паре $m_u \cos\varphi$ по сходимости внутри вечера в соответствии с формулой (3.6) (см. 3.1).

Вывод окончательного значения долготы полевого пункта наблюдений и оценка точности (с учетом погрешности определения долготной лично-инструментальной разности и средней квадратической величиной ее колебания, принимаемой $\pm 0{,}016^s$) производится в порядке, указанном в 3.1.

3.5. СПОСОБ МНОГОКРАТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЛГОТЫ (ВРЕМЕНИ) ПО АЗИМУТАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ПАРЫ ЗВЕЗД ВБЛИЗИ МЕРИДИАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНТАКТНОГО МИКРОМЕТРА

Способ предназначен для определения долгот пунктов, расположенных в высоких широтах ($\varphi > 70°$). Долгота полевого пункта измеряется по девяти парам звезд с перестановкой горизонтального лимба между парами через 20°, лично-инструментальная разность также по девяти парам при перестановке через 20°. По паре звезд, наблюдаемой при двух положениях теодолита, производится четыре определения долготы. Зенитные расстояния звезд должны быть в пределах от 10 до 50°, разность зенитных расстояний звезд пары не более 12°, разность моментов кульминаций не более 40^m, склонения звезд по абсолютной величине не более 75°.

3.5.1. Подготовка к наблюдениям

Теодолит всесторонне исследуют в лабораторных и в полевых условиях по программе подготовки к высокоточным азимутальным наблюдениям с применением контактного микрометра и горизонтального лимба (см. 11.24). Коллимация, а также отличие от 90° угла между вертикальной осью теодолита (с закрытыми цапфами) и горизонтальной осью вращения трубы (см. 11.10) не должны превышать 20″. Подвижную рабочую нить микрометра приводят в вертикальное положение с погрешностью не более 5′.

Рабочие эфемериды (табл. 3.13) составляются так же, как и для способа многократного определения широты (см. ниже 4.7). Для четырехкратного измерения долготы и наблюдения звезд при положениях теодолита вычисление момента $s_{нач}$ — начала наблюдения пары — по формуле

$$s_{нач} = s_Q - (s_Q - s_P)\frac{v_P}{v_P + v_Q} - (n - 0{,}5)\,\Delta T \qquad (3.18)$$

производится для $n = 8$ и с интервалом времени между отдельными наблюдениями звезд $\Delta T = 4^m$. В эфемериду вписывают

сначала моменты наблюдения звезд, начиная с $s_1 = s_{нач}$, и со звезды полюсной, азимут которой изменяется медленней; для наблюдений при другом положении теодолита $s_2 = s_{нач} + \Delta T$ (см. табл. 3.13); в моменты $s_3 = s_{нач} + 2\Delta T$ и $s_4 = s_{нач} + 3\Delta T$ должна быть наблюдаема вторая звезда. Все это составит одно измерение долготы. Далее в моменты $s_5 = s_{нач} + 4\Delta T$ и $s_6 = s_{нач} + 5\Delta T$ должна наблюдаться та же, вторая, звезда, а в следующие два последовательных момента — первая и т. д. Для каждого момента вычисляется сначала приращение азимута $\Delta a_i = v\,(s_t - s)$, затем приращение зенитного расстояния $\Delta Z_i = 0{,}131 \cos\varphi\, \Delta a_i\,(s_i - s)$, где s_i — эфемеридный момент; s — момент кульминации звезды; $v = 15 \cos\delta \operatorname{cosec} Z$ — азимутальная скорость движения звезды в меридиане. По величинам Δa_i, ΔZ_i и координатам a, Z звезды в кульминации находят эфемеридные a_i, Z_i, основываясь на общих представлениях о положениях звезд близ меридиана (до и после кульминации), или, пользуясь правилами, приведенными в 2.8 (см. табл. 2.7).

Таблица 3.13

Эфемерида для четырехкратного измерения долготы по азимутальным наблюдениям пары звезд

Пункт $\varphi = 69°35'$

$\alpha_N = 12^h33^m$, $Z_m = 40°30'$ $s_{нач} = 0^h7^m$ $\alpha_S = 0^h38^m$, $Z_m = 38°50'$

$\delta_N = 69°54'$, $v_N = 7{,}95'$ $\delta_S = 30°45'$, $v_S = 20{,}58'$

Номер измерения	Звезда 31ON				Звезда 13S			
	последовательность наблюдений	s	Z	a	последовательность наблюдений	s	Z	a
1	(1) Л	0^h7^m	40°26′	176°33′	(3) Л	0^h15^m	38°58′	352°6′
	(2) П	0 11	40 27	177 5	(4) П	0 19	38 56	353 28
2	(7) П	0 31	40 30	179 44	(5) П	0 23	38 54	354 50
	(8) Л	0 35	40 30	180 16	(6) Л	0 27	38 52	356 13
3	(9) Л	0 39	40 30	180 48	(11) Л	0 47	38 51	3 6
	(10) Л	0 43	40 29	181 20	(12) П	0 51	38 53	4 28
4	(15) П	1 3	40 25	183 58	(13) П	0 55	38 55	5 51
	(16) Л	1 7	40 23	184 30	(14) Л	0 59	38 57	7 13

Для наблюдения звезд в их значительном удалении от меридиана, когда параллактические углы q более 10°, вычисляют и вписывают в эфемериду установочные величины l_K, определяющие положения точек встречи K; их получают для расстояния подвижной рабочей нити микрометра от нуль-пункта, равного 1,5 оборота винта, по формуле

$$l_K^{(')} = \frac{1{,}5}{57{,}3} R^{(')} q^{(°)} = 0{,}026 R^{(')} q^{(°)}. \qquad (3.19)$$

Предварительно параллактический угол (в градусах) находят по формуле

$$q^{(°)} = \frac{\cos\varphi}{\cos\delta} \Delta a^{(°)}, \qquad (3.20)$$

где Δa — приращение азимута (в градусах); $R^{(\prime)}$ — цена одного оборота винта (в минутах).

3.5.2. Методика наблюдений

Трубу устанавливают по эфемеридным координатам для наблюдений первой по времени звезды, подвижную нить микрометра отводят на расстояние 1,5 оборота от нуль-пункта навстречу звезде; когда звезда приблизится к этой нити, отсчитывают по уровню; на глаз определяют положение точки встречи K на подвижной нити микрометра, пользуясь числом $l_к$ — расстоянием от центральной горизонтальной нити и шкалой оборотов винта (или известными расстояниями горизонтальных нитей от центральной) как масштабом; точка встречи будет расположена выше или ниже центральной горизонтальной нити в зависимости от того, возрастает или убывает зенитное расстояние звезды, а также от вида изображения (прямое, обратное) в трубе теодолита. Звезда при своем суточном движении должна пройти через точку встречи, для чего при необходимости изменяют положение трубы по высоте. Своевременно включают хронограф, и как только звезда вступит в точку встречи, трубу оставляют неподвижной, звезду сопровождают подвижной нитью микрометра на протяжении трех оборотов винта; затем отсчитывают по уровню и по горизонтальному кругу. Далее устанавливают трубу по эфемериде для наблюдений той же звезды при другом круге, переключают цепи хронометра и микрометра в хронографе. Второй раз наблюдают звезду в той же последовательности, что и первый.

Затем наблюдают дважды вторую звезду пары так же, как и первую. Выполненные в этом объеме наблюдения пары звезд составляют одно измерение долготы (времени). Производят еще три измерения этой же пары. Наблюдения записывают в журнал (табл. 3.14).

3.5.3. Вычисление долготы

С ленты хронографа выписывают в журнал 10 моментов наблюдений звезды (по десяти контактам) из двух рабочих оборотов винта микрометра при каждом круге; по ним выводят средние моменты $T_Л$, $T_П$ и средний момент наблюдения T звезды. Здесь же определяют разности моментов $T_n - T_1$ десятого и первого контактов и вычисляют полуразности $(T_Л - T_П)/2$. Для контроля применяют формулы

$$(T_Л - T_П)/2 = \Delta T = T - T_Л = T_П - T. \qquad (3.21)$$

Выводят средние значения из отсчетов по уровню при каждом круге, по ним вычисляют наклон

$$b = (Л + П)_0 - x \text{ или } b = x - {}_0(Л + П),$$

Таблица 3.14

Измерение долготы по азимутальным наблюдениям пары звезд вблизи меридиана

Дата: 12/13 сентября 1979 г. Теодолит АУ 2/10
МШ = + 2,131″ Хронометр «Альтаир»
τ = 2,1″ Хронограф ХПМ-3, № 06
$z_N = 40°28'$ $z_S = 38°52'$ Радиоприемник «Астра»

Звезда 310N		Звезда 13S	
КП	КЛ	КП	КЛ
Уровень		Уровень	
25,9—5,8	5,4—25,5	25,0—4,9	5,2—25,3
25,8—5,8	5,2—25,3	25,3—5,2	5,2—25,3
25,85—5,80	5,30—25,40	25,15—5,05	5,20—25,30
31,65	30,70	30,20	30,50
$x = 31,18$		$x = 30,35$	
$b = +0,47$		$b = -0,15$	
Отсчет по кругу		Отсчет по кругу	
58°41′4,9″	239°13′1,7″	237°23′1,8″	58°46′1,4″
4,85″	1,45″	1,80″	1,40″
4,8	1,2	1,8	1,4
$M'_N = 238°57'3,15''$		$M'_S = 58°04'1,4''$	
$\Delta M_b = +0,49$		$\Delta M_b = -0,16$	
Хронометр		Хронометр	
$0^h20^m40,50^s$	$0^h24^m39,70^s$	$0^h28^m51,08^s$	$0^h32^m52,00^s$
44,08	43,71	52,57	53,54
47,65	47,42	54,18	55,12
51,86	51,54	55,59	56,69
55,43	55,37	57,13	58,35
59,25	58,85	58,80	59,93
21 3,15	25 2,42	29 0,56	33 1,27
7,15	6,41	1,88	2,55
10,80	10,58	3,36	4,18
14,55	14,30	4,78	5,92
0 20 57,442	0 24 57,003	0 28 57,993	0 32 58,955
$T_N = 0^h22^m57,222^s$		$T_S = 0^h30^m58,474^s$	
$(T_n - T_1)_П = 34,0$ $(T_n - T_1)_Л = 34,6^s$		$(T_n - T_1)_П = 13,7^s$ $(T_n - T_1)_Л = 13,9^s$	
$T_n - T_1 = 34,3^s$		$T_n - T_1 = 13,8$	
$\Delta T_N = 119,8^s$		$\Delta T_S = 120,5^s$	

где $x = [(Л + П)_0 + {}_0(Л + П)]/2.$

Из отсчетов по лимбу выводят направление на звезду

$$M' = [МЛ + (МП \pm 180°)]/2, \qquad (3.22)$$

которое исправляют поправкой за уровень

$$M = M' + \frac{\tau}{2} b \operatorname{ctg} Z, \qquad (3.23)$$

где τ — цена деления уровня.

По материалам приема радиосигналов времени выводят поправки в ход хронометра (см. 2.3) по приближенной долго-

те, которая для полевых вычислений должна быть известна с погрешностью, не превосходящей $0{,}1^s \sec\varphi$. Для этого необходимо предварительно найти долготу по нескольким парам. При окончательных вычислениях пользуются долготой, полученной из полевой обработки.

Вычисляют часовые углы звезд на средние моменты наблюдений

$$t = T + u - \alpha \tag{3.24}$$

и азимуты звезд

$$\operatorname{tg} a' = \frac{\sin t}{\sin\varphi\cos t - \cos\varphi\operatorname{tg}\delta}. \tag{3.25}$$

В азимуты вводят поправки:

1) за азимутальное ускорение в наблюдениях на двух оборотах винта

$$\Delta a_W = 0{,}454\frac{n+1}{n-1}\, w \left(\frac{T_n - T_1}{100}\right)^2, \tag{3.26}$$

где n — число моментов по контактам; $T_n - T_1$ — разность берётся из журнала наблюдений;

2) за азимутальное ускорение в наблюдения звезды полным приёмом

$$\Delta a'_W = 5{,}454 w \left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2, \tag{3.27}$$

где ΔT — выписывают из журнала наблюдений; w — азимутальное ускорение, определяемое по формуле

$$w = -K_1 \sin a - K_2 \sin 2a, \tag{3.28}$$

где $K_1 = \sin\varphi\cos\varphi\operatorname{ctg} Z$; $K_2 = \cos^2\varphi\,(\operatorname{cosec}^2 Z - 1)$.

Величина w используется для вычисления первой и второй поправок. В формуле для вычисления последней, если наблюдения выполнены с применением среднего хронометра, коэффициент имеет значение 5,484;

3) за суточную аберрацию

$$\Delta a_{аб} = -0{,}32'' \cos\varphi \cos a \operatorname{cosec} Z; \tag{3.29}$$

4) за мёртвый ход и ширину контактов микрометра

$$\Delta a_{МШ} = \pm \frac{1}{2}\,(МШ)\operatorname{cosec} Z, \tag{3.30}$$

где в правой части берётся знак +, если азимут звезды возрастает, знак —, если азимут убывает.

Азимут вычисляют по формуле

$$a = a' + \Delta a_W + \Delta a'_N + \Delta a_{аб} + \Delta a_{МШ}. \tag{3.31}$$

Вычисляют величину y_i по формуле

$$y_i = \frac{(M_S - M_N) - (a_S - a_N)}{\cos a_S \operatorname{ctg} Z_S - \cos a_N \operatorname{ctg} Z_N}. \tag{3.32}$$

Из четырех определений y_i по паре звезд находят среднее значение y_l (табл. 3.15) и придают ему вес $p = \cos^2 Z$. Максимальное уклонение $y_l - y_i$ не должно превышать 2″, при этом

Таблица 3.15

Вычисление y_i и y_j

Дата 12/13 сентября 1979 г. Измерение 2

Последовательность действий	Схема	Звезда 10N	Звезда 13S
1	Интерполяционный множитель	0,103	0,153
2	δ	69°54′12,24″	30°45′0,10″
4	T	$0^h22^m57,222^s$	$0^h30^m58,474^s$
7	u	+1 38,537	+1 39,854
3	α	12 32 32,112	0 38 15,550
8	t	11 52 3,647	23 54 22,778
5	Z	40°28′	38°52′
10	K_1	0,383	0,406
11	K_2	0,228	0,248
12	ω	+0,0013	+0,0303
9	a'	178°57′0,09″	358°4′29,22″
13	Δa_ω	0	0
14	$\Delta a'_\omega$	+0,01	+0,24
15	$\Delta a_{аб}$	+0,17	—0,18
16	$\Delta a_{мш}$	+1,64	+1,69
17	a	178 57 1,91	358 4 30,97
8	M	238 57 3,64	58 4 31,44
18	$M_S - M_N$	179 7 27,82	
19	$a_S - a_N$	179 7 29,06	
20	$(M_S - M_N) - (a_S - a_N)$	—1,24	Из четырех измерений по этой паре y_j
21	$\cos a_S \operatorname{ctg} Z_S - \cos a_N \operatorname{ctg} Z_N$	+2,412	y_1 +0,33″ y_2 —0,51 y_3 +2,08 y_4 +0,12 y_j +0,50 Δy_{nut} +0,02 y_j +0,52″
22	y_i	—0,51″	

если окажется отбракованным первое или четвертое измерение, тогда y_j получают только из второго и третьего измерений, если отбраковано второе или третье, — используют только первое и четвертое, и в каждом таком случае придают среднему значению из двух измерений вес $0{,}5\cos^2 Z$. Отбракованные измерения возмещаются дополнительными наблюдениями на тех же установках лимба.

В том случае, когда при окончательной обработке наблюдений величины y_i вычислялись с экваториальными координатами звезд, в которых не было учтено влияние короткопериодической нутации, в y_j вводят поправки Δy_{nut} (табл. 3.16), определяемые по формуле

$$\Delta y_{nut} = 15f' \cos\varphi + g' \sin\varphi \sin(G' + s_{ср}), \qquad (3.33)$$

где f', g', G' — короткопериодические редукционные величины;

$s_{ср}$ — средний момент наблюдения пары по местному звездному времени.

Из y_j составляют среднее весовое (табл. 3.17)

$$y = \frac{\Sigma p y_j}{\Sigma p}. \qquad (3.34)$$

Вычисляют поправку $\Delta\lambda$ в приближенную долготу λ_0

$$\Delta\lambda = \frac{1}{15} y \sec\varphi \qquad (3.35)$$

и затем находят долготу пункта

$$\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda. \qquad (3.36)$$

Пользуясь уклонениями $v = y - y_j$, производят оценку точности определения долготы

$$m_\lambda = \frac{1}{15}\sqrt{\frac{\Sigma pv^2}{n-1}}\sec\varphi,$$

$$M_\lambda = \frac{m_\lambda}{\sqrt{\Sigma p}}. \qquad (3.37)$$

Таблица 3.16

Вычисление поправки Δy_{nut} за влияние короткопериодической нутации

$\Delta y_{nut} = 15f' \cos\varphi + g' \sin(G' + s_{ср})$

Дата	30/31 августа 1979 г.
Пара	195—468
Интер. множитель	0,39
$s_{ср}$	$19{,}1^h$
G'	10,4
$G' + s_{ср}$	5,5
g'	0,093″
f'	−0,0137^s
Δy_{nut}	+0,01″

Таблица 3.17

Вычисление y и λ

Дата 1979 г.	Номера звезд	Число измерений	$z_{ср}$	y_j	p	v
30/31 августа	195—468	4	32,5	+0,56″	0,7	−0,29
2/3 сентября	195—468	4	32,5	+0,26	0,7	+0,01
То же	246—533	4	45,7	−0,23	0,5	+0,50
12/13 сентября	246—533	4	45,7	−0,12	0,5	+0,39
То же	271—564	4	31,1	+0,91	0,7	−0,64
»	310—13	4	39,7	+0,52	0,6	−0,25
13/14 сентября	341—55	4	33,7	+0,22	0,7	+0,05
То же	402—97	4	43,7	+0,46	0,5	−0,19
14/15 сентября	341—55	4	33,7	−0,30	0,7	+0,50
	$n = 9$	36		$\Sigma p = 5{,}6$	$\Sigma pv^2 = 0{,}8120$	

$$y = \frac{\Sigma p y_j}{\Sigma p} = \frac{+1{,}522''}{5{,}6} + 0{,}27''$$

$$\Delta\lambda = \frac{1}{15} y \sec\varphi = +0{,}052^s$$

$$\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda = 10^h27^m51{,}200^s + 0{,}052^s = 10^h27^m51{,}252^s$$

$$m_\lambda = \frac{1}{15}\sqrt{\frac{\Sigma pv^2}{n-1}}\sec\varphi = \pm 0{,}060^s$$

$$M_\lambda = \frac{m_\lambda}{\sqrt{\Sigma p}} = \pm 0{,}025^s$$

Оценка работы астронома по сходимости определений времени внутри вечера в этом способе не производится.

В долготу λ вводят поправки за приведение к центру пункта и за приведение к среднему полюсу (см. 8.1 и 8.4).

Полученная долгота исправляется лично-инструментальной разностью

$$\lambda_{ок} = \lambda' + ЛИР, \tag{3.38}$$

после чего производят оценку точности окончательного значения долготы (см. 3.1).

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ

4.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШИРОТЫ

Определение широты разрешается производить одним из следующих способов: Талькотта, Певцова (с применением фотоэлектрической регистрации, см. 7.3), по многократным зенитальным наблюдениям ярких пар вблизи меридиана и по азимутальным наблюдениям пар ярких звезд на одном альмукантарате (совместно с долготой).

Выбор способа определения широты должен производиться до наступающего сезона, при составлении проекта. Как правило, для данной астрономической партии, снабженной конкретным астрономическим теодолитом, выбирается один способ Но это условие не обязательно. Может быть предусмотрен случай, когда несколько месяцев (например, в период незаходящего Солнца) наблюдения ведут одним способом, а часть сезона — другим.

Способы определений по ярким парам звезд применяются только в высоких широтах ($|\varphi| > 60°$) при невозможности наблюдать в темное время суток.

Основным способом определения широты является способ Талькотта (на постоянных нитях или в произвольных малых часовых углах). Этот способ нельзя применять в высоких широтах в условиях незаходящего Солнца.

Из двух разновидностей предпочтение следует отдать способу наблюдений на постоянных нитях. Способом в произвольных малых часовых углах рекомендуется наблюдать в том случае, если теодолит не имеет постоянных вертикальных нитей.

Одним из главных недостатков способа Талькотта является необходимость наблюдать звезды до 6 величины включительно. Этого недостатка не имеет не уступающий ему по точности способ Певцова, но он более сложен по своему применению, требует более сложной обработки, хуже обеспечен эфемеридами (см. 7.3). Пары Певцова составлены из более ярких, чем в способе Талькотта, звезд (не слабее 4,5—5,0 величины).

Для астрономического теодолита с фотоэлектрическим микрометром способ Певцова является единственным способом для определения широты пункта.

Для работы в полярных зонах в условиях сумерек и незаходящего Солнца выбирается один из двух способов определения широты по ярким парам звезд.

Для определения широты по способу Талькотта или Певцова необходимо наблюдать не менее 10 пар звезд. Необходимое число пар в других способах указано при описании соответствующего способа. Число вечеров для широтных определений

не лимитируется. Все необходимые пары можно отнаблюдать за один вечер. Запись наблюдений производится в журналах. Один журнал рассчитан на запись наблюдений 2—3 пунктов. Журналы могут быть унифицированными (едиными для всех видов широтных определений) или специализированными для каждого способа определений широты. Образцы записи для специализированных журналов даны при описании способов.

4.2 ПОДГОТОВКА К НАБЛЮДЕНИЯМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ШИРОТЫ ПО СПОСОБУ ТАЛЬКОТТА

Подготовка для любой из разновидностей способа — на постоянных нитях или в произвольных малых часовых углах — заключается в выполнении необходимых исследований — поверок и в составлении рабочих эфемерид.

4.2.1. Исследование и поверки теодолита

Предполагается, что уже проведены осмотр и общая проверка пригодности астрономического теодолита к наблюдениям звезд (11.1).

Необходимо:

исследовать оптические качества главной трубы (11.2);

проверить правильность работы окулярного микрометра и определить погрешности его винтов (11.3);

исследовать правильность вращения алидады (11.6);

определить цену деления и исследовать качество уровня Талькотта (11.21);

приближенно определить цену деления оборота винта окулярного микрометра (11.11);

определить расстояние между постоянными вертикальными нитями (11.16), если предполагается наблюдать на постоянных нитях;

проверить перпендикулярность оси талькоттовского уровня к оси вращения трубы (11.2).

Место зенита вертикального круга не должно превышать $\pm 1'$.

Наклон подвижной горизонтальной нити (или горизонтального биссектора) не должен превышать $\pm 5'$. Особенно важно, чтобы нить была горизонтальной при наблюдении широты в произвольных малых часовых углах. Только при соблюдении хорошей симметрии отдельных наблюдений относительно центральной средней нити $|T_{ср\,н} - T_{ср}| \leqslant 2^s$ наклон нити не учитывается. Поэтому для наблюдений в произвольных часовых углах необходимо определять дважды наклон нити по мире (см. 4.4.1).

Коллимация центральной вертикальной нити не должна превышать $30''$. Это требование распространяется на обе разновидности способа. Также одинаковы и требования к ориен-

тированию теодолита. Установка вертикальной нити в меридиане должна производиться с погрешностью, не превышающей $\pm 2'$. Рекомендуется для ориентирования использовать миру, азимут которой определен с погрешностью $\pm 0{,}5'$. Ориентирование теодолита контролируется в конце вечера и после каждой юстировки.

По мире определяется коллимационная ошибка средней вертикальной нити при двух положениях круга

$$C = \frac{МЛ - МП \pm 180^\circ}{2}.$$

Для ориентирования теодолита необходимо навести среднюю вертикальную нить на миру и, поворачивая горизонтальный лимб, добиться, чтобы отсчет по лимбу был равен

$$a + C \quad \text{для} \quad КЛ$$

или

$$a - C \quad \text{для} \quad КП.$$

После этого бесколлимационная плоскость будет совпадать с меридианом при установках на отсчеты $0°0'0''$ и $180°0'0''$ с погрешностью, равной погрешности азимута миры.

Пример.

Азимут миры $a = 14°23'0''$

Отсчет на миру $МЛ = 22°42'20''$

$МП = 202\ 43{,}00$

$C = \quad -20''$

При наведении на миру при КЛ переставляют лимб так, чтобы получить отсчет $a + C = 14°23'0'' + (-20'') = 14°22'40''$.

Ориентирование выполняется после предварительного горизонтирования теодолита. Окончательное горизонтирование производится как можно ближе по времени к началу наблюдений. Для горизонтирования используется скрепленный с трубой талькоттовский уровень, элевационный винт которого служит в процессе горизонтирования исправительным винтом. Особое внимание обращается на то, чтобы разность отсчетов по уровню при повороте на 180° в плоскости меридиана — рабочей плоскости для способа Талькотта была минимальной. По окончании горизонтирования, когда убеждаются, что отсчеты по уровню колеблются при поворотах на 180° в пределах менее двух делений, винт уровня Талькотта открепляется и снова служит элевационным.

В процессе всего цикла наблюдений широты на пункте важно, чтобы фокусировка зрительной трубы была неизменной. От стабильности фокусировки зависит постоянство цены оборота винта микрометра.

Для способа Талькотта к качеству фокусирования и к качеству оптики предъявляются повышенные требования. При наблюдении в произвольных малых часовых углах определенные требования предъявляют и к рабочему хронометру, который

должен обеспечить получение поправки с погрешностью $\pm 0{,}1^s$. Поэтому хронометр необходимо исследовать (11.23). Средняя квадратическая погрешность часового хода не должна превышать $0{,}035^s$.

Наблюдения на постоянных нитях следует рекомендовать в первую очередь.

При наблюдении на постоянных нитях не нужен отсчет времени, и все внимание астронома будет обращено на точность наведения на звезду. Более простой будет также и методика обработки, не нужно учитывать наклон нити, в эфемеридах — вычислять скорость движения звезд по азимуту, принимать радиосигналы, вычислять поправку хронометра.

Недостатком является то, что невозможно наблюдать пары Талькотта между парами Цингера, как это практикуется при применении контактного микрометра. Такое чередование нежелательно, хотя и дает выигрыш во времени. Современные окулярные микрометры (Вильд Т4, ДКМ3-А) позволяют проводить как наблюдения пар Цингера, так и пар Талькотта на постоянных нитях.

При наблюдении на постоянных нитях звезд с большими (по абсолютной величине) склонениями на широту оказывает влияние ряд инструментальных погрешностей. Поэтому не следует при составлении эфемерид использовать звезды с $|\delta| \geqslant 80°$ или же в этом случае наблюдать в произвольных малых часовых углах.

4.2.2. Определение широты пункта теодолитами АУ 2/10, Вильд Т4, ДКМ3-А

При определении широты программа должна включать не менее 10 пар звезд. Число вечеров не лимитируется. Рекомендуется всю программу выполнить за один вечер. При надлежащем качестве и опытности астронома наблюдение 10 пар обеспечит получение средней квадратической погрешности широты пункта по внутренней сходимости $M < \pm 0{,}30''$.

Как правило, астроном наблюдает 12—13 пар с тем, чтобы иметь замену на случай ошибочных пар.

Пары Талькотта должны удовлетворять следующим условиям:

зенитное расстояние пары не должно превышать 50°;

разность зенитных расстояний звезд, составляющих пару, не должна превышать 16′;

разность моментов прохождения звезд пары через меридиан должна лежать в пределах $3—15^m$;

блеск звезды не должен быть слабее 6,1;

общая сумма разностей зенитных расстояний южных и северных звезд в отнаблюденных парах на пункте не должна превышать 30′.

При составлении эфемерид пары подготавливают на все ночное время, предполагаемое для наблюдений, что составляет 20—30 пар. В процессе наблюдений в зависимости от условий види-

мости, в соответствии с подсчетом суммы $\Sigma(z_S - z_N)$ и по другим причинам выбирают для наблюдения те или иные пары

Подбор пар звезд и составление эфемерид астроном может сделать самостоятельно, используя любой точный каталог звезд, учитывая требования к парам, установленные выше. Но, конечно, гораздо целесообразнее использовать готовые рабочие эфемериды.

Для территории Советского Союза такими являются «Рабочие эфемериды способа Талькотта для широт от +35 до +65°» [20] (будем их называть пулковскими) и эфемериды, составленные А. В. Теологовым [22]. Пулковские эфемериды рассчитаны на второе издание каталога — КГЗ-2 [10].

В настоящее время в Пулково подготовлен новый каталог геодезических звезд КГЗ-3 на эпоху 1990,0. В него входят 4949 звезд со склонениями от +90 до —90°, величиной до 6.09. В нем 2402 звезды, содержащиеся в каталогах КГЗ и КГЗ-2, охватывающие диапазон склонений от +90 до —10°. Нумерация звезд в КГЗ-3 новая. Для нахождения звезд служит специальный список, в который входят все 4949 звезд КГЗ-3. 555 звезд каталога КГЗ-2 слабее 6,1 звездной величины в новом каталоге отсутствуют.

По образцу пулковских рабочих эфемерид [20] составлены на базе КГЗ-3 рабочие эфемериды способа Талькотта для широт от —90 до +35° на эпоху 1990 г. Описание дано в работе [14]. Такие же эфемериды в форме табуляграмм составлены для широт от +34 до +85° для эпохи 1990,0. Таким образом, новые рабочие эфемериды обеспечивают возможность определений в широтах от —90 до +85°.

В рабочих эфемеридах даны основные установочные величины, позволяющие наблюдать пару. Но значительно удобнее составить предварительно рабочий список пар Талькотта для пункта с тем, чтобы астроном мог производить выбор лучших пар, не отвлекаясь на вспомогательные подсчеты.

Аналогично, в соответствии с описанием, помещенным в эфемеридах А. В. Теологова, составляется список пар при работе в северных широтах (65—78°).

В описании пулковских эфемерид [20] приведен метод составления рабочего списка пар. В табл. 4.1. дан образец рабочей эфемериды из книги для четырех пар, в табл. 4.2 — фрагмент рабочего списка для пункта с широтой 55°57′, составленный по этим эфемеридам для тех же пар для 1984 г. В последней графе списка приведена угловая скорость движения звезды (в секундах дуги за 10^s времени) — величина, необходимая для соблюдения симметрии при наблюдении в произвольных малых часовых углах.

В графах T_1 и T_2 приведены моменты кульминации для 1980 г. В записи минут десятичная запятая не ставится: 094^m означает $09{,}4^m$. В графах ΔT_1 и ΔT_2 приведены десятилетние изменения

Таблица 4.1

Пулковские эфемериды [11 (стр. 237)] $\varphi = 55°$

Порядок наблюдений	T_1	ΔT_1	T_2	ΔT_2	Z	φ_0	Номер звезды по КГЗ		Звездная величина m	
							S	N	S	N
N	22^h094^m	$+2^m$	22^h130^m	$+4^m$	16°19′	55°56′	2741	2732	46	50
N	22 287	+12	22 398	+5	41 27	55 54	2799	1352	58	53
N	22 489	+4	22 489	+4	00 00	55 48	2813	2813	56	56
					(стр. 244) $\varphi = 56°$					
S	22 011	+4	22 108	+3	03 16	56 03	2707	2736	57	52

Таблица 4.2

Рабочий список

Номер пары	Номер звезды по КГЗ	Величина m	T	Z	ΔZ	δ	v_a за 10^s	Примечание
1	2732N	5,0	$22^h09{,}5^m$	16°19′	0′	72°13′	46″	
	2741S	4,6	13,2			39 35	116	
2	1352N	5,3	22 29,2	41 27	+4	82 41	19	
	2799S	5,8	40,0			14 25	145	
3	2813N	5,6	22 49,1	0 0	+16	55 46	84	Южная
	2813S	5,6	49,1					
4	2707S	5,7	22 01,3	3 16	−14	52 46	91	
	2736N	5,2	10,9			59 17	77	

моментов T_1 и T_2 (в десятых долях минуты). Стоящее в эфемеридах +2 означает $+0{,}2^m$. Зенитное расстояние пары Z со временем практически не изменяется. Для зенитной звезды оно равно 0°0′.

В графе φ_0 указана широта, для которой разность зенитных расстояний звезд в данной паре равна нулю. В эфемеридах φ_0 дано для эпохи 1980.0. Для другого года необходимо ввести поправку $\Delta\varphi_0$, которая находится по формуле

$$\Delta\varphi_0 = 0{,}33' \cos\alpha_S\,(t - 1980),$$

где t — год наблюдений. Например, для 1988 г. для пары

с $\alpha_S = T_2 = 22^h13^m$; $\cos 22^h13^m = +0{,}8930$; $\Delta\varphi_0 = +2{,}4' \approx +2'$.

Эту величину можно найти табл 3 (Пулковские эфемериды стр. 6). В следующих графах приведены номера звезд по Каталогу геодезических звезд (КГЗ и КГЗ-2) и их блеск (в Каталоге — яркость). В номерах южных звезд перед значащими цифрами могут быть поставлены один, два или три нуля. Так, например, звезда № 84 печатается 0084. На эти нули обращать

внимание не следует. Блеск дан двумя цифрами, между которыми подразумевается десятичная запятая. 46 означает 4,6.

В пулковских эфемеридах пары расположены по градусным интервалам (зонам). При составлении рабочего списка, как правило, необходимо пользоваться одним градусным интервалом. Только на краях интервалов следует использовать две градусные зоны. В 75 % случаев используется одна зона, в 25 % — две.

При составлении рабочего списка надо определить пределы эфемеридных значений φ_0' и φ_0'', между которыми лежат пары, возможные для наблюдений в данном году в заданном интервале звездного времени на широте φ. Эти пределы находят по формулам

$$\varphi_0' = \varphi - \frac{\Delta Z_{\text{пр}}}{2} - \Delta\varphi_0;$$

$$\varphi_0'' = \varphi + \frac{\Delta Z_{\text{пр}}}{2} - \Delta\varphi_0,$$

где $\Delta Z_{\text{пр}}$ — предельно допускаемая разность зенитных расстояний звезд пары. Для наших определений $\Delta Z_{\text{пр}} = 16'$. Например, для интервала звездного времени 21—23^h, $\varphi = 55°57'$ в 1984 г. $\Delta\varphi_0 = +1'$ эти пределы будут

$$\varphi_0' = 55°\,57' - 8' - 1' = 55°48';$$
$$\varphi_0'' = 55\ \ 57 + 8 - 1 = 56\ 04.$$

На основе десятилетних изменений редуцируются на год наблюдений моменты кульминации. Для этого используют формулу

$$T_{1,t} = T_1 + \frac{t - 1980}{10}\Delta T_1.$$

Например, для второй пары из табл. 4.1 для 1984 г.

$$T_1 = 22^h28{,}7^m + \frac{1984 - 1980}{10}(+1{,}2) = 22^h29{,}2^m;$$
$$T_2 = 22^h40{,}0^m.$$

Разность зенитных расстояний звезд в паре находится по формуле

$$\Delta Z = Z_S - Z_N = 2(\varphi - \varphi_0 - \Delta\varphi_0).$$

Например, для второй пары из табл. 4.1

$$\Delta Z = 2(55°57' - 55°54' - 1') = +4'.$$

На основе этих эфемерид непосредственно на пункте составляется рабочий список пар. Выписка из списка приведена в табл. 4.2. В список включены:

Из раздела «55°» пулковских эфемерид пара, в которой обе звезды наблюдаются в верхней кульминации (№ 1);

пара, в которой северная звезда наблюдается в нижней кульминации (№ 2);

пара, образуемая двумя наблюдениями зенитной звезды (№ 3) и из раздела «56°» пара, где обе звезды наблюдаются в верхней кульминации (№ 4).

Номера пар в рабочем списке условны и в журнале не указываются.

В данном вечере астроному следует выбрать между парами 1 и 4, так как одновременно они наблюдаться не могут. Критерием для выбора может служить ΔZ, блеск звезд и другие показатели.

Для вычисления v_a необходимо приближенно знать склонения звезд, их находят из КГЗ (достаточно взять среднее склонение на эпоху каталога). v_a вычисляется по формуле

$$v_a = 150 \cos \delta$$

и имеет размерность секунды дуги за десять секунд времени.

От работы по составлению рабочего списка пар Талькотта астроном может быть освобожден, если будет использована программа эфемерид пар Талькотта, созданная в 1979 г. в ГАО АН СССР. По этой программе заранее на заданный период времени (1—1,5 месяца) для данного астропункта вычисляют исходные данные на все доступные для наблюдений пары Талькотта (с заданными допусками по ΔS, ΔZ), образованные по КГЗ-3. В эфемеридах даются с необходимой точностью установочные величины при наблюдениях широты и видимые склонения на момент кульминации середины пары. Наличие видимых склонений в несколько раз уменьшает время вычислений как полевых, так и камеральных, сделанных без ЭВМ. В программе не предусмотрено получение прямых восхождений, поэтому без изменений она может быть применена только для наблюдений на постоянных нитях. При пользовании такими эфемеридами отпадает необходимость в Каталоге геодезических звезд, а также в рабочих эфемеридах способа Талькотта и Астрономическом ежегоднике. Программа рассчитана на машину ЕС 1030.

Фрагмент табуляграммы для пункта с широтой 39°06′20″ и долготой $3^h3^m35^s$ для периода 1 сентября — 10 октября 1979 г. приведен в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Эфемериды пар Талькотта

Порядок наблюдения звезды (зенитные звезды индекс Z)	N S	N S	Z Z
Номера звезд по КГЗ-3	1128 1174	1155 1181	1180 1180
Яркости звезд	6,0 5,2	5,7 4,9	4,6 4,6
Зенитное расстояние пары	25°7′	26°31′	0°0′
Разность зенитных расстояний	+5,5′	—3,5′	—4,0′
Моменты кульминации	$5^h35,3^m$	$5^h40,4^m$	$5^h47,8^m$
	5 46,6	5 48,4	5 47,8
Видимые склонения центра пары	39°	39°	39°
на 1 сентября 1979 г.	0′52,39″	9′48,62″	10′18,27″
» 2 » 1979 г.	0 52,41	9 48,65	10 18,28
» 3 » 1979 г.	0 52,46	9 48,69	10 18,30
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
10 октября 1979 г.	0 53,31	9 49,38	10 18,84

4.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ ПО СПОСОБУ ТАЛЬКОТТА НА ПОСТОЯННЫХ НИТЯХ

4.3.1. Методика наблюдений

В этом способе хронометр нужен только для отыскания звезд по эфемеридам. Поэтому удобно, чтобы поправка хронометра относительно местного звездного времени не превышала $\pm 0{,}5^{m}$. Для наблюдений можно использовать и наручные часы с центральной секундной стрелкой или электронные. Часы устанавливают по местному звездному времени непосредственно перед наблюдениями. Так как ход часов отрегулирован по среднему времени, а показание устанавливается по звездному времени, то наиболее выгодно поставить часы так, чтобы в середине вечера поправка часов была минимальна. Для этого в начале вечера следует поправку часов сделать отрицательной, приблизительно равной $-30 \div -40^{s}$.

Напомним, что по любому сигналу точного времени (например по шестой точке сигналов поверки времени) поправка часов вычисляется относительно местного звездного времени по формуле

$$u = S_0 + (D_M - 3) + (D_M - 3)\,\mu + \lambda - X, \qquad (4.1)$$

где D_M — московское время принятого сигнала; X — показание часов в момент поданного сигнала; λ — долгота пункта.

В связи с введением с 1981 г. постановлением правительства так называемого летнего времени, т. е. перевода ежегодно летом часовой стрелки вперед на один час, в период с 1 апреля по 30 сентября в формуле в скобках следует вместо 3^{h} поставить 4^{h}.

За несколько минут до эфемеридного момента устанавливают трубу на зенитное расстояние пары, скрепляют раму талькоттовского уровня с трубой и, пользуясь отсчетным приспособлением горизонтального круга, устанавливают алидаду в зависимости от порядка наблюдения звезд в паре точно в северную или южную часть меридиана, закрепляют закрепительный винт алидады, после чего элевационным винтом уровня устанавливают пузырек близ середины ампулы, предварительно откинув ограничительную вилку (для АУ 2/10).

При появлении звезды в поле зрения подвижная горизонтальная нить (для теодолита ДКМ3-А одна из нитей горизонтального биссектора) приблизительно совмещается со звездой для того, чтобы можно было отсчитать и записать число целых оборотов микрометра. Следует обращать внимание на блеск появившейся звезды и сравнивать его с записанной в эфемеридах, а также на время по часам.

Каждая звезда наблюдается на пяти постоянных, заранее выбранных вертикальных нитях. Нити выбирают симметрично расположенные относительно центральной вертикальной с таким расчетом, чтобы можно было выполнить наблюдения без спешки.

Для этого при наблюдении южных звезд некоторые нити обычно пропускают и наблюдения проводятся через одну нить. Астроном должен для себя решить, на каких вертикальных нитях он намерен наблюдать, и записать номера этих нитей в журнал. Звезды на малых зенитных расстояниях ($< 5°$) как северные, так и южные можно наблюдать на одних и тех же нитях, так как скорость их практически одинакова.

Когда изображение звезды приблизится к сетке нитей, отсчитывают по талькоттовскому уровню. Жидкостный уровень отсчитывают сначала по его левому концу, а затем по правому. Наблюдение звезды заключается в наведении подвижной нити (или нити горизонтального биссектора) на звезду в момент пересечения ею вертикальной нити (или в непосредственной близости от нее). Наведение осуществляют ввинчиванием винта окулярного микрометра без спешки, но и не затягивая. После каждого наведения отсчитывают по шкале микрометра до 0,1 доли деления и делают запись в журнале. После пятого наведения вновь отсчитывают число оборотов винта микрометра и делают второй отсчет по уровню. Смещение пузырька уровня между первым и вторым отсчетами не должно превышать $0{,}4^{\partial}$.

После наблюдения первой звезды пары осторожно, предварительно опустив закрепительный винт алидады горизонтального круга, поворачивают верхнюю часть теодолита на 180°0′. При этом нельзя прикасаться к трубе и элевационному винту талькоттовского уровня.

Вторая звезда пары наблюдается точно так же, только вертикальные нити, вблизи которых выполняются наведения, могут быть другими.

Звезду, кульминирующую на данном пункте близ зенита, наблюдают дважды, при двух положениях круга. Такие наблюдения одной звезды позволяют вычислить широту и, таким образом, они заменяют наблюдение пары звезд. В качестве зенитных служат звезды, склонения которых отличаются от широты пункта меньше чем на 8′.

В широтах южнее 55° не разрешается наблюдать зенитные звезды, так как они уступают по точности наблюдениям пары звезд.

При наблюдении зенитной звезды труба устанавливается в зенит ($Z=0°0'$), звезда наблюдается на трех боковых нитях.

При этом фиксируются в журнале положение окуляра теодолита (окуляра W или окуляр E) и номера нитей (в соответствии с принятым направлением счета нитей, например от зубчатки для АУ 2/10). После трех наведений при одном положении окуляра алидаду быстро поворачивают на 180°0′ и повторяют наблюдения на тех же самых трех боковых нитях. Делается новая запись о положении окуляра. Как правило, после поворота теодолита остается очень мало времени для успокоения пузырька и поэтому для второй половины наблюдений отсчет уровня делается только в конце наблюдений.

Запись наблюдений пар производится в журнал установленной формы (табл. 4.4).

Таблица 4.4

Журнал наблюдений

Пара № 14

Дата *20/21 июля 1978 г.* АУ 2/10 $Z = 20°33' \frac{1}{2}\Delta Z = +5'$

T_1 18^h14^m КП T_2 18^h21^m

Номер нити	Наведения	Звезда N № 2189, величина 5,0, микрометр	Отсчет уровня	Номер нити	Звезда S № 2202, величина 5, 7, микрометр	Отсчет уровня
7	1	5,673	8,5—22,3	1	12,101	9,0—22,7
6	2	675		3	100	
5	3	677		5	093	
4	4	680		7	100	
3	5	5,672	8,7—22,4	9	12,103	8,8—22,5
	Среднее	5,6754	$(Л + П)_{ср} = 30,95$		12,0994	$(Л + П)_{ср} = 31,50$

$$i_S - i_N = -0,55$$

$$m_S - m_N = +6,4240$$

Нумерация пар Талькотта в журнале не соответствует рабочему списку пар и устанавливается астрономом после выполнения полевых вычислений на пункте. Номера звезд, если не оговорено, даны по КГЗ-2.

Для зенитной звезды запись аналогичная. Отличие состоит в том, что при каждом положении теодолита выполняют только по три наведения (табл. 4.5).

Зенитная звезда может наблюдаться в двух вариантах — сначала при положении теодолита *OkW*, а затем после поворота на 180° при *OkE* или, наоборот, *OkE—OkW*. Положение круга теодолита при таких наблюдениях (КЛ или КП) является величиной неопределенной. Поэтому для восстановления порядка наблюдений в журнале указывается положение окуляра (*W* или *E*), хотя это и не обязательно. Момент T_1 принимается равным T_2 и выписывается в журнал из рабочего списка пар. Кроме того, зенитной звезде в одном из положений теодолита приписывают индекс «N», а в другом «S». Руководствуются при этом следующим правилом. По приближенному значению широты и склонению зенитной звезды устанавливают, с какой стороны от зенита звезда кульминирует в меридиане. Если $\delta > \varphi$, то звезда кульминирует к северу от зенита и фактически является с е в е р н о й, а если $\delta < \varphi$, то ю ж н о й. Об этом делается пометка в рабочем списке пар. При наблюдении ю ж н о й зенитной звезды для того наблюдения, при котором отсчет микрометра больше другого, дают индекс «S», а для наблюдения с меньшим

Таблица 4.5

Журнал наблюдений зенитной звезды

Пара № 8 (зенитная)

Дата *5/6 февраля 1977 г.* $Z = 0°0'$ $\Delta Z = Z_S - Z_N = +5'$

T_1 14^h5^m Ок. *W* T_2 14^h5^m Ок. *E*

Наведения	Звезда № 1702, величина 3, 6, микрометр	Отсчет уровня	Звезда № 1702, величина 3, 6, микрометр	Отсчет уровня	
1	7,810	20,3—31,0	13,022	—	$i_S - i_N = -3,75$
2	814		014		$m_S - m_N =$
3	808	20,4—31,0	020	22,2—32,9	$= +5,2080$
4					
5					
Среднее	7,8107		13,0187		
Индекс	«N»		«S»		
	$(Л + П)_{ср}$ 51,35		$(Л + П)_{ср}$ 55,10		

отсчетом «N». При наблюдении северной зенитной звезды — бóльший отсчет микрометра «N», меньший «S». Эти индексы присваивают звезде вне зависимости от типа теодолита, положения круга, направления счета оборотов винта микрометра и порядка наблюдения зенитной звезды.

Звезда фактически южная ($\delta = 64°29'$; $\varphi = 64°34'$; $\delta < \varphi$), поэтому наблюдениям при *OkW* (меньший отсчет микрометра) приписывается индекс «N», а при *OkE*(больший отсчет) — «S»

$$i_S - i_N = (Л + П)^N_{ср} - (Л + П)^S_{ср} = 51,35 - 55,10 = -3,75.$$

Вид формулы для зенитной звезды установлен в соответствии с правилом, приведенным ниже.

4.3.2. Вычисление широты

Приведем формулы для вычисления широты по способу Талькотта на постоянных нитях по паре звезд с точностью, необходимой при окончательной обработке,

$$\varphi = \frac{1}{2}(\delta_S + \delta_N) \pm \left[(m_S - m_N)\frac{R}{2} + \Delta\varphi_р\right] + (i_S - i_N)\frac{\tau}{4} + \Delta\varphi_к. \quad (4.2)$$

В этой формуле δ_S и δ_N — видимые склонения южной и северной звезд соответственно. Если северная звезда наблюдалась в нижней кульминации (северное полушарие), то вместо склонения δ_N берется $(180° - \delta^{нк}_N)$. При работе в южном полушарии, если южная звезда наблюдалась в нижней кульминации, то в

формуле (4.1) вместо δ_S берется величина $(-180^\circ - \delta_S^{нк})$. Для зенитной звезды первым слагаемым является величина δ.

m_S и m_N — средние из отсчетов окулярного микрометра, выраженные в оборотах и долях оборота винта. Для теодолита ДКМ3-А, у которого в одном обороте винта микрометра 120 делений, в журнале отсчеты записывают смешанным числом ($m_S = 5^{об}105{,}2^{дел}$), с последующей записью при образовании среднего в оборотах и его долях: $m_S = 5{,}8767^{об}$.

R — цена оборота винта микрометра (в секундах дуги), $\Delta\varphi_р$ — поправка за рефракцию, i_S и i_N — разность наклонностей трубы при наблюдениях звезд в полуделениях уровня, τ'' — цена деления уровня (в секундах дуги), $\Delta\varphi_к$ — поправка за ускорение и коллимацию.

Перед квадратными скобками в формуле берется знак «плюс», если при данном положении круга теодолита отсчеты по шкале микрометра возрастают с увеличением зенитного расстояния объекта наблюдений, и знак «минус», если убывают. При переводе трубы через зенит, т. е. при другом положении круга, знак меняется на обратный. Для зенитной звезды всегда берется знак «плюс».

Для данного экземпляра теодолита правило знаков не изменяется и должно быть записано на стр. 5 журнала наблюдений.

При работе с цилиндрическими жидкостными уровнями разность наклонностей $(i_S - i_N)$ вычисляют по следующим формулам.

1. При нуле уровня (или младшем отсчете), находящемся со стороны объектива («вблизи»),

$$i_S - i_N = (Л + П)_S - (Л + П)_N.$$

2. При нуле уровня вдали от объектива

$$i_S - i_N = (Л + П)_N - (Л + П)_S,$$

где $(Л + П)_S$ и $(Л + П)_N$ есть средние значения сумм отсчетов по концам пузырька уровня соответственно на южную и северную звезду в паре.

При определенном положении круга данного теодолита (КЛ или КП) нуль уровня находится по отношению к объективу всегда с одной стороны («вдали» или «вблизи» от него). Поэтому в журнале наблюдений должна быть сделана соответствующая запись. Например, «нуль уровня «вдали» от объектива при КЛ». И в дальнейшем выбирается из двух формул одна по информации о круге наблюдений. Никаких дополнительных сведений о направлении возрастания отсчетов микрометра для вычисления поправок за уровень не требуется. Формулы пригодны для всех типов теодолитов.

Для зенитной звезды разность наклонностей определяется по следующему правилу:

$i_S - i_N = (Л + П)_N - (Л + П)_S$ — при нуле уровня или младшем отсчете слева;

$i_S - i_N = (Л + П)_S - (Л + П)_N$ — при нуле с п р а в а вне зависимости от положения нуля шкалы относительно объектива.

Так как по уровню отсчитывают и записывают вначале отсчет по левому концу пузырька, то положение нуля уровня всегда известно.

Поправка за рефракцию $\Delta\varphi_\rho$ вычисляется по формуле

$$\Delta\varphi_\rho = 0{,}0175'' \, \Delta Z \sec^2 Z_0, \qquad (4.3)$$

где Z_0 — среднее зенитное расстояние пары (из рабочего списка пар или эфемерид); $\Delta Z = (m_S - m_N)\frac{R}{2}$ — полуразность зенитных расстояний звезд в паре, выраженная в минутах дуги (до 0,1′).

Для полевых вычислений ΔZ может быть взято из рабочего списка пар.

Величина $\Delta\varphi_\rho$, естественно, будет иметь знак ΔZ.

Максимальное значение $\Delta\varphi_\rho = |0{,}68''|$.

Суммарная поправка $\Delta\varphi_к$ за вычисление со средним значением (поправка за ускорение движения звезды) и мгновенную коллимацию, ранее называвшаяся поправкой за кривизну параллели, вычисляется по формуле

$$\Delta\varphi_к = \frac{1}{4n\rho''} \left(\Sigma f_S^2 \operatorname{tg}\delta_S + \Sigma f_N^2 \operatorname{tg}\delta_N\right), \qquad (4.4)$$

где n — число наведений на каждую звезду (обычно $n = 5$); f_S и f_N — расстояния в секундах дуги от средней вертикальной нити до боковой, на которой выполнялось наведение (см. 11.16); δ_S и δ_N — склонения звезд. При наблюдении северной звезды в нижней кульминации вместо δ_N ставится $(180° - \delta_N^{нк})$.

При наблюдении зенитной звезды поправка $\Delta\varphi_к$ вычисляется по формуле

$$\Delta\varphi_к = \frac{\Sigma f^2}{2n\rho''} \operatorname{tg}\delta, \qquad (4.4, а)$$

где n — число наведений при каждом положении круга.

При $n = 3$ для зенитной звезды $\Delta\varphi_к = 0{,}000\,000\,808\,\Sigma f^2 \operatorname{tg}\delta$.

Для пары звезд при $n = 5$ $\Delta\varphi_к = 0{,}000\,000\,242\,(\Sigma f_S^2 \operatorname{tg}\delta_S + \Sigma f_N^2 \operatorname{tg}\delta_N)$.

Если на протяжении полевого сезона все южные звезды наблюдают на одних и тех же пяти постоянных нитях, а северные на других пяти нитях, то формула поправки упрощается и записывается в начале журнала наблюдений в виде

$$\Delta\varphi_к = F_S \operatorname{tg}\delta_S + F_N \operatorname{tg}\delta_N, \qquad (4.4, б)$$

где $F_S = 0{,}000\,000\,242\,\Sigma f_S^2$,

$F_N = 0{,}000\,000\,242\,\Sigma f_N^2$.

Поправка $\Delta\varphi_к$ редко превышает 0,1″ и может быть опущена при полевых вычислениях.

Входящую в основную формулу полсумму видимых склонений звезд вычисляют с помощью Астрономического ежегодника СССР (АЕ) и «Каталога геодезических звезд (КГЗ-2)» следующим образом.

1. Вычисляют средние положения звезд (склонения до 0,01″, прямые восхождения до $0{,}1^{m}$) на ближайшее начало года t. Таким ближайшим началом года для наблюдений, выполненных, например, в августе 1979 г. будет 1980, 0.

Вычисления выполняют по формулам:

$$\delta_t = \delta_{1975,0} + I_\delta T + II_\delta T^2 + III_\delta T^3 + R'_{FK4} + (10\Delta R'_{FK4}) \cdot 10T';$$

$$\alpha_t = \alpha_{1975,0} + I_\alpha T,$$

где $T = (t - 1975{,}0)/100$ выражено в тропических столетиях, величины I_δ, II_δ, III_δ, I_α выбираются из КГЗ-2 (раздел I) по номеру звезды, величина T' вычисляется по формуле

$$T' = \frac{\text{эпоха наблюдений} - \text{эпоха каталога}}{100}$$

(эпоха наблюдений в долях года, каталог составлен на эпоху 1975,0).

При пользовании каталогом [10] следует обратить внимание на опечатки на правых страницах раздела I. На страницах 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 61, 63, 65, 67, 69, 73, 75, 77, 79, 81, 83, 85 и 87 в столбце II_δ десятичная точка и знак секунды (″) поставлены на один разряд левее, чем надо. Величина II_δ дана до 0,01″. Поэтому десятичная точка должна находиться на два разряда левее последней цифры.

Например, на стр. 81, звезда 2476 напечатано $II_\delta = +1.782''$ надо $II_\delta = +17.82''$.

Кроме того, на стр. 22 в столбце R_{FK4} вместо -0.05^{s} должно стоять -0.005^{s}.

На стр. 107 в столбце d' вместо $+4.492$, надо $+.4492$.

Переход от средних склонений к видимым удобнее выполнять сразу для обеих звезд пары, получая среднее значение.

Если обе звезды наблюдались в верхней кульминации, то для этого используется точная формула

$$(\delta_S + \delta_N)/2 = \delta_{ср} + (A + A')\, a'_{ср} + (B + B')\, b'_{ср} + C c'_{ср} + D d'_{ср} + \mu''_{ср}\tau + \frac{1}{2} I_\delta \operatorname{tg}\delta_N,$$

где

$$\delta_{ср} = \frac{1}{2}(\delta_{S,t} + \delta_{N,t}); \qquad a'_{ср} = \frac{1}{2}(a'_S + a''_N);$$

$$b''_{ср} = \frac{1}{2}(b''_S + b''_N); \qquad c'_{ср} = \frac{1}{2}(c'_S + c'_N);$$

$$d'_{ср} = \frac{1}{2}(d'_S + d'_N); \qquad \mu'_{ср} = \frac{1}{2}(\mu'_S + \mu'_N).$$

Бесселевы редукционные величины (a', b', c' и d') и собственные движения звезд по склонению μ' вычисляют на основе редукционных величин известных для 1975 г. и помещенных в КГЗ-2 в разделе II по формулам:

$$a'_t = a' + \Delta a' \cdot 10T;$$
$$b'_t = b' + \Delta b' \cdot 10T;$$
$$c'_t = c' + \Delta c' \cdot 10T;$$
$$d'_t = d' + \Delta d' \cdot 10T;$$
$$\mu'_t = \mu' + I_{\mu'} T.$$

Для звезд со склонениями $\delta > 80°$ пользуются разделами III и IV КГЗ-2, в которых даны средние места звезд и эфемериды бесселевых редукционных величин для приведения на видимое место близполюсных звезд. В этом случае вместо 1975 г. берут ближайший, кратный пяти, год.

Бесселевы редукционные величины в разделах II и IV для склонений даны с точностью 0,0001. Число целых при этом опускается. Так, напечатанное $a' = +.9209$ означает $a' = +0.9209$. В отдельных случаях десятичная точка в каталоге не напечатана.

Десятилетние изменения $\Delta a'$, $\Delta b'$, $\Delta c'$ и $\Delta d'$ даны в единицах последнего знака. Если в соответствующей графе не дана величина десятилетнего изменения, это значит, что звезда близполюсная ($\delta > +80°$) и для нее надо использовать раздел IV, а если поставлен только знак, то это означает, что десятилетнее изменение меньше половины единицы последнего (четвертого) знака.

Редукционные величины первого рода $A+A'$ $B+B'$, C и D, а также τ (часть года) выбирают из АЕ СССР для года наблюдений на средний момент наблюдений каждой пары. В АЕ редукционные величины даны для каждой даты дважды: на 0^h эфемеридного времени и на 0^h гринвичского звездного времени. Интерполировать по этим таблицам можно с аргументом «всемирное время» (в первом случае) и с аргументом «гринвичское звездное время» (во втором).

Для интерполирования во втором случае местное звездное время наблюдений пары получают как среднее прямое восхождение звезд, составляющих пару,

$$s = \alpha_{ср} = \frac{1}{2}(\alpha_{t,S} + \alpha_{t,N}). \qquad (4.5)$$

Гринвичское звездное время наблюдений для данной пары

$$S = \alpha_{ср} - \lambda, \qquad (4.5, a)$$

выраженное в долях суток, будет являться интерполяционным множителем.

Если известен момент наблюдения пары по среднему времени, то удобнее использовать таблицы редукционных величин АЕ, данных на 0^h эфемеридного времени. Так как в этом случае

различием между эфемеридным и всемирным временем (а также координированным) можно пренебречь, то интерполяционным множителем будет всемирное время наблюдения данной пары, выраженное в долях суток.

Величина I_δ (второй порядок редукционных величин) выбирается только для звезд со склонением $\delta_N > 85°$ из таблиц АЕ по дате и прямому восхождению. В табл. 4.6 склонение меньше этой величины и поэтому I_δ помещено в скобках.

При обработке наблюдений широты по зенитной звезде в основной формуле вместо полусуммы склонений ставится видимое склонение звезды, найденное по формуле

$$\delta = \delta_t + (A + A')\,a' + (B + B')\,b' + Cc' + Dd' + \tau\mu'. \quad (4.6)$$

При наблюдении северной звезды в нижней кульминации

$$\frac{1}{2}[\delta_S + (180 - \delta_N)] = \delta_{ср} + (A + A')\,a'_{ср} + (B + B')\,b'_{ср} +$$

$$+ Dd'_{ср} + \mu'_{ср}\tau - \frac{1}{2} I_\delta \operatorname{tg} \delta_N,$$

где

$$\delta_{ср} = \frac{1}{2}[\delta_{S,\,t} + (180 - \delta_{N,\,t})];$$

$$a'_{ср} = \frac{1}{2}(a'_S - a'_N);\quad b'_{ср} = (b'_S - b'_N);$$

$$c_{ср} = \frac{1}{2}(c'_S - c'_N);\quad d'_{ср} = (d'_S - d'_N);$$

$$\mu'_{ср} = \frac{1}{2}(\mu_{\delta,\,S} - \mu_{\delta,\,N}).$$

Средний момент наблюдения пары по местному звездному времени (необходимый для интерполирования редукционных величин из АЕ) в этом случае будет

$$s = \frac{1}{2}(\alpha_S + \alpha_N \pm 12^h).$$

В табл. 4.6 приведен пример точного вычисления широты по одной паре Талькотта при использовании микрокалькулятора или другой настольной вычислительной машины.

При полевых вычислениях допускается ряд упрощений. В частности, не вычисляется поправка $\Delta\varphi_к$ за ускорение и коллимацию, сохраняется меньшее число десятичных знаков, не учитываются члены с собственным движением звезд. Интерполяционный множитель находится единый для серии пар. Пара 20/21 июля в табл. 4.6 вычислена два раза — второй раз по схеме полевых вычислений.

После вычисления широт по каждой паре выполняется уравнивание всех пар на пункте (см. 4.5).

Таблица 4.6

Вычисление широты

а) Вычисление средних склонений и прямых восхождений

Год	1979	1979	1977	1976	1976	Полевые вычисления	
Номер звезды	2189	2202	1702	760	2115	Номера звезд	1 2189 2 2202
T	+0,04	+0,04	+0,02	+0,01	+0,01		
δ_{1975}	64°23′18,95″	23°16′16,80″	64°29′41,62″	14°17′21,42″	72°28′09,83″	T	+0,04
$I_\delta T$	+4,938	+7,662	−34,354	+ 2,394	−1,935	δ 1	64 23 19,0
$II_\delta T^2$	+0,005	+0,029	+0,003	− 0,002	−0,008	δ 2	23 16 16,8
$III_\delta T^3$	0	0	0	0	0	δ Ср.	43 49 47,9
T'	+0,036	+0,036	+0,021	+0,010	+0,010	$I_\delta T$ 1	+4,9
R'_{FK4}	+0,14″	+0,56	+0,14	+0,42	+0,16	$I_\delta T$ 2	+7,7
$10\Delta R'_{\mathrm{FK4}}\,10T'$	+0,004	+0,014	+0,002	0	+0,002	$I_\delta T$ Ср.	+6,3
						$R'_{\mathrm{FK4_{ср}}}$	+0,4
δ_t	64°23′24,04″	23°16′25,06″	64°29′07,41″	14°17′24,23″	72°28′08,05″		
						$\delta_{ср}$	43°49′54,6″
α	18 13 45	18 21 06	14 03 43	5 32 29	17 37 37		
$I_\alpha T$	+ 1	+ 10	+ 3	+ 3	− 1		
α_t	18 13 46	18 21 16	14 03 46	5 32 32	17 37 36		

б) Вычисление видимых склонений

Продолжение табл. 4.6

Порядок действий	Дата	20/21 июля 1978 г.	5/6 февраля 1977 г.	14/15 января 1976 г.	Полевые вычисления 20/21 июля 1978 г.
2	Номер звезды 1	2189	1702	760	2189
3	2	2202	(зен.)	2115	2202

5	s_1	18^h14^m	14^h05^m	5^h33^m		
6	s_2	18 21		5 38		
19	$s_{ср}$	18 18	14 05	5 36		22 20*
4	λ	2 51	3 10	6 18		
26	Интерполяционный множитель	0,644	0,454	—0,029		0,93
9	μ'_1	+0,033		—0,006		+0,03
14	μ'_2	+0,073		+0,019		+0,07
20	$\mu'_{ср}$	+0,053	+0,014	—0,012		+0,05
27	τ	—0,449	+0,100	+0,037		—0,45**
10	a'_1	+0,060		+0,120		+0,06
15	a'_2	+0,093		—0,098		+0,09
21	$a'_{ср}$	+0,076	—0,858	+0,109		+0,08
28	$A+A'$	—8,537	+5,863	+6,322		—8,5**
11	b'_1	+0,998		—0,993		+1,00
16	b'_2	+0,996		+0,995		+1,00
22	$b'_{ср}$	+0,997	+0,514	—0,994		+1,00
29	$B+B'$	+9,632	+8,084	+6,550		+9,6**
12	c'_1	+1,088		+0,175		+1,09
17	c'_2	+0,792		+1,080		+0,79
23	$c'_{ср}$	+0,940	+0,651	—0,452		+0,94
30	C	+8,748	—13,783	—7,538		+8,8**
13	d'_1	+0,054		+0,030		+0,05
18	d'_2	+0,037		—0,093		+0,04
24	$d'_{ср}$	+0,046	—0,774	+0,062		+0,04
31	D	—18,145	+13,923	+18,766		—18,1**

Продолжение табл 4.6

Порядок действий	Дата	20/21 июля 1978 г.	5/6 февраля 1977 г.	14/15 января 1976 г.	Полевые вычисления 20/21 июля 1978 г.
37	$I_{\delta N}$	(—0,0019)		(—0,0015)	
32	$\mu'_{cp}\tau$	—0,024	+0,001	0	—0,02
33	$a'_{cp}(A+A')$	—0,649	—5,030	+0,689	—0,68
34	$b'_{cp}(B+B')$	+9,603	+4,155	—6,511	+9,60
35	$c'_{cp}C$	+8,223	—8,973	+3,407	+8,27
36	$d'_{cp}D$	—0,835	—10,776	+1,163	—0,72
38	$1/2(I_\delta \mathrm{tg}\delta)$	(—0,001)		(+0,002)	
7	δ_1	64 23 24,04		14 17 24,23	
8	δ_2	23 16 25,06		107 31 51,95	
25	δ_{cp}	43 49 54,55	64 29 07,41	60 54 38,04	43 49 54,6
39	$\delta - \delta_{cp}$	+16,32	—20,62	+1,25	+16,4
40	δ	43 50 10,87	64 28 46,79	60 54 39,29	43 50 11,0

в) Вычисление поправки $\Delta\varphi_к$

Продолжение табл. 4 6

Величина	Номер звезды				
	N	S	z	S	$N_{НК}$
	2189	2202	1702	760	2115
δ	64°23′	23°16′	64°30′	14°17′	107°32′
$\mathrm{tg}\delta$	2,086	0,430	2,097	0,255	—3,165

n	5	5	6	5	5
Σf^2	80 641	322 922	111 890	199 109	53 826
F	0,0195	0,0781	0,0904	0,0482	0,0130
$\Delta\varphi_к$	0,041″	0,034″	0,190″	0,012″	—0,041″

г) Вычисление широты

Продолжение табл. 4.6

Номер пары	7	4	11	Для полевых вычислений
Дата	20/21 июля 1978 г.	5/6 февраля 1977 г.	14/15 мая 1976 г.	20/21 июля 1978 г.
Номера звезд	2189 2202	1702	760 2115	2189 2202
$m_S - m_N$	+6,4240^{об}	+5,2080^{об}	—2,1415^{об}	+6,4240^{об}
$(m_S - m_N)\frac{R}{2}$	—314,78″	+299,46″	—125,49″	—314,8″
$\Delta\varphi_p$	—0,10	+0,09	—0,08	—0,1
$[\quad]$	—5 14,88	+4 59,55	—2 05,57	—5 14,9
$(i_S - i_N)^\tau/4$	—0,23	—1,69	+0,43	—0,2
δ	43°50′10,87″	64°28′57,35″	60°54′39,33″	43°50′11,0″
$\Delta\varphi_к$	+0,07	+0,19	—0,03	
φ	43 44 55,83	64 33 55,40	60 52 34,16	43 44 55,8

* Средний момент наблюдений вечера по всемирному (эфемеридному) времени с точностью до 10^m.

** Из таблиц редукционных величин AE на 0^h эфемеридного времени.

В приведенных примерах наведения производились на следующих нитях

Номер звезды	Номер нити	Расстояние от средней нити f_i	Σf_i^2 / $F = \frac{\Sigma f_i^2}{4n\rho''}$	Номер звезды	Номер нити	Расстояние от средней нити f_i	Σf_i^2 / $F = \frac{\Sigma f_i^2}{4n\rho''}$
2189 N	3	179″	80 641	760S	1	280″	
	4	90			3	144	199 109
	5	—	0,0195		5	—	
	6	90			7	143	0,0482
	7	180			9	282	
2202N	1	359		2115N^{нк}	3	144	
	3	179	322 922		4	79	53 826
	5	—			5	—	
	7	180	0,0781		6	80	0,0130
	9	360			7	143	
1702z	8	190					
	7	126					
	6	63					
	6	63	111 890				
	7	126					
	8	190	0,0904				

4.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ ПО СПОСОБУ ТАЛЬКОТТА В ПРОИЗВОЛЬНЫХ МАЛЫХ ЧАСОВЫХ УГЛАХ

4.4.1. Методика наблюдений

Подготовив теодолит к наблюдениям (4.2), необходимо определить поправку рабочего хронометра или часов по приему радиосигналов времени относительно местного звездного времени с погрешностью не более $\pm 0{,}1^s$. Радиосигналы должны быть приняты в начале и конце вечера, т. е. до и после наблюдений звезд. Если часы или хронометр отрегулированы и установлены по среднему времени, то для удобства пользования эфемеридами желательно иметь вторые часы, можно наручные, с центральной секундной стрелкой, установленные по звездному времени (см. 4.3.1). Они будут служить только для пользования эфемеридами, а отсчеты в моменты наблюдений будут производиться по основным часам.

Непосредственно перед наблюдением звезд и в конце вечера определяется наклон горизонтальной подвижной нити. Наклон нити не должен превышать $\pm 10'$. Если средний наклон нити для данного вечера превысит $20'$, то наблюдения бракуются.

После определения наклона нити выбирают по эфемеридам подходящую пару звезд. За несколько минут до эфемеридного момента устанавливают трубу на зенитное расстояние пары, скрепляют с трубой талькоттовский уровень. Далее, пользуясь отсчетным приспособлением горизонтального круга, устанавливают трубу в северную или южную часть меридиана в зависимости от порядка звезд в паре, после чего приводят элевационным винтом пузырек на середину. При появлении звезды в поле зрения трубы отсчитывают уровень. При приближении звезды к средней вертикальной нити начинают наблюдение звезды, которое заключается в точном наведении на звезду, одновременном отсчете хронометра с точностью до 1^s и отсчете по шкале головки микрометра, по которой отсчитывают целое число делений и десятые доли. Число оборотов винта записывают заранее, при первом отсчете уровня. Делают пять наведений. Третье наведение рекомендуется сделать вблизи центральной вертикальной нити. Если этого не сделано, то в момент пересечения звездой средней вертикальной нити должен быть сделан отсчет по хронометру $T_{\text{ср н}}$ с точностью 1^s. Желательно соблюдать симметрию по времени выполнения всех пяти наведений. Для этого используют помещенные в эфемеридах данные о скорости суточного перемещения звезд за 10 с времени. После пятого наведения на звезду повторно отсчитывают число целых оборотов винта микрометра и производят отсчет по уровню Талькотта.

На этом заканчивается наблюдение первой звезды. Для наблюдения второй звезды верхняя часть прибора осторожно поворачивается на $180°0'$ и труба устанавливается в противоположную часть меридиана. При повороте и при ожидании появления второй звезды необходимо оберегать теодолит, особенно его

трубу и элевационный винт уровня, от сдвигов При приближении звезды к сетке нитей все действия повторяют. По окончании вилку уровня накладывают на хвостовик рамы, закрепительный винт открепляют, и теодолит подготавливают к наблюдению следующей пары.

Вместо пары звезд может в северных широтах ($\varphi > 55°$) наблюдаться зенитная звезда, склонение которой отличается от широты пункта менее чем на 8′. Она наблюдается дважды, при двух положениях окуляра. Зенитное расстояние устанавливают равным 0°0′ и алидаду устанавливают так, чтобы отсчет по горизонтальному кругу был равен 0°0′ или 180°.

В первом положении выполняется три наведения на звезду, сопровождаемые отсчетами по хронометру и шкале микрометра. Эти наведения делают быстро одно за другим (желательный интервал 10 с). Все три наведения должны быть сделаны до пересечения звездой центральной вертикальной нити.

После третьего наведения отсчитывают уровень, затем, быстро повернув алидаду, устанавливают отсчет 180°0′ (или 0°0′) и выполняют три наблюдения звезды при втором положении прибора, стремясь к тому, чтобы они были выполнены на таком же расстоянии от центральной нити, что и первые. После поворота при втором положении алидады начальный отсчет уровня может не делаться, так как его пузырек не успевает успокоиться. В случае применения безынерционного уровня это замечание утрачивает силу. Обязательна запись в журнале в соответствии с правилами о положении круга теодолита (КЛ или КП) и об обозначении звезды индексами (S или N) до и после поворота алидады на 180°.

Если $(T_{\text{ср н}} - T_{\text{ср}}) \leqslant |2^s|$, то поправка за наклон нити вообще не вычисляется и не вводится, в том числе и при окончательных вычислениях.

Если $|2^s| < (T_{\text{ср н}} - T_{\text{ср}}) \leqslant |20^s|$, то поправка вводится только при окончательных вычислениях, а при $T_{\text{ср н}} - T_{\text{ср}} > |20^s|$ поправка за наклон нити вводится также и при полевых вычислениях. Но такой случай при соблюдении методики должен быть исключением.

Из наблюдений миры наклон определяется следующим образом.

Теодолит перед определением наклона должен быть горизонтирован и полностью готов к наблюдениям звезд.

Трубу грубо наводят правым концом подвижной нити на миру и с точностью до 10″ берут отсчет по горизонтальному кругу. Затем три раза наводят правый конец нити точно на миру и отсчитывают при этом по шкале микрометра. Образуют средний отсчет П. Далее поворачивают алидаду по азимуту на угол 30′ таким образом, чтобы изображение миры переместилось на левый конец нити. Три раза точно наводят нить на миру и получают средний отсчет Л. Наклон нити в минутах дуги вычисляют по формуле $\psi = \pm 1{,}91\,(\text{П} - \text{Л})^{\text{об}} R$. Знак «+» или «—» берется из табл. 4.7 как для южной звезды.

Таблица 4.7

Таблица знаков

Положение теодолита и направление возрастания отсчетов	Звезда		
	южная	северная	
	Верхняя кульминация	Верхняя кульминация	Нижняя кульминация
Отсчеты микрометра возрастают с увеличением Z	+	−	+
Отсчеты микрометра убывают с увеличением Z	−	+	−

Запись и обработку определения наклона производят на свободной странице журнала.

Пример.

Пункт Семеновка 20/21 августа 1975 г. КЛ Теодолит АУ 2/10 $R'' = 137{,}10''$.

Отсчеты микрометра возрастают с увеличением Z. Формула $\psi = +1{,}91\,(\text{П} - \text{Л})\,R''$.

а) В начале вечера

П	Л
10,837	10,802
840	800
822	807
10,833	10,803

$\text{П} - \text{Л} = +0{,}030^{об}$

$$\psi = +1{,}91 \times 0{,}030 \times 137{,}10 = +7{,}9'.$$

б) В конце вечера $\psi = +9{,}3'$

$$\psi_{ср} = +8{,}6'$$

Ниже даны примеры записи наблюдений пары звезд по способу Талькотта в произвольных малых часовых углах (табл. 4.8).

4.4.2. Вычисление широты

Основная формула вычисления широты при наблюдениях в произвольных малых часовых углах

$$\varphi = \frac{1}{2}(\delta_S + \delta_N) \pm \left[(m'_S - m'_N)\frac{R''}{2} + \Delta\varphi_\rho\right] + \\ + (i_S - i_N)\frac{\tau}{4} + \frac{1}{2}(\Delta\varphi_{к_S} + \Delta\varphi_{к_N}), \qquad (4.7)$$

где δ_S и δ_N — видимые склонения звезд (при звезде в нижней кульминации в формуле вместо склонения берется его дополнение до 180°); m'_S и m'_N — средние из отсчетов по шкале микрометра; R'' — цена оборота винта микрометра в секундах дуги; $\Delta\varphi_\rho$ — поправка за рефракцию; $i_S - i_N$ — разность наклонностей трубы при наблюдениях звезд; τ'' — цена деления уровня в секундах дуги;

Таблица 4.8

Журнал наблюдений

Пара № 12

Дата *11/12 ноября 1976 г.*

$s_1 = 3^h03{,}1^m$ $s_2 = 3^h17{,}2^m$ АУ 2/10

Положение круга КП

$u = +9{,}3^s$ $Z = 9°38'$ $u = +11{,}6^s$

Номер наведения	Звезда 368N, величина 3 1, отсчеты уровня, время T	Микрометр	Звезда 403S, величина 4 9, отсчеты уровня, Время T	Микрометр
	10,1—24,6		10,4—24,7	
	10,2—24,6		10,4—24,8	
$(Л+П)_{ср}$	34,75		35,15	
1	$3^h02^m39^s$	12,152 об	$3^h16^m47^s$	14,292 об
2	51	151	54	289
3	03 00	149	17 04	292
4	06	150	19	295
5	03 13	12,150	17 26	14,297
$T_{ср}$	3 02 57,8		3 17 06,0	
$T_{ср\ н}$	3 03 00		3 17 09	
m		12,1504		14,2930
$i_S - i_N$		+0,40		

$\Delta\varphi_к$ — здесь суммарная поправка за ускорение, коллимацию и редукцию на меридиан.

Кроме того, учитывают поправки за наклон горизонтальной нити Δm_S и Δm_N. Образуют суммы

$$m'_S = m_S + \Delta m_S, \quad m'_N = m_N + \Delta m_N.$$

Вычисление величин $(\delta_S + \delta_N)/2$, $\Delta\varphi_\rho$, $(i_S - i_N)$ и определение знака перед квадратной скобкой в формуле выполняется точно так же как и при наблюдениях на постоянных нитях.

При наблюдении в произвольных часовых углах прямые восхождения должны быть известны с точностью до $0{,}1^s$ для получения часовых углов звезд с такой же погрешностью. Используются формулы:

$$\alpha_t = \alpha_{1975,0} + I_\alpha T + II_\alpha T^2;$$

$$\alpha_{S,\,N} = \alpha_t + (A + A')\,a + (B + B')\,b + Cc + Dd.$$

Обозначения и методика выборки из КГЗ-2 и АЕ СССР редукционных величин те же, что в 4.3. Учитывать остальные члены формул нет необходимости.

После обработки принятых радиосигналов с известной долготой пункта вычисляют по обычной методике (см. 2.3) поправку хронометра u на момент наблюдения пары.

По формуле

$$t_i = T_i - (\alpha - u) \qquad (4.8)$$

находят часовой угол звезды, где T_i — отсчет по хронометру в момент наведения на звезду.

Суммарная поправка $\Delta\varphi_к$ за приведение к меридиану, ускорение и мгновенную коллимацию вычисляется для каждой отдельной звезды по формуле

$$\Delta\varphi_к = \frac{15^2 \sin 2\delta}{4\rho''} \frac{1}{n} \Sigma t_i^2 \qquad (4.9)$$

или при пяти наведениях

$$\Delta\varphi_к = 0{,}0\,000\,546 \sin 2\delta \Sigma t_i^2.$$

Для зенитной звезды вместо $1/2\,(\Delta\varphi_{кS} + \Delta\varphi_{кN})$ в формуле берется $\Delta\varphi_к$. При трех наведениях в каждом положении круга

$$\Delta\varphi_к = +\,0{,}0\,000\,455 \sin 2\delta \Sigma t_i^2.$$

Если северная звезда пары наблюдалась в нижней кульминации, то при вычислении $\Delta\varphi_к$ в формуле ставится не δ_N, а $180° - \delta_N^{нк}$.

Поправка за наклон нити вычисляется по формуле

$$\Delta m = \pm 0{,}0044'' (T_{ср.\,н} - T_{ср}) \cos\delta \frac{\psi_{ср}}{R''}, \qquad (4.10)$$

где $\psi_{ср}$ — наклон нити в минутах дуги, полученный из наблюдений миры; $T_{ср.н}$ — отсчет по хронометру при пересечении звездой средней вертикальной нити; $T_{ср}$ — средний из отсчетов по хронометру, сделанных при наведениях на звезду.

Если $T_{ср\,н} - T_{ср} \leqslant |2^s|$, то поправка за наклон может не вычисляться. Знак перед коэффициентом устанавливается в соответствии с табл. 4.7.

Зенитные звезды поправками за наклон нити приводятся не к средней нити (звезда ее не пересекает), а к кругу склонений, максимально приближенному к центру группирования. Для нахождения этого круга вычисляют средний часовой угол звезды при наблюдениях в первом положении теодолита (он обычно будет отрицательным) и средний часовой угол во втором (положительный). Из абсолютных значений часовых углов берется среднее, определяющее часовой угол того круга склонений t_0, к которому приводятся наблюдения. Он будет одинаковым по абсолютной величине для обоих положений, но различным по знаку. Для положения зенитной звезды с индексом «S» знак перед коэффициентом плюс, с индексом «N» минус.

Пример.

$$\Delta m = \pm 0{,}0044'' (t_0 - t_{ср}) \cos\delta \frac{\psi_{ср}}{R''}.$$

Ниже приведены образец журнала (табл. 4.9) и примеры вычисления одной пары Талькотта с полным числом знаков и для полевого контроля (табл. 4.10).

Таблица 4.9

Журнал наблюдений

Пара № 1

Дата *22/23 июля 1978 г.* КП АУ 2/10

$s_1 = 20^h41^m$ $Z = 2°12'$ $s_2 = 20^h48^m$

$u = -1^m8{,}6^s$ $u = -1^m7{,}4^s$

Номер наведения	Звезда 2533 S, величина 5 6, отсчеты уровня, время, T	Микрометр	Звезда 2553 N, величина 4 9, отсчеты уровня, время, T	Микрометр
$(Л + П)_{ср}$	6,8—20,0 7,1—20,4 27,15		9,0—22,2 9,0—22,2 31,20	
1	$20^h42^m11^s$	12,738об	$20^h49^m00^s$	6,132об
2	19	738	09	127
3	30	740	25	133
4	40	740	36	134
5	42 50	12,740	49 47	131
				6,1314
$T_{ср}$	20 42 30,0	12,7392	20 49 23,4	
$T_{ср\ н}$	20 42 19,0		20 49 25,0	$i_S - i_N = 4{,}05$

Таблица 4.10

Вычисление широты

а) Вычисление средних склонений

Обозначения	Номер звезды КГЗ-2		Для полевых вычислений	
	2533	2553	Номер звезды	{1 2533 {2 2553
T	+0,04	+0,04	T	+0,04
δ_{1975}	41°37′36,31″	46°01′14,87″	δ	1 41 37 36,3 2 46 01 14,9 Среднее 43 49 25,6
$I_\delta T$	+51,824″	+53,657″		
$II_\delta T^2$	+0,019	+0,017		
$III_\delta T^3$	0	0	$I_\delta T$	1 +51,8 2 +53,7 Среднее +52,8
T'	+0,036	+0,036		
R'_{FK4}	+0,30	+0,29		
$10\Delta R'_{FK4}10T'$	+0,014	+0,014	$R'_{FK4\ ср}$	+0,3
δ_t	41°38′28,47″	46°02′08,85″	$\delta_{t\ ср}$	43°50′18,7″

Величина T', необходимая для введения поправки за переход к каталогу FK4, вычислена по формуле

$$T' = \frac{1978{,}56 - 1975{,}00}{100} = +0{,}036,$$

где 1978,56 — дата наблюдений в долях года.

б) Вычисление видимых склонений

Продолжение табл. 4.10

Порядок действий	Дата	22/23 июля 1978 г.	Для полевых вычислений
1			22/23 июля 1978 г.
2	Номер звезды	2533	2533
3	1-й 2-й	2553	2553
5	s_1	20^h41^m	
6	s_2	20 48	
19	$s_{ср}$	20 44	23^h0^m*
4	λ	2 51	
26	Интерполяционный множитель	0,745	0,96
9	μ'_1	+0,005″	0,00
14	μ'_2	0	0
20	$\mu'_{ср}$	+0,002	0
27	τ	—0,444	—0,44
10	a'_1	+0,647	+0,65
15	a'_2	+0,670	+0,67
21	$a'_{ср}$	+0,658	+0,66
28	$A + A'$	—8,425	—8,4
11	b'_1	+0,763	+0,76
16	b''_2	+0,742	+0,74
22	$b''_{ср}$	+0,752	+0,75
29	$B + B'$	+9,526	+9,5**
12	c'_1	+0,831	+0,83
17	c'_2	+0,836	+0,84
23	$c'_{ср}$	+0,834	+0,84
30	C	+9,321	+9,3**
13	d''_1	+0,430	+0,43
18	d'_2	+0,482	+0,48
24	$d'_{ср}$	+0,456	+0,46
31	D	—17,804	—17,8**
37	I_{δ_N}	(—0,0025)	
32	$\mu_{ср}\ \tau$	—0,001	0

Продолжение табл. 4.10

Порядок действий	Дата	22/23 июля 1978 г.	Для полевых вычислений
1			22/23 июля 1978 г
2	Номер звезды 1-й	2533	2533
3	2-й	2553	2553
33	$a'_{ср}(A+A')$	—5,544	—5,54
34	$b'_{ср}(B+B')$	+7,164	+7,12
35	$c'_{ср}C$	+7,774	+7,81
36	$d'_{ср}D$	—8,119	—8,19
38	$\frac{1}{2}I_{\delta_N}\operatorname{tg}\delta_N$	(—0,001)	
7	δ_1	41 38 28,47	
8	δ_2	46 02 08,85	
25	$\delta_{ср}$	43 50 18,66	43 50 18,7
39	$\delta-\delta_{ср}$	+1,27	+1,2
40	δ	43°50′19,93″	43°50′19,9″

* Средний момент наблюдений одного вечера по всемирному (эфемеридному) времени с погрешностью 10^m.

** Из таблиц редукционных величин AE на 0^h эфемеридного времени.

в) Вычисление видимых прямых восхождений

Обозначения	Номера звезд		Полевые вычисления	
	2533	2553	2583	2553
a	+0,11	+0,10	+0,1	+0,1
b	+0,04	+0,05	+0,0	+0,0
c	+0,06	+0,06	+0,1	+0,1
d	—0,07	—0,07	—0,1	—0,1
$\alpha_{1975,0}$	$20^h41^m02,23^s$	$20^h48^m05,10^s$	$20^h41^m02,2^s$	$20^h48^m05,1^s$
$I_\alpha T$	+8,67	+8,18	+8,7	+8,2
$II_\alpha T^2$	0	0		
α_t	$20^h41^m10,90^s$	$20^h48^m13,28^s$	$20^h41^m10,9^s$	$20^h48^m13,3^s$
$a(A+A')$	—0,93	—0,84	—0,8	—0,8
$b(B+B')$	+0,38	+0,48	0,0	0,0
Cc	+0,56	+0,56	+0,9	+0,9
Dd	+1,25	+1,25	+1,8	+1,8
α	20 41 12,2	20 48 14,7	20 41 13	20 48 15

г) Вычисление поправки за наклон нити

Номер пары	1	
Номер звезды	2533	2553
$\psi_{ср}$	$+15{,}7'$	
$T_{ср.н} - T_{ср}$	$+11{,}0^s$	$+1{,}6^s$
$\cos\delta$	0,747	0,694
$1/R''$	0,0102	
Δm	$-0{,}0058^{об}$	$+0{,}0008^{об}$ *

* Может не вычисляться ввиду разности малости $T_{ср\ н} - T_{ср}$.

д) Вычисление поправки за наклон нити для зенитной звезды

$$\psi = 14{,}1',\ R = 98{,}0'',\ \cos\delta = 0{,}431,\ \frac{\psi}{R} = 0{,}144,\ \delta < \varphi$$

Номер наведения	Номер нити	T	m_N	t
		1. Положение «N»		
1	1	$14^h03^m24^s$	$7{,}820^{об}$	$-36{,}1$
2	2	32	814	$-28{,}1$
3	3	43	822	$-17{,}1$
		Среднее	7,8187	$-28{,}1$
		2. Положение «S»		
1	3	$14^h04^m33^s$	$13{,}014^{об}$	$+32{,}9^s$
2	2	45	,022	$+44{,}9$
3	1	59	,020	$+58{,}9$
	Среднее		13,0187	$+45{,}6$

Если звезда кульминирует к югу от зенита ($\delta < \varphi$), то большему отсчету микрометра приписывается индекс «S», а меньшему «N», как в этом примере. Если же зенитная звезда кульминирует к северу ($\delta > \varphi$), то наоборот.

$$|t_0| = \frac{|28{,}1| + |45{,}6|}{2} = 36{,}8^s.$$

Для положения 1 $t_0 = -36{,}8^s$

$\Delta m = -0{,}0044\,[-36{,}8 - (-28{,}1)]\ \ 0{,}431 \times 0{,}144 = +0{,}0024^{об}$.

Для положения 2 $t_0 = +36{,}8^s$

$\Delta m = +0{,}0044\,[+36{,}8 - (+45{,}6)]\ \ 0{,}431 \times 0{,}144 = -0{,}0024^{об}$.

Исправленные за наклон средние отсчеты микрометра

$m_1 = 7{,}8187 + 0{,}0024 = 7{,}8211^{об}$;

$m_2 = 13{,}0187 - 0{,}0024 = 13{,}0163^{об}$.

Вычисление Δm для положения «S» является контрольным. Для любого положения оно имеет одинаковую величину, но противоположные знаки.

Продолжение табл. 4.10

е) Вычисление поправки $\Delta\varphi_к$

Дата	22/23 июля 1978 г.		5/6 февраля 1977 г
Номер пары	1		8z
Номер звезды	2533	2553	1702
u	$-1^m8{,}6^s$	$-1^m7{,}4^s$	$-14{,}3^s$
α	$20^h41^m12{,}2^s$	$20^h48^m14{,}7^s$	$14^h03^m45{,}8^s$
$\alpha - u$	20 42 20,8	20 29 22,1	14 04 0,1
$\sin 2\delta$	0,993	0,999	0,777
$\Sigma[T-(\alpha-u)]^2 = \Sigma t_i^2$	1405	1482	8953
$\Delta\varphi_к$	+0,08	+0,08	+0,32
$1/2(\Delta\varphi_{kS} + \Delta\varphi_{kN})$	+0,08		+0,32

ж) Вычисление широты

Дата	22/23 июля 1978 г.		Полевые вычисления 22/23 июля 1978 г.	
Номер пары	1		1	
Номер звезды	2533	2553	2533	2553
m_S	12,7392			
Δm_S	−0,0058			
$m'_S = m_S + \Delta m_S$	12,7334		12,7392	
m_N	6,1314			
Δm_N	+0,0008			
m'_N	+6,1322		6,1314	
$m'_S - m'_N$	+6,6012		+6,6078	
$(m'_S - m'_N)\frac{R}{2}$	+323,45″		+323,4	
С учетом знака	−5′23,45″		−5′23,4″	
$\Delta\varphi_\rho$	−0,09″		−0,1	
$\Delta\varphi_i$	−1,66		−1,7	
$\Delta\varphi_k$	+0,08		—	
$[\ ] + \Delta\varphi_i + \Delta\varphi_k$	−5′25,12″		−5′25,2″	
δ	43°50′19,93″		43°50′19,9″	
φ	43 44 54,81		43 44 54,7	

4.5. УРАВНИВАНИЕ ШИРОТЫ, ОПРЕДЕЛЕННОЙ ПО СПОСОБУ ТАЛЬКОТТА

Цена оборота окулярного микрометра в течение полевого сезона непостоянна. Определять же ее ежедневно затруднительно, поэтому целесообразно находить точное значение цены деления оборота из совместного уравнивания всех наблюденных пар на пункте.

При уравнивании отыскивается вероятнейшая поправка $\Delta\varphi$ к среднему арифметическому значению широты пункта φ_0, вычисленному по всем парам с приближенным значением цены оборота R_0, и поправка к этому значению ΔR

$$\varphi_0 = \frac{1}{n}\Sigma\varphi_i.$$

Для каждой пары составляют уравнение погрешностей вида

$$\Delta\varphi - (m_S - m_N)_i \frac{\Delta R}{2} + (\varphi_0 - \varphi_i) = v_i.$$

Если ввести обозначения

$$(m_S - m_N)_i = a_i; \quad a_0 = \frac{1}{n}[a];$$

$$\varphi_0 - \varphi_i = \delta\varphi_i; \quad a_0 - a_i = \delta a_i,$$

то нормальные уравнения будут иметь вид

$$n\Delta\varphi - [a]\frac{\Delta R}{2} = 0.$$

$$-[a]\Delta\varphi + [a^2]\frac{\Delta R}{2} - [a\delta\varphi] = 0.$$

Решим эти уравнения

$$\Delta\varphi = \frac{a_0[a\delta\varphi]}{[aa] - a_0[a]};$$

$$P_{\Delta\varphi} = n - \frac{[a]^2}{[a^2]};$$

$$\frac{\Delta R}{2} = -\frac{[\delta a\delta\varphi]}{[\delta a^2]} = \frac{\Delta\varphi}{a_0};$$

$$P_{\frac{\Delta R}{2}} = [\delta a^2]$$

и для контроля могут служить формулы:

$$\Delta\varphi = -\frac{a_0[\delta a\delta\varphi]}{[\delta a^2]};$$

$$\frac{\Delta R}{2} = \frac{[a\delta\varphi]}{[aa] - a_0[a]}.$$

Уравненное значение широты получим

$$\varphi = \varphi_0 + \Delta\varphi.$$

Оценка точности по результатам уравнивания производится по формулам:

средняя квадратическая погрешность единицы веса

$$m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-2}}; \quad (4.11) \quad [vv] = [\delta\varphi^2] - \frac{[\delta a \delta\varphi]^2}{[\delta a^2]};$$

средняя квадратическая погрешность широты пункта

$$M_\varphi = \frac{m}{\sqrt{P_{\Delta\varphi}}}; \tag{4.12}$$

поправки к цене оборота $M_{\frac{\Delta R}{2}} = \frac{m}{\sqrt{P_{\frac{\Delta R}{2}}}}$. (4.13)

В табл. 4.11 приведен пример уравнивания широты, вывод окончательного значения и оценка точности.

Величины $a_i = m_S - m_N$ выписывают до 0,1 оборота с теми знаками, с которыми входят в вычисления широт.

При полевых вычислениях уравнивание широт выполняется только в случаях сомнений в приближенном значении цены оборота R_0, большой $[a]$ и при величине M_φ, близкой к предельной.

4.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ БЛИЗМЕРИДИАННЫХ ЗЕНИТНЫХ РАССТОЯНИЙ ПАР ЗВЕЗД ПРИ ОДНОМ ПОЛОЖЕНИИ ТЕОДОЛИТА

4.6.1. Подготовка к наблюдениям

При исследовании теодолита до выезда в поле необходимо определить угол между горизонтальной и вертикальной осями, который не должен отличаться от 90° более чем на 20″. Коллимация визирной оси не должна превышать 20″. Исследуются эксцентриситет вертикального круга и рен отсчетных устройств. Барометр — анероид и термометр-пращ должны иметь паспорта с указанием поправок шкал.

Для этого способа при применении кварцевого хронометра рекомендуется использовать при регистрации моментов наблюдений специальную клавишу типа телеграфного ключа. Использование клавиши обеспечивает более высокую точность и сокращает процесс наблюдений звезды.

Для каждого пункта подготавливают рабочие эфемериды пар северных и южных звезд. Выбор звезд по блеску ограничивается их видимостью в данных физико-географических условиях. Так, например, в условиях полярного дня возможны наблюдения звезд не слабее 3,5 звездной величины. При этом подбирают такие пары, в состав которых входят звезды, расположенные на значительном расстоянии от Солнца (не менее 25—30°); с этой целью сравнивают экваториальные координаты звезды с координатами Солнца.

Таблица 4.11

Уравнивание широты

а) Предварительные вычисления

Номер пары	Дата 1978 г.	Номер звезды		Широта	$\delta\varphi_i$	a_i	δa_i
1	4/5 августа	2683	2648	43°44′56,51″	—0,57″	—5,6	+5,4
2	»	2683	2669	56,70	—0,76	+3,6	—3,8
3	»	2707	2739	55,60	+0,34	+8,0	—8,2
4	5/6 августа	2683	2648	56,06	—0,12	—5,6	+5,4
5	»	2683	2669	56,66	—0,72	+3,7	—3,9
6	»	2847	2836	55,99	—0,05	—9,2	+9,0
7	6/7 августа	2266	2269	55,56	+0,38	+8,9	—9,1
8	»	2295	2300	56,20	—0,26	+5,5	—5,7
9	»	2362	2388	55,61	+0,33	—2,7	+2,5
10	»	2374	2388	55,60	+0,34	+0,6	—0,8
11	»	2398	2433	55,65	+0,29	—6,6	+6,4
12	»	2452	2473	55,45	+0,49	+1,2	—1,4
13	»	2464	2473	44 55,64	+0,30	—4,8	+4,6

$n = 13$ Среднее 43°44′55,94″ Σ — 0,01 Среднее —0,23Σ + 0,4

$[a] = -3{,}0$

$R_0 = 97{,}874''$

$R = 97{,}874 + 0{,}001 = 97{,}875''$

б) Окончательные вычисления

Схема	Вычисления	Схема	Вычисления
a_0	—0,23	a_0	—0,23
$[a\delta\varphi]$	+0,14	$[\delta a\delta\varphi]$	—0,14
$a_0[a\delta\varphi]$	—0,03	$a_0[\delta a\delta\varphi]$	—0,03
$[a^2]$	+423,16	$P_{\frac{\Delta R}{2}} = [\delta a^2]$	422,46
$a_0[a]$	+0,69		
$[a^2] - a_0[a]$	+422,47	$\Delta\varphi$	-7×10^{-5}
$\Delta\varphi$	-7×10^{-5}	$[\delta a\delta\varphi]^2$	0,0198
$\frac{1}{2}\Delta R$	3×10^{-4}	$[\delta\varphi^2]$	2,4041
$[a]^2$	9,00	$[\delta a\delta\varphi] : [\delta a^2]$	5×10^{-5}
$[a]^2 : [a^2]$	0,02	Σv^2	2,40405
$P_{\Delta\varphi}$	12,98		

$$\varphi = 43°44'55{,}94'' + 0{,}00'' = 43°44'55{,}94'' \pm 0{,}13''$$

$$m = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n-2}} = \pm 0{,}47'';$$

$$M_\varphi = \frac{m}{\sqrt{P_{\Delta\varphi}}} = \pm 0{,}13'';$$

$$M_{\frac{R}{2}} = \frac{m}{\sqrt{P_{\frac{\Delta R}{2}}}} = \pm 0{,}05''.$$

Пары звезд должны удовлетворять следующим условиям: зенитные расстояния должны быть в пределах от 15 до 50°, разность зенитных расстояний не более 6°, разность моментов кульминаций не более 20^m, минимальная разность моментов между кульминациями должна быть равна времени наблюдения одной звезды плюс время, затрачиваемое на переход к наблюдениям второй звезды данной пары.

4.6.2. Принцип составления эфемерид

Рассмотрим вопрос о подборе пар звезд с определением их основных эфемеридных величин s, z, a, применяемых как в настоящем способе определения широты, так и используемых при составлении эфемерид в способах многократного измерения долготы (см. 3.5) или широты (см. 4.7). Во всех этих способах требования к предельным значениям зенитных расстояний близки друг к другу, поэтому, несколько обобщая, можно написать условие в следующем виде $10° \leqslant z \leqslant 50°$.

В этих способах много общего при составлении эфемерид, но в каждом способе определений есть свои требования, предъявляемые к разности зенитных расстояний, к разности моментов кульминаций и т. д. Поскольку эти способы определений по ярким звездам рассчитаны на применение их в высоких широтах (северных или южных), то полюсные звезды наблюдаются всегда только вблизи нижней кульминации. Кроме того, следует иметь в виду, что при подборе пар для определения широты пункта, расположенного в северном полушарии Земли, можно применять яркую ($2{,}1^m$) близполюсную ($\delta \approx 89°$) звезду Полярную при любом часовом угле.

В качестве исходных данных при составлении рабочих эфемерид для полевого пункта могут служить «Эфемериды ярких пар звезд для наблюдения вблизи меридиана», составленные при помощи ЭВМ по широтным зонам, или оперативные эфемериды, вычисленные непосредственно на широту определяемого пункта. Пары звезд можно подобрать, затем определить основные величины, пользуясь АЕ СССР или Международным каталогом FK-4.

Учитывая требования к величине зенитного расстояния, выбирают из каталога по экваториальным координатам сначала полюсную звезду со склонением δ_P на избранный момент нижней кульминации $s_P = \alpha_P \pm 12^h$; склонение должно удовлетворять условию

$$130° - |\varphi| \leqslant |\delta_P| \leqslant 170° - |\varphi|,$$

в котором правую часть ограничивают числом 90°.

Далее в пару к полюсной подбирают экваториальную, склонение которой δ_Q должно удовлетворять условию

$$|\delta_P| - (180° - 2|\varphi| + \Delta Z_0) \leqslant |\delta_Q| \leqslant |\delta_P| - (180° - 2|\varphi| - \Delta Z_0),$$

где $\Delta Z_0 = |Z_P - Z_Q|$ есть допустимая разность зенитных расстояний пары звезд.

Момент кульминации экваториальной звезды $s_Q = \alpha_Q$ должен отличаться от s_P на величину, не выходящую за пределы допустимых значений для конкретного способа.

Для звезд подобранной пары вычисляют зенитные расстояния

$$Z_P = 180° - |\varphi + \delta_P|; \quad Z_Q = |\varphi| - |\delta_Q|.$$

Составляют список пар, в котором указывают номера звезд, звездные величины, моменты кульминаций, горизонтальные координаты на эти моменты и др. (табл. 4.12). Имея эти основные величины, составляют эфемериды, соответствующие избранному способу определений.

Таблица 4.12

Эфемериды ярких пар звезд для наблюдений вблизи меридиана

Пункт $\varphi = 70°0'$ Интервал времени от 0 до 6^h

Номер пары	Номер звезды	Величина	s	$s_S - s_N$	Z	$Z_S - Z_N$	a	v_a	$\delta_{1979,0}$
1	N 4	$2{,}1^m$	0^h40^m		19°14′		180°58′	—	89°10′
	14	2,5	0 39		13 35	−5,7°	0	35,3	56 25
2	N 4	2,1	3 0		19 12		179 27	—	89 10
	75	2,3	3 03		16 34	−2,6	0	31,3	53 26
3	N 4	2,1	3 20		19 12		179 15	—	89 10
	83	1,9	3 23		20 13	+1,0	0	28,0	49 47
4	N 4	2,1	3 40		19 14		179 03	—	89 10
	92	3,1	3 41		22 17	+3,0	0	26,6	47 43
5	414	3,2	5 9		44 16		180	9,8	65 44
	149	3,0	5 25		41 24	−2,9	0	19,9	28 36
	N 4	2,1	6 0		19 33		177 55	—	89 10
6	170	2,1	5 58	$+16^m$	25 03	+5,5	0	25,0	44 57

При наблюдениях в условиях полярного дня для уверенного и своевременного обнаружения звезды в поле зрения трубы теодолита необходимо иметь довольно точные горизонтальные координаты для положений вне меридиана. С этой целью в список пар вносится для каждой звезды величина $v_a = 15 \cos\delta \operatorname{cosec} Z$ (изменение азимута в течение 1^m в момент кульминации), при помощи которой можно получить приращение азимута

$$\Delta a = v_a \Delta s,$$

и затем азимут a (см. табл. 2.7) на момент $s \pm \Delta s$, отличающийся на Δs (в минутах) от момента кульминации s.

Приращение Δa нетрудно определить в процессе наблюдений, считая его равным углу, на который надо повернуть алидаду горизонтального лимба против суточного движения звезды (для наблюдений до кульминации) или в направлении движения (для наблюдений после кульминации) по отношению к ее установке в меридиане. Величину v_a, если она не дана в эфемеридах, можно выбрать из таблицы АТ; интервал Δs около $3—5^m$ астроном может взять по своему усмотрению, в зависимости от приобретенных им навыков в наблюдениях и промежутка времени между кульминациями звезд данной пары. Зенитное расстояние звезды за время Δs изменится незначительно (около 1′) и практически изображение звезды пройдет через середину поля зрения трубы теодолита, если пользоваться значением Z для положения в кульминации.

Зенитное расстояние и азимут Полярной вычисляют при помощи «Таблиц высот и азимутов Полярной» АЕ для момента, близкого ($0—5^m$) к моменту кульминации парной с ней южной звезды; по табличной величине f находят $Z=90°-\varphi-f$, по табличному азимуту a_N определяют эфемеридный $a=180°\pm a_N$, где знак «+» берется, когда табличный азимут восточный, знак «—», когда табличный азимут западный.

В табл 4.12 приведены эфемериды ярких пар на ограниченный интервал времени для пункта, широта которого $\varphi=+70°0'$.

4.6.3. Методика наблюдений

Заблаговременно (за 1,5—2 ч до наблюдений) устанавливают теодолит на столб, помещают вблизи него термометр и барометр, защищают приборы и особенно уровень при вертикальном круге от прямых солнечных лучей. Выполнив горизонтирование теодолита, его ориентируют в меридиане с точностью 2′. До и после наблюдений звезд принимают радиосигналы времени, максимальный интервал между сигналами при применении механического хронометра допускается 2 ч.

При применении излагаемого в этом разделе способа однократного измерения широты по отдельной паре звезд необходимо отнаблюдать 12 пар с перестановкой вертикального лимба между парами через 15°; из них 5—6 пар наблюдают при основном положении теодолита, остальные при дополнительном; каждую звезду наблюдают 6 раз в положениях, симметричных относительно меридиана.

Устанавливают трубу на эфемеридное зенитное расстояние и азимут первой по времени кульминации звезды. Обнаружив звезду в поле зрения, приступают к измерениям ее зенитных расстояний. Производят шесть измерений с таким расчетом, чтобы три из них были выполнены до кульминации звезды, а три после кульминации (за исключением Полярной, которую можно наблюдать вне меридиана при любом ее часовом угле). Выполнив

измерения по одной звезде, производят в том же объеме и при том же круге измерения по второй звезде пары, пользуясь при отыскании ее эфемеридными данными. В середине между наблюдениями звезд записывают показания термометра и барометра. Каждое измерение состоит в том, что на звезду тщательно наводят рабочую горизонтальную нить, фиксируют момент наведения по показанию хронометра, немедленно отсчитывают по уровню, затем по вертикальному кругу. Наведение нити на звезду выполняют наводящим винтом при трубе, на ввинчивание. Рабочей горизонтальной нитью может служить (в зависимости от положения коробки окулярного микрометра) или средняя нить неподвижной сетки, или одиночная подвижная нить микрометра, установленная в нуль-пункт (т. е. на отсчет по микрометру $10^{об}00^{д}$) на все время измерений зенитных расстояний звезд. Наводят на звезду точку пересечения горизонтальной и центральной вертикальной нити, однако если звезда видна слабо, то выгодно наводить точкой, расположенной вблизи перекрестия с тем, чтобы вертикальная нить не закрывала звезду и тем самым не мешала бы точному наведению горизонтальной нити. С этой целью предварительно, пользуясь наводящими винтами, устанавливают трубу так, чтобы звезда в поле зрения оказалась вблизи перекрестия и в своем суточном движении приближалась бы к вертикальной нити; далее, пользуясь винтом при трубе, наводят горизонтальную нить в тот момент, когда звезда окажется в положении, близком к соприкосновению с вертикальной нитью.

Описанные приемы наблюдений применимы к звездам, имеющим значительное суточное движение. Наблюдать Полярную проще, так как скорость ее движения мала ($15 \cos \delta = 0{,}25''$ в секунду времени), поэтому перед измерением ее зенитного расстояния трубу устанавливают предварительно так, чтобы Полярная почти касалась перекрестия нитей, и затем уже точно наводят горизонтальную нить. При этом, как и при наблюдении всех других звезд, фиксируют момент наблюдения, отсчитывают по уровню, затем по вертикальному кругу. При переходе к следующему измерению положение трубы несколько изменяют, подправляют, а именно настолько, чтобы перекрестие нитей снова оказалось почти в соприкосновении с Полярной.

Методы фиксирования моментов наблюдений. Моменты наблюдений по показаниям хронометра фиксируют с применением специальной клавиши или же без нее. В первом случае в момент наведения нити на звезду нажимают клавишу, подключенную к хронографу, тем самым замыкают или размыкают электрическую цепь, приводя этим в действие регистрирующее устройство хронографа. Во втором, взяв счет секунд с любого показания хронометра, наблюдатель, продолжая их считать по звуковым сигналам (ударам), наводит нить на звезду в момент возникновения сигнала, соответствующего какой-либо секунде; записывают в журнал наблюдений показание хронометра: показание секунд, затем минут и часов.

При переходе к наблюдениям следующей пары лимб переставляют точно на $\Delta M = 15^{\circ}$ (интервал перестановок) и записывают в журнал наблюдений для этой пары новое значение места зенита $MZ = M'Z + \Delta M$, где $M'Z$ — место зенита, которое было до настоящей перестановки. Теперь установка трубы на эфемеридное зенитное расстояние Z звезды будет на отсчете: при основном положении теодолита ${}_{о}M = MZ + Z$, при дополнительном ${}_{д}M = MZ - Z$ (см. 2.7).

4.6.4. Вычисление широты

Если наблюдения были произведены с применением клавиши, то по измерению хронографической ленты в журнал записывают моменты наблюдений звезд. По каждой звезде находят средний момент наблюдения T, а также среднее (Л + П) или m из отсчетов по уровню и среднее ${}_{о}M'$, (${}_{д}M'$) по вертикальному кругу.

Вычисляют поправки ΔM_b в отсчеты по вертикальному кругу за уровень, применяя одну из формул

$$\text{а)}\quad \Delta M_b = \left[\frac{1}{2}(\text{Л} + \text{П}) - m_0\right]\tau; \tag{4.14}$$

$$\text{б)}\quad \Delta M_b = \left[m_0 - \frac{1}{2}(\text{Л} + \text{П})\right]\tau. \tag{4.15}$$

Выбор формулы производится опытным путем.

В отсчеты по вертикальному кругу поправки за уровень вводят по формулам

$${}_{о}M = {}_{о}M' + \Delta M_b, \tag{4.16}$$

$${}_{д}M = {}_{д}M' + \Delta M_b, \tag{4.16, а}$$

где ${}_{о}M'$ и ${}_{д}M'$ — отсчеты по кругу соответственно при основном и дополнительном положениях теодолита.

С известным значением места зенита MZ вычисляют зенитные расстояния по одной из формул

$$Z' = {}_{о}M - MZ; \tag{4.17}$$

$$Z' = MZ - {}_{д}M. \tag{4.17, а}$$

С помощью таблиц АТ вычисляют поправки за истинную рефракцию ρ по формуле

$$\rho = \rho_0 \gamma B. \tag{4.18}$$

С учетом поправок за рефракцию получают Z_u — измеренные зенитные расстояния звезд, пользуясь формулой

$$Z_u = Z' + \rho. \tag{4.19}$$

По материалам приема радиосигналов времени вычисляют поправки и ход хронометра (см. 2.3), при этом долгота пункта должна быть известна с погрешностью не более $0{,}1^{s} \sec\varphi$. Из АЕ выбирают видимые экваториальные координаты звезд на средние моменты наблюдений.

Вычисляют часовые углы t звезд и по ним по приближенной широте φ_0 получают вычисленное зенитное расстояние по формуле

$$\cos Z'_b = \sin\varphi_0 \sin\delta + \cos\varphi_0 \cos\delta \cos t, \qquad (4.20)$$

где

$$t = T + u' + \omega (T - X') - \alpha,$$

u' — поправка хронометра на момент X' приема радиосигналов времени.

Приближенная широта φ_0 должна быть известна с точностью 2—3″; если она известна с меньшей точностью, то вычислением по какой-либо одной наблюденной паре в одно или в два приближения получают ее с надлежащей точностью.

В Z'_b вводится поправка ΔZ_W за зенитальное ускорение (см. 2.5.1)

$$\Delta Z_W = 5{,}454 W \frac{1}{n} \sum \left(\frac{T - T_t}{100}\right)^2,$$

где

$$W = \frac{d^2 Z}{dt^2} = m_1 + m_2 \operatorname{ctg} Z, \quad m_1 = \cos a \sin\varphi_0 \cos\varphi_0, \quad m_2 = \cos^2 a \cos^2\varphi.$$

Здесь можно принять $\cos a = \pm 1$ (знак «+» для южной звезды, знак «—» для северной. Для южного полушария Земли, где широта отрицательная, надо еще учесть отрицательный знак $\sin\varphi$); если в наблюдениях применялся средний солнечный хронометр, то в основной формуле вместо коэффициента 5,454 берется 5,484.

К приближенной широте φ_0 находят поправку $\Delta\varphi_i$ по каждой наблюденной i-й паре по формуле

$$\Delta\varphi_i = \frac{1}{2}[(Z_u - Z_b)_S - (Z_u - Z_b)_N].$$

По всей программе определения широты выводят среднее значение $\Delta\varphi$, производят оценку точности по внутренней сходимости отдельных результатов и получают широту по формуле

$$\varphi' = \varphi_0 + \Delta\varphi. \qquad (4.21)$$

При окончательных вычислениях экваториальные склонения звезд берутся с учетом влияния короткопериодической нутации; если же при окончательной обработке наблюдений использовались видимые экваториальные координаты, помещенные в десятисуточных эфемеридах АЕ, в которых короткопериодическая нутация не учтена, тогда все наблюденные пары разбивают на группы. В группу включают пары, наблюденные в интервале продолжительностью не более 4 ч. По каждой группе вычисляют поправку в широту по формуле

$$\Delta\varphi_n = g' \cos(G' + s_{ср}),$$

где $s_{ср}$ — средний момент наблюдения по местному звездному времени группы пар; g' и G' — короткопериодические редукционные величины второго рода, выбираемые из АЕ.

Отдельной групповой поправке дается вес P_n, равный числу пар в группе. Поправку $\Delta\varphi_{nut}$ в широту φ' находят в виде средней весовой по всем группам

$$\Delta\varphi_{nut} = \Sigma P_n \Delta\varphi_n / \Sigma P_n.$$

Таблица 4.13

Определение широты по измерениям близмеридианных зенитных расстояний пары звезд при одном положении теодолита

Журнал наблюдений

Дата *23/24 августа 1979 г.*
Теодолит Вильд Т 4
$\Delta M_b = (25-m)\tau$, $\tau = 2{,}30''$
$MZ = 0°0'0''$

Астроном *С. С. Власов*
Хронометр *«Альтаир» (средний, установленный по местному звездному времени)* $\omega_h = 9{,}856^s$

Положение теодолита *основное*

Звезда 560S				$t = +2{,}5°$ $b = 993{,}6$ гПа	Звезда 278 N			
T	ΔT	Л m П		$_0M$	T	ΔT	Л m П		$_0M$
$22^h46^m25^s$	$+134{,}6^s$	20,0 27,3∂	34,6	45°04′35,1″	$23^h0^m01^s$	$+138{,}1^s$	17,2 24,5∂	31,8	48°31′9,4″
				35,3					9,6
		20,3	34,9	35,20			17,2	31,8	9,50
47 21	+78,6	27,6		32,6	01 07	+72,1	24,5		12,1
				33,0					12,0
		20,6	35,2	32,80			17,1	31,7	12,05
48 18	+21,6	27,9		30,4	01 59	+19,6	24,4		12,3
				30,2					12,5
		20,3	34,9	30,30			16,8	31,4	12,40
47 07	—27,4	27,6		31,4	02 48	—28,9	24,1		13,3
				31,0					13,2
		20,8	35,4	31,20			16,4	31,0	13,25
50 01	—81,4	28,1		32,6	03 28	—68,9	23,7		12,3
				32,5					12,6
		20,4	35,0	32,55			16,2	30,8	12,45
50 45,5	—125,9	27,7		34,5	04 31	—131,9	23,5		11,0
				34,6					10,7
				34,55					10,85
$22^h48^m39{,}583^s$		27,70		45°04′32,77″	$23^h02^m19{,}083^s$		24,12		48°31′11,75″
		$\sum\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2 = 4{,}799$					$\sum\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2 = 4{,}763$		

Широта, исправленная за влияние короткопериодической нутации, вычисляется по формуле

$$\varphi = \varphi' + \Delta\varphi_{\text{nut}}. \qquad (4\ 22)$$

Если в группу входят пары, компонентами которых является Полярная, и ее видимые координаты выбирались из АЕ, в которых влияние короткопериодической нутации учтено, то вес P_n группы, равный числу пар, уменьшают на 0,5, если в группу входит только одна пара, содержащая Полярную, уменьшают на 1,0, если две такие пары и т. д.

При окончательных вычислениях измеренную широту φ приводят к центру геодезического пункта и к среднему полюсу (см. 8.1, 8.4).

В табл. 4.13—4.15 приведены журнал наблюдений и примеры на вычисление широты.

Таблица 14

Вычисление $\Delta\varphi_i$

$\varphi_0 = 69°35'30{,}00''$ Пара I

Последовательность действий	Схема	Звезда	
		560S	278N
	Дата	23/24 августа 1979 г.	
1	T	$22^h48^m39{,}583^s$	$23^h02^m19{,}083^s$
12	u	+0,292	+2,537
2	α	22 49 02,383	11 02 24,925
13	t	23 59 37,49	11 59 56,70
3	δ	24°29'42,81''	61°51'48,36''
4	$\Sigma\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2$	4,799	4,763
15	W	+0,4481	—0,2193
14	Z'_b	45°05'47,46''	48°32'41,60''
16	ΔZ_W	+1,96	—0,95
17	Z_b	45 05 49,42	48 32 40,65
5	${}_0M'$	45 04 32,77	48 31 11,75
6	i	—0,77	+0,25
7	${}_0M$	45 04 32,00	48 31 12,00
8	MZ	0	0
9	Z'	45 04 32,00	48 31 12,00
10	ρ	+58,74	1 06,10
11	Z_u	45 05 30,74	48 32 18 10
18	$Z_u - Z_b$	—18,68	—22,55
19	$(Z_u - Z_b)_S - (Z_u - Z_b)_N$	+3,87	
20	$\Delta\varphi_i$	+1,94''	

Таблица 4.15

Вычисление широты и оценка точности

Дата 1979 г.	Номер пары	Номер звезды		$\Delta\varphi_i$	v
		N	S		
23/24 августа	1	278	560	+1,94″	+0,17″
»	2	N4	14	1,03	+1,08
24/25 августа	3	N4	75	2,81	—0,70
»	4	N4	83	2,06	+0,05
»	5	N4	92	2,45	—0,34
25/26 августа	6	414	149	3,07	—0,96
»	7	N4	170	0,90	+1,21
26/27 августа	8	N4	14	3,10	—0,99
»	9	N4	75	2,32	—0,21
»	10	N4	83	1,10	+1,01
27/28 августа	11	278	560	3,05	—0,94
»	12	N4	14	1,52	+0,59

$$\Delta\varphi = +2{,}11''$$

$$\Sigma v^2 = 7{,}465$$

$$\varphi = 69°35'30{,}00'' + 2{,}11'' = 69°35'32{,}11'',$$

$$m_\varphi = \sqrt{\frac{7{,}465}{12-1}} = 0{,}82'', \qquad M_\varphi = \frac{0{,}82''}{\sqrt{12}} = 0{,}24''$$

4.6.5. Выбор формулы уровня, служащей для вычисления поправки в отсчет по вертикальному лимбу

Формулами для введения поправок ΔM_b за уровень в отсчеты по вертикальному лимбу служат следующие:

$$_0M = {}_0M' + \Delta M_b, \quad {}_д M = {}_д M' + \Delta M_b.$$

Для конкретного теодолита формулой для вычисления поправки может служить одна из двух (общая для обоих положений теодолита)

$$\text{а)}\ \Delta M_b = (m - m_0)\,\tau \quad \text{или} \quad \text{б)}\ \Delta M_b = (m_0 - m)\,\tau,$$

где m_0 — номер деления, расположенного на середине рабочей части шкалы уровня; m — отсчет по уровню (в делениях); τ — цена одного уровня деления шкалы уровня.

При применении жидкостного уровня отсчет производится по обоим концам пузырька (по левому — Л, по правому — П), поэтому $m = {}^1/_2(\text{Л} + \text{П})$.

Выбор формулы производится опытным путем. Для этого устанавливают теодолит так, чтобы один из подъемных винтов был расположен в вертикале земного предмета. Выполнив горизонтирование теодолита, наводят горизонтальную нить сетки на земной предмет; при этом показание уровня должно быть около m_0; отсчитывают по вертикальному кругу (отсчет M_1). Затем подъемным винтом, расположенным в вертикале земного предмета, наклоняют теодолит, после чего при помощи наводящего винта трубы наводят горизонтальную нить сетки на предмет, отсчитывают по вертикальному кругу (отсчет M_2) Из формул выбирают ту, знак числового значения поправки ΔM_b, по которой будет соответствовать знаку разности $(M_1 - M_2)$. Иначе говоря, поправка ΔM_b за уровень должна быть равна разности отсчетов M_1—M_2 вертикального круга, т. е.

$$M_1 = M_2 + (M_1 - M_2); \quad M_1 = M_2 + i.$$

Поскольку формула уровня при алидаде вертикального круга одинакова для обоих положений теодолита, достаточно определить ее для какого-либо одного положения. Пример определения формулы приведен в табл. 4.16.

Таблица 4.16

Определение формул уровней при алидаде вертикального круга

Теодолит Вильд Т4 Круг право

Уровень жидкостный

$\tau = 1{,}803''$ $m_0 = 15{,}0$

Отсчеты по вертикальному кругу M	Отсчеты по уровню в делениях		
	Л	П	(Л+П)/2
30°05′10,80″	10,1	19,9	15,0
30 05 14,40	12,1	21,9	17,0

$M_1 = M_2 + (M_1 - M_2) = M_2 + \Delta M_b$, т. е $M_b < 0$

Формула уровня $\Delta M_b = \tau[m_0 - (Л+П)/2]$

47. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРОТЫ ПО МНОГОКРАТНЫМ ЗЕНИТАЛЬНЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ ПАРЫ ЯРКИХ ЗВЕЗД ВБЛИЗИ МЕРИДИАНА

4.7.1. Подготовка к наблюдениям

При применении этого способа на пункте необходимо отнаблюдать четыре пары при четырехкратном измерении широты по каждой паре. При этом допустимо наблюдать пары с разностью моментов кульминации звезд до 40^m и с разностью зенитных расстояний до 12°. Зенитные расстояния звезд должны быть в пределах 15—50°, среднее зенитное расстояние пар

по всей программе определения широты должно быть не более 45°, средняя разность зенитных расстояний пар не более 6°.

При методе многократного измерения широты можно наблюдать такие пары, звезды которых кульминируют одновременно или почти одновременно.

Для этого способа эфемериды составляют как указано в предыдущем разделе (см. 4. 6. 2.). Начало наблюдений пары по местному звездному времени вычисляют по формуле

$$s_{\text{нач}} = s_Q - (s_Q - s_l)\frac{v_P}{v_P + v_Q} - (n - 0{,}5)\,\Delta T, \qquad (4.23)$$

где ΔT — выбранный предварительно интервал между средними моментами как при переходе ко второй звезде внутри пары, так и при переходе к следующей паре. Обычно ΔT выбирается в пределах 5—7^{m}; n — число измерений широты. В нашем случае $n=4$, s_P и s_Q — моменты кульминаций соответственно экваториальной и полюсной звезд.

Первой звездой для наблюдений выбирают полюсную звезду, последующие моменты наблюдений вычисляют по схеме:

1) $s_1 = s_{\text{нач}}$; 2) $s_2 = s_{\text{нач}} + \Delta T$;

4) $s_4 = s_{\text{нач}} + 3\Delta T$; 3) $s_3 = s_{\text{нач}} + 2\Delta T$;

5) $s_5 = s_{\text{нач}} + 4\Delta T$; 6) $s_6 = s_{\text{нач}} + 5\Delta T$;

8) $s_8 = s_{\text{нач}} + 7\Delta T$; 7) $s_7 = s_{\text{нач}} + 6\Delta T$.

В этой схеме звезды симметричны относительно первого вертикала, что обеспечивает выгоднейшие условия наблюдений, исключает влияние систематического изменения нуль-пункта уровня и т. п.

Для того чтобы заранее найти звезду и не нарушить в среднем из всех наблюдений симметрии, необходимо осуществить первую установку трубы теодолита на 2—3^{m} раньше момента $s_{\text{нач}}$, т. е. взять в эфемериде, например $s_1' = s_{\text{нач}} - 3^{\text{m}}$, а при измерениях средний момент наблюдения отдельной звезды должен приблизительно совпадать с моментом, получаемым по схеме. Если эфемерида составляется для двукратного измерения широты, например для случая повторных наблюдений на какой-либо установке лимба, тогда $s_{\text{нач}}$ вычисляют с $n=2$ и ограничиваются моментами от s_1 до s_4. Это будет равносильно тому, что в эфемериде, составленной для четырехкратного определения широты, использовать данные лишь для моментов $s_3 - s_6$. Иначе говоря, эфемерида для четырехкратного определения пригодна и для двукратного; в последнем случае наблюдения надо начинать с другой звезды, а именно с момента $s_3 = s_{\text{нач}} + 2\Delta T$.

Для промежутков времени $|s_i - s| = \Delta s_i$. где s_i — эфемеридный момент; s — момент кульминации звезд, вычисляются приращения

$$\Delta a_i^{(1)} = v_a \Delta s_i^{(m)}; \quad \Delta Z_i^{(1)} = 0{,}131 \cos\varphi \Delta a_i^{(0)} \Delta s_i^{(m)},$$

и с ними находят a_i, Z_i, применяя формулы приведенные в табл. 2.7.

Многократные измерения широты возможны только при положении полюсной звезды вблизи нижней кульминации (за исключением Полярной). Момент $s_{нач}$ для составления эфемериды пары, в которую входит наряду с южной звездой, кульминирующей в момент $s_S = \alpha_S$, Полярная, наблюдаемая в любом азимуте, определяется по формуле

$$s_{нач} = s_S - (n - 0{,}5)\,\Delta T \pm \left|\frac{a_N}{v_S}\right|. \qquad (4.23, a)$$

Составляют эфемериду такой пары, начиная с Полярной, по указанной выше схеме.

Эфемериды для четырехкратного измерения широты приведены в табл 4.17 (звезды 101 и 367) и в табл. 4.18 (звезды 75 и Полярная).

Координаты Z и a Полярной выбираются из «Таблиц высот и азимутов Полярной» АЕ СССР (см. 4.6.1). В формуле для

Таблица 4.17

Эфемерида пары звезд для четырехкратного измерения широты.

Пункт $\varphi = 70°0'$ $\Delta T = 7^m$, $s_{нач} = 3^h23^m$, $s_1' = 3^h20^m$

Звезда 101 S—3,0^m				Звезда 367 N — 3,1^m			
$s_S = 3^h56^m$, $v_S = 23{,}0'$				$s_N = 3^h21^m$, $v_N = 7{,}5$			
Порядок наблюдений	s_1'	Z	a	Порядок наблюдений	s_1'	Z	a
2	3^h27^m	30°17′	—11°07′	1	3^h20^m	38°06′	179°52′
					3 21	кульминация	
3	3 34	30 11	—8 26	4	3 41	38 04	182 30
6	3 55	30 03	—0 23	5	3 48	38 01	183 22
	3 56	кульминация					
7	4 02	30 04	+2 18	8	4 09	37 48	186 00

Таблица 4.18

Эфемерида пары, содержащей Полярную, для четырехкратного измерения широты

Пункт $\varphi = 70°0'$ $\Delta T = 7^m$, $s_{нач} = 2^h39^m$, $s'_1 = 2^h36^m$

Звезда 75S — 3,1^m				Звезда 4N — 2,1^m Полярная			
$s_S = 3^h03^m$, $Z = 16°34'$, $v_S = 31{,}3'$							
Порядок наблюдений	s'_1	Z	a	Порядок наблюдений	s'	Z	a
2	2^h43^m	16°43′	—10°26′	1	2^h36^m	19°10′	179°43′
3	2 50	16 38	—6 47	4	2 57	19 11	179 30
	3 03	кульминация					
6	3 11	16 35	+2 39	5	3 04	19 12	179 25
7	3 18	16 39	+7 50	8	3 25	19 13	179 12

$s_{нач}$ величины a_N (табличный азимут Полярной) и v_a (скорость изменения азимута южной звезды) выражают в градусах, последний член выражается в минутах времени, ему придается знак «плюс», если азимут Полярной «западный», и, знак «минус», если азимут «восточный». При $a_N \leqslant 3°$ этот член можно не учитывать.

Теодолит и приборы подготавливают к наблюдениям так же, как и к определениям способом однократного измерения по паре звезд (см. 4.6.1).

4.7.2. Методика наблюдений

Подготовив теодолит к наблюдениям и приняв радиосигналы времени, устанавливают трубу для наблюдений первой (полюсной) звезды по координатам, соответствующим эфемеридному моменту 1 (см. табл. 4. 18). Вблизи этого момента производят четыре измерения зенитных расстояний звезды. Каждое измерение, как и в способе однократного измерения широты, состоит в том, что наблюдатель тщательно наводит горизонтальную нить на звезду, фиксирует момент наведения по показанию хронометра, отсчитывает по уровню, по вертикальному лимбу, по термометру и по барометру (см. 4. 6. 2). Все четыре измерения выполняют при одном и том же положении теодолита (основном или дополнительном). Далее при том же положении теодолита устанавливают трубу по координатам второй звезды (экваториальной) для наблюдений вблизи эфемеридного момента 2 (см. табл. 4. 18). Производят четыре измерения зенитных расстояний этой звезды, как и предыдущей. На этом заканчивается первое измерение широты. Второе измерение широты выполняют в том же объеме при том же положении теодолита, сначала продолжив наблюдения второй (экватори-

альной) звезды, затем полюсной. Выполнив, таким образом, два измерения широты, лимб переставляют ровно на 20°, записывают в журнал новое значение места зенита, изменяют положение теодолита и выполняют еще два измерения широты согласно порядку, предусмотренному в эфемериде. При переходе к наблюдениям следующей пары вертикальный лимб переставляют на 25°.

Таким образом, в каждом измерении широты наблюдения обеих звезд производят при одном и том же положении теодолита (основном или дополнительном); из четырех измерений широты по отдельной паре два измерения выполняются при основном и два при дополнительном положении теодолита. В результате по всей программе, включающей четыре пары, получаются 16 измеренных значений широты пункта.

Результаты наблюдений записывают в журнал (табл. 4.19).

4.7.3. Вычисление широты

Обработку наблюдений производят по тому же плану, что и в определениях способом однократного определения широты по паре звезд (см. 4. 6. 3), но по формулам более полным, обеспечивающим надлежащую точность вычислений широты по результатам наблюдений звезд в их значительном удалении от меридиана.

В журнале наблюдений вычисляют по каждой звезде из четырех измерений зенитных расстояний: средний момент наблюдения T, среднее из отсчетов по вертикальному лимбу ${}_{\text{о}}M'$ (${}_{\text{д}}M'$) и по уровню (Л + П); по отклонениям $T - T_i = \Delta T_i$, затем $\Sigma \left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2$ и выбирают из АЕ видимые экваториальные координаты α, δ. Вычисляют поправку i за наклон и вводят ее в отсчеi по вертикальному кругу по одной из формул

$$ {}_{\text{о}}M = {}_{\text{о}}M' + \Delta M_b; \quad {}_{\text{д}}M = {}_{\text{д}}M' + \Delta M_b. $$

С известным значением места зенита MZ вычисляют зенитное расстояние по формуле $Z' = {}_{\text{о}}M - MZ$ или $Z' = MZ - {}_{\text{д}}M$.

Пользуясь таблицей рефракции (АТ), вычисляют истинную рефракцию по формуле $\rho = \rho_0 \gamma B$, затем находят измереннсе зенитное расстояние

$$ Z_u = Z' + \rho. \qquad (4.24) $$

По материалам приема радиосигналов времени вычисляют поправки и ход хронометра (см. 2.3), при этом долгота пункта должна быть известна с точностью $\pm 0{,}1^{\text{s}} \sec \varphi_0$ для полевых вычислений и $\pm 0{,}03^{\text{s}} \sec \varphi_0$ для окончательных вычислений

Получают поправку хронометра $u = u' + (T - X')$ на средний момент наблюдения T звезды. Определяют часовой угол звезды

Таблица 4.19

Способ определения широты по многократным зенитальным наблюдениям пары ярких звезд вблизи меридиана

Журнал наблюдений

Дата *7/8 сентября 1979 г* Теодолит Вильд Т4
Хронометр «*Альтаир*» *№ 01050573, средний*
Положение теодолита *основное* MZ = 20°0′10″

$$\Delta z_в = [30 - (Л + П)]\frac{\tau}{2}$$

Звезда 278N 2,0^m **Температура** — 2,8° Звезда 565S 2,1—3,0^m
Давление 986,6 гПа

Хронометр	ΔT_t	Уровень	Вертикальный лимб	Хронометр	ΔT_t	Уровень	Вертикальный лимб
$23^h12^m37^s$	+43,25^s	3,1—26,9	68°30′29,7″ 30,0 29,85	$23^h15^m58^s$	+50,00^s	3,3—27,2	61°39′32,8″ 32,6 32,7
13 07	+13,25	3,2—27,0	30 26,0 26,1 26,05	16 35	+13,00	3,2—27,1	39 49,4 49,0 49,20
13 34	—13,75	3,2—27,1	30 21,7 21,4 21,55	17 04	—16,00	3,2—27,1	40 6,0 6,5 6,25
14 03	—42,75	3,3—27,2	30 14,7 14,9 14,80	17 35	—47,00	3,1—27,0	40 18,8 19,2 19,00
$23^h13^m20,25^s$		3,20—27,05 30,25	68°30′23,06″	$23^h16^m48,00^s$		3,20—27,10 30,30	61°39′56,79″

Интерполяционный множитель 0,603
$\alpha_N = 11^h02^m24,98^s$
$\delta_N = 61°51′43,80″$
$\Sigma\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2_N = 0,4063$

Интерполяционный множитель 0,553
$\alpha_S = 23^h02^m48,53^s$
$\delta_S = 27°58′26,83$
$\Sigma\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2_S = 0,5134$

$t = T + u - \alpha$. По часовому углу и по приближенной широте φ_0 вычисляют зенитное расстояние

$$\cos Z'_b = \sin \varphi_0 \sin \delta + \cos \varphi_0 \cos \delta \cos t.$$

Приближенная широта должна быть известна с точностью 2—3″. Вычисляют поправку Δz_W за зенитальное ускорение звезды (см. 2.5.1).

Таблица 4.20

Вычисление $\Delta\varphi_t$

$\varphi_0 = 69°35'30,00''$ $u' = +1^m39,892^s$ в $X' = 22^h23^m00^s$

$\omega_h = +9,856^s$

Последовательность действий	Схема	Звезда 278N	Звезда 565S
	Дата	7/8 сентября 1979 г.	
	Измерение		
1	T	$23^h13^m20,25^s$	$23^h16^m48,00^s$
15	u	+1 48,16	+1 48,73
2	α	11 02 24,98	23 02 48,20
16	t	12 12 43,43	0 15 48,53
3	δ	61°51'43,80″	27°58'26,83″
4	$\Sigma\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2$	0,4063	0,5134
5	a	182,001°	5,243°
18	W	—0,2192	+0,4609
17	$Z'_в$	48°31'36,42″	41°40'50,30″
19	ΔZ_W	—0,12	+0,32
20	$Z_в$	48 31 36,30	41 40 50,62
6	${}_0M'$	68 30 23,06	61 39 56,79
7	$\Delta Z_в$	—0,22	—0,27
8	${}_0M$	68 30 22,84	61 39 56,52
9	MZ	20 00 10	20 00 10
10	Z'	48 30 12,84	41 39 46,52
13	ρ	+1 6,89	+52,67
14	Z_u	48 31 19,73	41 40 39,19
21	$Z_u - Z_в$	—16,57	—11,43
22	$(Z_u - Z_в)_S - (Z_u - Z_в)_N$	+5,14	
23	$\cos a$	0,9994	0,9958
24	$\cos a_S - \cos a_N$	1,9952	
25	$\Delta\varphi_t$	+2,58″	

11. $Z'_N = 48°30,2'$ | $\rho_0 = 65,58''$ | $\rho_N = 66,89$

$\gamma = 1,0475$
$B = 0,9737$
$\gamma B = 1,0200$

12 $Z'_S = 41°39,8'$ | $\rho_0 = 51,64''$ | $\rho_S = 52,67$

$$\Delta Z_W = KW\frac{1}{n}\Sigma\left(\frac{\Delta T}{100}\right)^2,$$

где $W = m_1 + m_2 \operatorname{ctg} Z$, $m_1 = \cos a \sin\varphi_0 \cos\varphi_0$, $m_2 = \cos^2 a \cos^2\varphi_0$,

$K = 5{,}454$, если хронометр звездный,

$K = 5{,}484$, » » средний.

Получают вычисленное зенитное расстояние

$$Z_в = Z'_в + \Delta Z_в.$$

К приближенной широте φ_0 вычисляют поправку по формуле

$$\Delta\varphi_i = \frac{(Z_u - Z_в)_S - (Z_u - Z_в)_N}{\cos a_S - \cos a_N}.$$

По всей программе определения широты находят вероятнейшее значение $\Delta\varphi$ как простое среднее, получают широту $\varphi' = \varphi_0 + \Delta\varphi$ и производят оценку точности (табл. 4.21).

Таблица 4.21

Вычисление широты и оценка точности

Дата 1979 г.	Номер измерения	Номер звезды N	Номер звезды S	$z_S - z_N$	$\Delta\varphi_i$	v_i
7/8 сентября	1	278	565	−6,8°	+1,78″	+0,43″
	2				+3,21	−1,00
	3				+2,58	−0,37
	4				+2,93	−0,72
17/18 сентября	5	N4	518	+11,5	+1,31	+0,90
	6				+1,29	+0,92
	7				+2,31	−0,10
	8				+2,17	+0,04
То же	9	N4	544	−8,3	+1,90	+0,31
	10				+1,80	+0,41
	11				+2,20	+0,01
	12				+2,59	−0,38
»	13	278	565	−6,8	+2,70	−0,49
	14				+2,62	−0,41
	15				+1,55	+0,66
	16				+2,45	−0,24
	$n = 16$	Среднее		−2,6°	+2,21″	

$$\varphi' = \varphi_0 + \Delta\varphi = 69°35'30{,}00'' + 2{,}21'' = 69°35'32{,}21'';$$

$$m_\varphi = \sqrt{\frac{\Sigma v^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{4{,}82}{16-1}} = 0{,}57'';$$

$$M_\varphi = \frac{m_\varphi}{\sqrt{n}} = \frac{0{,}57''}{\sqrt{16}} = 0{,}14\,.$$

Если при окончательной обработке наблюдений использовались для вычислений $Z'_в$ экваториальные координаты α, δ звезд, в которых не учтено влияние короткопериодической нутации, то вычисляют поправку $\Delta\varphi_{nut}$, так же как в 4.6.3.

Широту φ приводят к центру геодезического знака и к среднему полюсу (см. 8.1, 8.4).

В табл. 4.19—4.22 приведены: журнал наблюдений, вычисление одного значения $\Delta\varphi_i$, вычисление $\Delta\varphi(\varphi')$ из 16 измерений и вычисление $\Delta\varphi_{nut}$.

Таблица 4.22

Вычисление поправки за влияние короткопериодической нутации

Дата 1979 г.	7/8 сентября	17/18 сентября
Интерполяционный множитель	0,53	0,46
$s_{ср}$	$23{,}2^h$	$22{,}1^h$
G'	18,9	0,7
$G' + s_{ср}$	18,1	22,8
g'	0,080″	0,076″
$\Delta\varphi_n$	0,00	+0,07
P_n	4	8

$$\Delta\varphi_{nut} = \frac{\Sigma P_n \Delta\varphi_n}{\Sigma P_n} = \frac{+0{,}56}{12} = +0{,}05''$$

$$\varphi = \varphi' + \Delta\varphi_{nut} = 69°35'32{,}21'' + 0{,}05'' = 69°35'32{,}26''.$$

5. СПОСОБ СОВМЕСТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ ПО РАЗНОСТЯМ ИЗМЕРЕННЫХ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ПАР ЗВЕЗД В ОДНОМ АЛЬМУКАНТАРАТЕ

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Для совместного определения широты и долготы необходимо отнаблюдать на пункте 72 пары звезд. Разность азимутов звезд в паре Δa должна заключаться в пределах 90—270°. Зенитные расстояния пар звезд должны находиться в пределах 10—45°. Азимуты пар (т.е. азимуты биссектрис углов, меньших 180°, образованных направлениями на первую и вторую звезду пары) в программе должны по возможности равномерно располагаться по окружности. В каждом из четырех квадрантов окружности должно содержаться не менее 12 и не более 24 пар.

Как частный случай, примерно половина пар может быть наблюдена вблизи плоскости одного вертикала (например, меридиана), вторая половина вблизи плоскости второго вертикала, перпендикулярного к первому (например, первому вертикалу).

Блеск звезд ограничивается условиями наблюдений и возможностями используемого теодолита.

Измерения производят между приемами радиосигналов времени, интервал между которыми составляет 2 ч для механического хронометра. Для кварцевого хронометра достаточно принять сигналы до и после наблюдений в данный вечер.

Наблюдения программы распределяют на три вечера.

Измерения выполняют при одном положении круга. Через каждые четыре пары горизонтальный круг переставляют на 10°.

5.2. СОСТАВЛЕНИЕ ЭФЕМЕРИД

Для составления эфемерид приближенная широта должна быть известна с точностью 1′, для окончательной обработки 2″, а долгота с погрешностью, не превышающей $0{,}2^s$. Если координаты известны с меньшей точностью, то перед началом окончательной обработки программы предварительно вычисляют φ и λ по двум парам из программы (средние азимуты этих пар должны отличаться примерно на 90°).

Подбор пар для определяемого пункта осуществляют по эфемеридам пар ярких звезд для совместного определения широты и долготы, которые могут быть составлены с помощью ЭВМ.

Зенитные расстояния пар, азимуты звезд, средние моменты наблюдений пар и параллактические углы звезд линейно ин-

терполируют из эфемерид на широту места наблюдения (табл. 5.1). Первую звезду пары наблюдают за 2 мин до эфемеридного момента, вторую через 2 мин после эфемеридного момента.

Таблица 5.1

Эфемериды для совместного определения φ и λ

Звезды					21(2,2^m)			295 (2,5^m)		
φ_0	s	Интервал	Z	Разность	a	Разность	q	a	Разность	q
60°	6^{h}38,8^m	0,9^m	39°47′	33′	309°36′	49′	51°7′	63° 8′	71′	49°2′
61	6 39,7	1,0	39 14	31	308 47	53	50,3	64 29	79	47,8
62	6 40,7		38 43		307 54		49,0	65 48		46,5
.										
.										
.										
79	7 23,7	7,1	32 46	8	295 12	6	20,6	99 00	204	18,6
80	7 30,8		32 38		295 18		18,7	102 24		16,7
.										
.										
.										

При выборе пар следует отдавать предпочтение парам с меньшими зенитными расстояниями и разностью азимутов звезд в паре, близкой к 180°.

В первую очередь из эфемерид выбирают пары, средний азимут которых близок к 90 или 270°, поскольку таких пар в силу законов суточного движения светил значительно меньше. Промежутки заполняют парами, азимуты которых близки к 0 или 180°.

Если эпоха наблюдений отличается от эфемеридной более чем на 5 лет, то пользоваться эфемеридами без перевычисления азимутов звезд не следует, поскольку это ведет к неполному исключению некоторых погрешностей. В таких случаях до выезда в поле, зная приближенные широты пунктов, на которых предполагается произвести наблюдения, и интервал звездного времени, перевычисляют азимуты звезд нужных пар по формулам, помещенным в начале эфемерид.

Перед наблюдениями целесообразно составить заранее список пар, пригодных к наблюдениям на данном пункте с указанием среднего азимута пары и квадранта. Последнее необходимо для контроля равномерности распределения средних азимутов пар по окружности. Пример подобного списка для $\varphi = 69°36'$ приведен в табл. 5.2.

Приведенные в эфемеридах параллактические углы необходимы для того, чтобы пропускать изображения звезд через

Таблица 5.2

Список пар звезд для совместного определения λ и φ

$\varphi_0 = 69°36'$

s	Z	a_1	q_1	$N_{Зв_1}$	m_1	a_2	q_2	$N_{Зв_2}$	m_2	a	Квадрант
18 10,2	34 08	131 51	20	497	2,3	282,54	36	325	2,4	27 22	1 (3)
18 25,0	39 55	59 18	33	14	2,5	316 46	30	278	1,9	8 02	1

определенную точку подвижной нити, так называемую «точку встречи».

При отсутствии круговой позиционной шкалы (АУ 2/10, Т4) для каждой звезды рассчитывают «точку встречи» K (рис. 5.1) — точку пересечения подвижной нити с одной из горизонтальных нитей сетки, удаленной от средней горизонтальной нити на расстояние 1,5—2 оборотов винта. Зная расстояние h выбранной горизонтальной нити от средней, угол q и цену оборота R, по формуле

$$d = \frac{h'' \operatorname{ctg} q}{R''} \qquad (5.1)$$

находят величину d (в оборотах винта), на которую надо сместить подвижную нить микрометра от нуль-пункта (при этом средний опознавательный контакт должен быть совмещен с началом оборота с точностью 5 делений). Отсчет $M_г$ по микрометру в зависимости от конструктивных особенностей прибора (движение звезд в поле зрения слева направо или наоборот) вычисляют по формуле

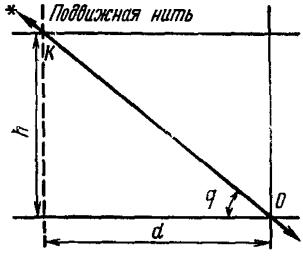


Рис. 5.1. Расчет «точки встречи» нити микрометра с изображением звезды

$$M_г = 10 \pm d \qquad (5.2)$$

и вносят в список пар (табл. 5.2).

При наличии позиционной шкалы поступают так, как указано в 10.15.

5.3. ПОРЯДОК ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ

Исследования и поверки теодолита выполняются в соответствии с 11.24.

За 5—6 мин до эфемеридного момента наблюдения пары устанавливают трубу теодолита по эфемеридам. Для приборов, не имеющих круговой позиционной шкалы, подвижную нить микрометра устанавливают на отсчет M (в точку встречи). Для теодолитов, имеющих круговую позиционную шкалу, отводят нить микрометра на 1,5 оборота навстречу звезде.

При появлении звезды в поле зрения плавно, не допуская резких движений, перемещают с помощью наводящего винта

верхнюю часть теодолита по азимуту (если в этом есть необходимость) для того, чтобы пропустить изображение звезды через нужное деление круговой шкалы. Отсчитывают горизонтальный круг (только для теодолитов с круговой позиционной шкалой).

Когда звезда достаточно приблизится к подвижной нити (или точке встречи), отсчитывают по шкале уровня. Накладной уровень после отсчитывания перекладывают.

Если теодолит не имеет круговой шкалы, пропускают изображение звезды через «точку встречи», пользуясь наводящим азимутальным винтом. Включают хронограф и визируют звезду подвижной нитью на протяжении трех центральных оборотов винта. Вторично отсчитывают по шкале уровня.

Вторично, а для теодолитов, не имеющих круговой шкалы, в первый раз, отсчитывают горизонтальный круг.

Аккуратно устанавливают теодолит по эфемеридному азимуту второй звезды. Подвижную нить микрометра возвращают назад и устанавливают либо в точку встречи, либо за 1,5 оборота от нуль-пункта навстречу звезде.

Наблюдают вторую звезду так же, как и первую. На этом *наблюдения пары заканчиваются.*

Все необходимые записи фиксируют в журнале установленной формы (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Журнал совместного определения широты и долготы по разностям измеренных горизонтальных направлений пар звезд в одном альмукантарате

Дата *13/14 сентября 1979 г.* $\tau = 1{,}682''$
Теодолит *АУ 2/10*
Хронометр *Средний «Альтаир» № 01 050 573*
$\varphi_0 = 69°35'32{,}50''$ КП $Z = 33°09'$
$\lambda_0 = 11^h20^m47{,}000^s$

Звезда 333 (1,9) $u_0 + \Delta u_\omega = +1^m27{,}162^s$			Звезда 506 (1,3) $u_0 + \Delta u_\omega = +1^m28{,}093^s$		
7,8—27,0	$b = +2{,}40$		6,6—25,8	$\Delta l_b = +3{,}09$	
7,8—27,0 34,80			6,6—25,8 32,40		
T	M		T	M	
$17^h31^m01{,}06^s$	262°27′		$17^h36^m42{,}66^s$	113°04′	
03,30	34,0	33,9	44,93	30,0	30,2
05,72	33,3	34,2	46,86	30.2	30,0
08,31	37,20		49,09	30,20	
10,70	34,3	33,9	51,10	30,2	30,2
12,78	34,0	34,0	53,27	30,3	30,4
15,12	38,10		55,34	30,55	
17,53			57,44		
20,00			59,31		
17 31 22,42			17 37 01,58		
17 31 11,691	262 27 37,65		17 36 52,158	113 04 30,38	

5.4 ПОРЯДОК ВЫЧИСЛЕНИЙ И ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ

С хронографической ленты считывают и записывают в журнал по 10 моментов прохождений звезд, симметричных относительно нуль-пункта микрометра и одноименных для первой и второй звезд пары. Вычисляют средние моменты наблюдения первой и второй звезд. Вычисляют поправку за наклон горизонтальной оси.

Для накладного уровня поправку за наклон вычисляют отдельно для каждой звезды

$$\Delta M_b = b\,\frac{\tau}{4}\operatorname{ctg} Z;\quad b = (\text{Л} + \text{П})_0 - {}_0(\text{Л} + \text{П})$$

и исправляют отсчет горизонтального круга

$$M = M' + \Delta M_b.$$

Для алидадного жидкостного уровня поправку вычисляют для пары

$$\Delta l_b = b\,\frac{\tau}{2}\operatorname{ctg} Z;\; b = \pm[(\text{Л} + \text{П})_1 - (\text{Л} + \text{П})_2].$$

В последней формуле индексы 1 и 2 относятся к первой и второй звездам пары. Знак «+» для наблюдателя, стоящего лицом к звезде, берется в том случае, если 0 уровня находится справа, «−», если слева.

В случае применения алидадных уровней поправку за наклон вводят непосредственно в свободный член уравнения поправок l. В соответствии с 2.3 вычисляют поправку хронометра $u_0+\Delta u$ для среднего момента наблюдения звезды.

Из AE или FK4 выбирают видимые координаты звезд α и β. Исправляют координаты поправками за короткопериодические члены нутации. Вычисляют часовой угол звезды t_0. По формуле

$$a'_0 = \operatorname{arcctg}(\sin\varphi_0 \operatorname{ctg} t_0 - \cos\varphi_0 \operatorname{tg}\delta \operatorname{cosec} t_0) \qquad (5.3)$$

вычисляют азимут звезды.

По каждой паре звезд составляют уравнение поправок вида

$$b_i x + c_i y + l_i = v_i \qquad (5.4)$$

с весом $p_i = \sin^2 Z/2$,

где

$$b_i = \operatorname{ctg} Z_i\,(\sin a'_{0_2} - \sin a'_{0_1}),$$

$$c_i = \operatorname{ctg} Z_i\,(\cos a_{0_2} - \cos a'_{0_1}),$$

$$l_i = (a'_{0_2} - M'_2) - (a'_{0_1} - M_1) + \Delta l_b + \Delta l_{\beta i}.$$

Для накладного уровня поправка ΔM_b вводится в отсчеты круга M' и в последней формуле Δl_b будет отсутствовать.

Поправку за суточную аберрацию Δl_β находят по формуле

$$\Delta l_\beta = -0{,}32'' \cos\varphi_0 \sec Z_i c_i, \qquad (5.5)$$

где c_i определяют по формуле (5.4).

Решая систему n уравнений по методу наименьших квадратов находят вероятнейшие значения условных составляющих уклонения отвесной линии x и y. Вычисляют широту и долготу пункта

$$\varphi = \varphi_0 + x; \quad \lambda = \lambda_0 + \frac{1}{15} y \sec \varphi_0.$$

Оценку точности производят в соответствии с известными формулами по методу наименьших квадратов.

Исправляют найденные значения широты и долготы поправками за приведение к центру знака, к среднему полюсу. В долготу, кроме того, вводят поправку за лично-инструментальную разность. Пример обработки приведен в табл. 5.4—5.7.

Таблица 5.4

Вычисление свободных членов уравнений поправок

Номер действия	Схема	Вычисления	
1	Дата	13/14 сентября 1979 г	
2	Номер измерения	1	
3	Номер звезды	333	506
9	Интерполяционный множитель	0,168	0,141
11	δ	49°25′11,04″	45°12′44,87″
4	T	$17^h31^m11{,}694^s$	$17^h36^m52{,}158^s$
8	$u + \Delta u_\omega$	+1 27, 162	+1 28,093
10	α	13 46 42,053	20 40 45,766
12	t_0	3 45 56,803	20 57 34,485
13	a_0'	262 27 35,35	113 04 22,58
5	M'	262 27 37,65	113 04 30,38
14	$a_0' - M'$	— 2,30	— 7,80
15	$(a_0' - M)_2 - (a_0' - M)_1$	— 5,50	
6	Δl_b	+ 3,09	
18	Δl_β	— 0,05	
19	i	— 2,46	
7	ctg Z	1,531	
16	b	+ 2,926	
17	c	+ 0,398	

Таблица 5.5

Уравнения поправок

Номер наблюдения	Номер пары	Z	p	b	c	l
1	165	32 30	0,144	—2,306	—1,116	+1,49
2	171	33 09	0,150	+2,926	+0,398	—2,45
3	183	39 55	0,206	—1,840	—0,260	—0,59
.						
.						
.						
70	214	41 30	0,220	—0,005	—2,155	+3,31
71	216	31 38	0,138	+0,003	+3,047	+1,29
72	226	32 0.	0,141	—2,130	+2,110	+1,23
$n = 72$						

Таблица 5.6

Решение нормальных уравнений

	$b]$	$c]$	$l]$
$[pb$	$+49{,}878$	$+0{,}272$	$+1{,}169$
$[pc$	$+0{,}272$	$+42{,}353$	$-2{,}227$
$[pl$	$+1{,}169$	$-2{,}227$	$+17{,}426$

$$\Delta = 2112{,}41 \quad \Delta_x = -50{,}12 \quad \Delta_y = 111{,}40$$

$$x = \frac{\Delta_x}{\Delta} = -0{,}02, \quad y = \frac{\Delta_y}{\Delta} = +0{,}05'',$$

$$p_x = \frac{\Delta}{\Delta_{11}} = \frac{2112{,}41}{42{,}353} = 49{,}88, \quad p_y = \frac{\Delta}{\Delta_{22}} = \frac{2112{,}41}{49{,}878} = 42{,}35,$$

$$\varphi' = 69°35'32{,}50'' - 0{,}02'' = 69°35'32{,}48'',$$

$$\lambda' = 11^h20^m47{,}000^s \pm \frac{y}{15} \sec\varphi = 11^h20^m47{,}010^s,$$

$$[pv^2] = [pll] + [pbl]_x + [pcl]_y = 47{,}2,$$

$$\mu = \sqrt{\frac{[pv^2]}{n-2}} = \sqrt{\frac{47{,}29}{70}} = 0{,}82'',$$

$$m_\varphi = m_x = \frac{\mu}{\sqrt{p_x}} = 0{,}12'', \qquad m_y = \frac{\mu}{\sqrt{p_y}} = 0{,}13'',$$

$$m_\lambda = \frac{1}{15} m_y \sec\varphi = 0{,}025^s$$

Таблица 5.7

Вычисление окончательных значений φ и λ

φ'	$69°35'32{,}48''$	λ'	11^h20^m	$47{,}010^s$
$\Delta\varphi_c$	$0\ 00''$	$\Delta\lambda_c$		$0{,}000$
$\Delta\varphi_p$	$+0{,}03$	$\Delta\lambda_p$		$+0{,}007$
φ	$69°35'32{,}51''$	ЛИР	$+$	$0{,}017$
		λ	11^h20^m	$47{,}034^s$

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА

6.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Визуальные определения азимута выполняют по многократным наблюдениям ярких звезд вблизи меридиана; по наблюдению звезд в меридиане или по часовому углу Полярной.

Первые два способа, которые применимы практически в любой точке земного шара, позволяют определять как геодезический, так и астрономический азимут направления. Кроме полевых азимутальных измерений они включают в себя определение азимутальной лично-инструментальной разности на основных долготных пунктах в объеме и порядке, приведенных в 6.5.

Способ определения азимута по часовому углу Полярной пригоден к применению лишь в северном полушарии, в интервале широт $+10—+60°$. Его использование в районах севернее 60-й параллели приводит, как показала практика, к значительным искажениям азимутов систематическими инструментальными погрешностями, достигающими для теодолитов АУ 2/10 и Вильд Т4 величин $1''$ и более. Следует отметить, что этим способом можно определить лишь астрономический азимут направления, а для перехода к геодезическому азимуту необходимо выполнить еще долготные астрономические наблюдения на пункте.

Независимо от способа определения азимута программа азимутальных наблюдений на пункте государственной геодезической сети включает в себя 18 приемов, исполняемых при благоприятных условиях видимости земного предмета в течение не менее трех суток. В первые двое суток обычно исполняют по 6—8 приемов азимута, а в третий вечер завершают программу и повторяют приемы, исключенные из обработки по данным полевого контроля. Общее число повторных приемов не должно превышать пяти. При несоблюдении этого условия выясняется причина плохого качества работ, после устранения которой азимут определяется заново по полной программе. При переходе от одного приема к другому лимб астрономического теодолита переставляют на $10°05'$. Повторные приемы выполняют на тех же установках лимба, что и основные. Программа одного вечера азимутальных наблюдений выполняется между определениями поправки хронометра (см. 2.3) по радиосигналам точного времени, нормальный интервал между которыми составляет 1—1,5 ч для механического хронометра в случае применения первых двух способов, и 4 ч в случае наблюдений по Полярной. При использовании кварцевого хронометра сигналы принимаются до и после наблюдений.

Как показывает опыт, на качество азимутальных измерений заметное влияние оказывают местные условия: высота

прохождения визирного луча над поверхностью земли, характер подстилающей поверхности, наличие поблизости водоемов, болот, лесных массивов, метеорологическая обстановка и др. В обязанности наблюдателя входит тщательное изучение и учет всех перечисленных факторов при выполнении полевых азимутальных работ.

В общем случае рекомендуется заканчивать дневные наблюдения за 0,5 ч до захода Солнца, а к ночным наблюдениям приступать спустя 0,5 ч после его захода. Ночью колебания изображения световой визирной цели, как правило, незначительны, однако возможно систематическое влияние боковой рефракции, поэтому предпочтительнее дневные наблюдения. В целях уменьшения влияния личных ошибок наблюдателя визировать на земной предмет и звезду следует одиночной нитью микрометра. Для исключения систематических погрешностей, вызываемых упругими деформациями теодолита и его частей, не рекомендуется сильно затягивать закрепительные винты, без необходимости юстировать уровни, исправлять коллимацию, фокусировку, наклон подвижной нити микрометра в процессе работ одного вечера Чем короче прием, тем меньше будет влияние различных источников погрешностей на результат. Быстрота выполнения приема должна достигаться за счет полного однообразия и четкости при подготовке теодолита и визировании на земной предмет и звезду Вместе с тем все действия наблюдателя должны быть спокойными: вращать алидаду горизонтального круга и наводящие винты необходимо плавными движениями. Отсчитывать горизонтальный круг следует всегда при электрическом освещении поля зрения Для устранения влияния остаточного параллакса необходимо смотреть в окуляр прямо, а для ослабления влияния наклона подвижной нити визировать на земной предмет и звезду всегда одной и той же точкой нити.

Для учета кручения сигналов при наблюдениях с них надлежит применять поверительную трубу. Визирование на звезду и земной предмет главной трубой и на миру поверительной трубой при наблюдениях по Полярной нужно выполнять одновременно. Если звезда регистрируется контактным микрометром, визирование на миру следует выполнять в процессе регистрации моментов ее прохождения.

Во время успокоения пузырька уровня наблюдатель должен находиться у микрометра теодолита. Для исключения возможного дополнительного наклона столика сигнала, возникающего при переходе наблюдателя от микрометра к месту отсчета, отсчет по шкале жидкостного уровня необходимо производить сразу же после перехода

Перед тем как приступить к установке астрономического теодолита на столб или столик сигнала, проверяют состояние последних. Астрономический столб не должен иметь трещин, выбоин, сколов. Покрытие на верхней поверхности столба дол-

жно составлять одно целое с каменной кладкой. Для исключения влияния наблюдателя на положение столба и стоящего на нем теодолита вокруг столба сооружается деревянный помост. Точки опоры помоста о грунт должны быть удалены от обводов столба не менее чем на 1 м. Сигнал и его инструментальный столик должны быть устойчивыми и прочными, внутренняя пирамида не должна касаться пола и лестницы. Если сигнал и столик рассохлись, следует подбить гвозди, скрепляющие бревна отдельных венцов внутренней пирамиды, а также усилить жесткость связей столика с внутренней болванкой. Лучи визирования на земной предмет и звезды не должны проходить ближе 20 см от деталей сигнала. Если последнее условие не выполняется, мешающие детали вырезают, а после завершения работ их восстанавливают вновь.

Если столб или столик сигнала отвечают перечисленным требованиям, на их поверхности размещают подпятники для подъемных винтов астрономического теодолита. Подпятники рекомендуется располагать так, чтобы два из них находились на линии север — юг. Тогда третий подпятник будет ориентирован в первом вертикале и действуя подъемным винтом, опирающимся на этот подпятник, можно будет подправлять горизонтирование теодолита в процессе наблюдений как при определении времени по способу Цингера, так и при выполнении астроопределений азимутальными способами по наблюдениям звезд в меридиане и вблизи его. При этом наклон вертикальной оси теодолита в направлении север — юг будет меняться незначительно. Установив подпятники, их фиксируют на своих местах легким постукиванием. Перед тем как установить на подпятники теодолит, продумывают ориентировку на них подъемных винтов с тем, чтобы обеспечить наведение поверительной трубы на миру. Приняв во внимание последнее обстоятельство, наблюдатель вместе с помощником аккуратно извлекают теодолит из укладочного ящика, устанавливают его на подпятники и с погрешностью 10—15″ горизонтируют.

Устанавливают вспомогательную аппаратуру: часы, радиоприемник, регистрирующее устройство и оборудуют рабочее место для помощника. Если наблюдения будут вестись со столика сигнала, а его площадка имеет ограниченные размеры, вспомогательную аппаратуру устанавливают так, чтобы наблюдателю было обеспечено удобство работы с теодолитом, а помощник мог, не покидая своего места, управлять аппаратурой, брать отсчеты по поверительной трубе и записывать результаты измерений. Как сама аппаратура, так и провода, идущие от нее к астрономическому теодолиту и источникам питания, должны быть заземлены, надежно закреплены и укрыты брезентом для защиты от ветра, пыли, тумана и дождя. Использовать в качестве чехлов полиэтиленовую пленку не рекомендуется, так как она препятствует испарению влаги, сконденсировавшейся в ночное время на поверхности приборов.

Для защиты от прямого воздействия ветра вокруг площадки сигнала или помоста астрономического столба сооружается брезентовое ограждение. Оно не должно мешать наблюдателю наводить трубу теодолита на наземную визирную цель и звезды. Направления на эти объекты визирования должны быть удалены от элементов ограждения не менее чем на 20 см. Высота брезентового ограждения должна на 15—20 см превышать теодолит с трубой, направленной в зенит, и надетой на нее блендой.

В качестве визирных целей как в ночное, так и в дневное время используются фонари — прожекторы. Днем можно использовать гелиотропы. Визирование поверительной трубой выполняют на световую миру, выставляемую в створе азимутального направления на удалении от сигнала или столба на 1 км и более. При установке фонаря — прожектора, гелиотропа и миры должны быть предусмотрены меры, обеспечивающие их сохранность и неизменное положение на протяжении всего периода азимутальных работ. Сразу после установки фонаря — прожектора (гелиотропа) определяют элементы его редукции. Второе определение выполняют после завершения азимутальных определений, а также во всех тех случаях, когда возникло сомнение в сохранении первоначального положения фонаря.

Независимо от способа визуального определения азимута последовательность действий в приеме следующая

1. КЛ (КП)
2. КП (КЛ) } измерение направления на земной предмет;
3. КП (КЛ)
4. КЛ (КП) } наблюдение звезды;
5. КЛ (КП)
6. КП (КЛ) } измерение направления на земной предмет.

Каждый последующий прием начинают при положении верхней части теодолита, зафиксированном в последнем четверть-приеме наблюдения земного предмета.

6.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ИЗ МНОГОКРАТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЯРКИХ ЗВЕЗД ВБЛИЗИ МЕРИДИАНА

Определение геодезического или астрономического азимута из многократных наблюдений ярких звезд вблизи меридиана состоит из определения азимутальной лично-инструментальной разности ΔT_a (АЛИР) до и после полевых работ, в порядке, изложенном в 6.5, и измерений азимута на пунктах астрономо-геодезической сети.

В тех случаях, когда непосредственно из астрономических измерений необходимо получить геодезический азимут направления, вычисления азимута в приемах выполняют с геодезическими координатами B и L, выбранными из каталога. Если же требуется знать астрономический азимут направления, то вычисления ведут с точными астрономическими координатами

φ и λ данного пункта, полученными из широтных и долготных наблюдений.

Если наблюдатель не располагает точными значениями геодезических или астрономических координат пункта наблюдений, полевые вычисления выполняются с приближенными координатами B_0 и L_0 этого пункта, снятыми, например, с топографической карты с погрешностью $\pm 10''$. Окончательная обработка результатов должна вестись с точными геодезическими или астрономическими координатами. Следует помнить, что чем больше будут отличаться приближенные координаты B_0 и L_0 от точных астрономических координат пункта наблюдений, тем больше будут расхождения в вычисленных, но неуравненных значениях азимутов, полученных по отдельным приемам из наблюдений северных и южных звезд. Это не должно смущать наблюдателя, так как о действительном качестве измерений данным способом можно судить только после уравнивания результатов. При этом критерием качества измерений азимута служат уклонения v для отдельных приемов, которые не должны превышать $\pm 2{,}5''$.

Программа определения азимута данным способом, состоящая из 18 приемов, включает в себя многократные наблюдения как минимум двух северных и двух южных звезд, кульминирующих в интервале зенитных расстояний 50—80°. Число приемов в программе по северным и южным звездам должно быть одинаковым. В виде исключения допускается исполнять 10 приемов по северным (южным) и восемь по южным (северным) звездам, в тех случаях, когда измерения ведутся в сложных погодных условиях. Порядок наблюдений звезд в приемах и в отдельных вечерах безразличен. Предпочтение отдается ярким звездам на больших зенитных расстояниях. Южные звезды не должны наблюдаться в удалении от меридиана большем чем $\pm 12°$, а северные $\pm 8°$. В интервале широт 10—40° северного полушария земли в качестве одной из северных звезд рекомендуется наблюдать Полярную. Порядок действий наблюдателя в приеме при измерении направления на Полярную должен соответствовать в этом случае изложенному в 6.4. В остальных случаях регистрация моментов прохождений звезд осуществляется с помощью контактного микрометра.

В подготовку к наблюдениям данным способом входят исследования и поверки астрономического теодолита (см. 11.24) и составление эфемерид. Последние должны включать в себя:

отсчет M по горизонтальному кругу теодолита при наведении его на земной предмет с учетом перестановки горизонтального круга между приемами;

отсчет M^* по горизонтальному кругу теодолита при наведении его на звезду в эфемеридный момент $s_э$;

зенитное расстояние Z^* звезды в эфемеридный момент $s_э$.

Подготовка эфемерид входит в обязанности помощника и он должен хорошо освоить этот процесс с тем, чтобы выдавать

эфемеридные данные наблюдателю через 1—2 мин после его запроса. Вычисление и составление эфемерид ведут в такой последовательности.

До выезда на полевые работы или сразу после прибытия на пункт наблюдений составляют ведомость эфемерид (табл. 61), в которой около номера азимутального приема указывают положение верхней части теодолита (КЛ, КП) для первого наведения на земной предмет. Записывают отсчеты по горизонтальному кругу M при наведении трубы теодолита на земной предмет, вычисляемые по формулам

$$M_{КЛ} = (10°05')\,n; \quad M_{КП} = (10°05')\,n + 180°,$$

где n — порядковый номер азимутального приема.

Таблица 61

Ведомость вычисления эфемерид

Пункт *Крутой* $B_0 = 60°00'$, $A_0 = 45°00'$

Номер приема	M	Номер звезды $z_м$	$\frac{s_м}{v_a}$	$s_э$	Δs	Δa	M'	M^*	Δz	z^*
1КЛ	10°05′	506N	8^h41^m	8^h31^m	-10^m	−2°47′	325°05′	322°18	4′	74°51′
		74°47′	16,7							
2КП	200 10			8 41	0	0	155 10	155 10	0	74 47
3КЛ	30 15			8 51	+10	+2 47	345 15	348 02	4	74 51
4КП	220 20	245S	9 27	9 05	−22	−3 55	355 20	351 25	12	68 22
		68°34′	10,7							
5КЛ	50 25			9 15	−12	−2 08	185 25	183 17	3	68 31
6КП	240 30			9 27	0	0	15 30	15 30	0	68 34

Отсчеты M' по горизонтальному кругу, соответствующие месту юга, $M' = M - A_0$, где A_0 — приближенный азимут направления на земной предмет, который снимают с карты, выписывают из каталога или измеряют с погрешностью 2—3′. Здесь и далее счет азимутов ведется от точки юга по ходу часовой стрелки от 0 до 360°.

Непосредственно перед началом наблюдений из АЕ, FK-4 или списка ярких звезд АТ выбирают северную или южную звезду, кульминирующую в интервале зенитных расстояний 50—80°. Желательно, чтобы момент кульминации звезды был на 20—30 мин больше момента начала измерений в данном вечере. Это позволит наблюдать данную звезду в нескольких приемах, симметрично относительно меридиана В табл. 61 меридиональные зенитные расстояния вычисляют по формулам

$$Z_м^N = 180° - (\delta_N + B_0), \quad Z_м^S = B_0 - \delta_S,$$

а моменты кульминаций звезд

$$s_м^N = \alpha_N + 12^h; \quad s_м^S = \alpha_S.$$

Из таблиц АТ выбирают скорости v_a движения звезд по азимуту. Можно скорость v_a найти по формуле:

$$v_a = 15\cos\delta\,\mathrm{cosec}\,Z_м.$$

Все последующие вычисления производят в процессе исполнения азимутального приема. Используя эфемеридный момент $s_э$, в который предполагается начать поиск звезды в поле зрения трубы, вычисляют разность $\Delta s = s_э - s_м$.

По формуле $\Delta a = \Delta s \cdot v_a$ находят горизонтальный угол между направлением на звезду в момент $s_э$ и меридианом.

По формуле $M^* = M' + \Delta a$ определяют эфемеридный отсчет M^* по горизонтальному кругу теодолита, соответствующий вертикалу звезды в момент $s_э$. Этот отсчет, а также меридиональное зенитное расстояние звезды $z_м$ сообщают наблюдателю сразу же после вычислений, с тем чтобы он мог начать поиск звезды.

Уточняют зенитное расстояние звезды, применяя для этой цели формулу $Z^* = Z_м \pm \Delta Z$, в которой $\Delta Z = 0{,}13 B_0 \Delta s \Delta a$. Величины Δs и Δa в приведенной формуле выражают в минутах времени и градусах соответственно и округляют до десятых долей. Коэффициент $0{,}13\cos B_0$ вычисляют заблаговременно. Поправке ΔZ придают знак плюс, если наблюдается южная звезда и знак минус, если северная.

Для получения поправки ΔZ в меридиональное зенитное расстояние $Z_м$ может также применяться формула $\Delta Z = 0{,}5\,\Delta s \cdot v_Z$. Скорость движения звезды по высоте v_Z в этом случае выбирают из таблиц АТ по аргументам B_0 и Δa.

Сразу же после вычисления уточненного зенитного расстояния Z^* его сообщают наблюдателю для корректировки положения трубы теодолита по высоте.

При составлении эфемерид следует стремиться к тому, чтобы каждая из звезд наблюдалась симметрично относительно меридиана по обе стороны от него.

Азимутальные наблюдения выполняют в следующем порядке. За 35—40 мин до начала измерений производится тщательное горизонтирование астрономического теодолита и проверка работоспособности всей аппаратуры. Непосредственно перед началом наблюдений в соответствии с расписанием передач радиосигналов точного времени производят прием радиосигналов и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3). Приступают к выполнению первого приема.

1. КЛ (КП). Трубу астрономического теодолита закрепляют на зенитном расстоянии земного предмета. Алидаду горизонтального круга отводят от направления на земной предмет на 30—40° против хода часовой стрелки, а затем, вращая по ходу часовой стрелки, наводят трубу на земной предмет. При этом нить микрометра должна расположиться относительно изображения земного предмета так, чтобы окончательное, точное наведение можно было выполнить ввинчиванием наводящего

винта алидады горизонтального круга. Если последнее условие не удалось соблюсти, все действия повторяют заново. Действуя наводящим винтом трубы, устанавливают изображение земного предмета по высоте на расстоянии 0,3—0,5 оборота от горизонтальной нити, всегда с одной и той же стороны, например между горизонтальной нитью и шкалой оборотов или гребенкой.

2. КЛ (КП). Наблюдатель и помощник по команде первого три раза подряд, с интервалом в 15—20 с, наводят одновременно подвижные нити микрометров главной и поверительной труб на земной предмет и миру соответственно, берут отсчеты по шкалам микрометров и заносят их в журнал наблюдений (табл. 6.2). Взятые отсчеты не должны отличаться от отсчетов в нуль-пунктах микрометров более чем на 10″. Расхождения между отсчетами в серии не должны быть больше 3″. Заканчивают четвертьприем наблюдения земного предмета отсчетами по горизонтальному кругу, дважды совмещая противоположные штрихи лимба. Разность отсчетов при двух совмещениях не должна превышать 1″. При наблюдении со столба поверительная труба не применяется.

3. КП (КЛ). Переводят трубу через зенит и вновь закрепляют ее на зенитном расстоянии земного предмета. Верхнюю часть теодолита поворачивают против хода часовой стрелки до тех пор, пока подвижная нить микрометра, установленная в нуль-пункте, не подойдет к изображению земного предмета на 5—10′. Ввинчивая наводящий винт алидады горизонтального круга, совмещают подвижную нить с изображением земного предмета. Вращая наводящий винт трубы, устанавливают изображение в ту же точку на подвижной нити, в которой оно находилось в первом четвертьприеме (см. пункт 1).

4. КП (КЛ). Выполняют измерения в порядке и объеме, перечисленном в пункте 2.

5. КП (КЛ). Устанавливают алидаду горизонтального круга и трубу по эфемеридным данным M^* и Z^* и находят избранную звезду в поле зрения трубы. После того как звезда обнаружена и приведена в центр поля зрения, поворачивают алидаду на 30—40° по ходу часовой стрелки и вновь наводят на звезду. Подвижную нить микрометра отводят на 1,5 оборота навстречу движения звезды. Дают успокоиться пузырьку уровня, заняв место у микрометра теодолита.

6. КП (КЛ). Берут отсчеты сначала по левому, а затем по правому концам пузырька уровня. Порядок отсчетов дан для наблюдателя, обращенного лицом к светилу. Перекладывают уровень на оси, развернув его на 180°. Отсчитывают горизонтальный круг. Разность двух отсчетов не должна превышать 1″. Вращая наводящий винт трубы, приводят изображение звезды к горизонтальной нити и устанавливают его на том же расстоянии и с той же стороны, где наблюдался земной предмет. Когда звезда в своем движении достигнет подвижной нити микрометра, дают команду помощнику на вклю-

Таблица 62

Журнал наблюдений

Пункт *Крутой* Прием № 1 Теодолит АУ 2/10

$\mu_{г.т} = 1{,}150''$ $\mu_{п.т} = 1{,}420''$ $\tau = 1{,}257''$

ГТ*	ПТ**	Горизонтальный круг А	Горизонтальный круг В	1/2 (А + Б)	Поправки	КП, КЛ
			Земной предмет			
			КЛ			
3,3***	0,5	10°04′44,0″	43,2″	10°04′47,70″	+4,41′	
4,1	1,0	43,9	44,3		+1,04	10°04′53,15″
4,1	0,7	47,9	47,5			
3,83	0,73					
					$C_1 = -1{,}94''$	
			КП			
2,4	0,9	190°04′53,8″	53,1	190°04′57,70″	−2,38″	
2 0	1,2	54,1	54,4		+1,70	190°04′57,02″
1,8	1,5	57,9	57,5			
2,07	1,20					
					$M_1 = 10°04′55{,}09''$	
			Звезда 506N $Z = 74°47'$			
			КП			
0,9	28,3—12,9	321°58′04,2″	04,0	321°58′08,40′	+1,47″	
1,0	10,5—26,0	04,4	04,2		+0,40	321°58′10,27″
1,1	38,8—38,9	08,6	08,2			
1,00	$X = 38{,}85$					
	$_0(Л + П) = 36{,}50$					
	$b = +2{,}35$					
			КЛ			
1,8	28,6—13,2	142°36′33,5″	33,2	142°36′37,10″	+2,69	
1,9	10,0—25,4	33,5	34,0		+0,55	142°36′40,34″
1,8	38,6—38,6	37,0	37,2			
1,83	$X = 38{,}60$					
	$_0(Л+П) = 35{,}40$				$M^* = 142°17′25{,}30''$	
	$b = +3{,}20$					
			Земной предмет			
			КЛ			
					$M_2 = 10°04′53{,}16''$	
97,7	2,4	10°04′50,3″	50,3	10°04′50,65″	−2,65	
97,8	2,2	50,4	50,3		+3,41	10°04′51,41″
97,6	2,6	50,70	50,6			
97,70	2,40					
			КП			
					$C_2 = -0{,}88''$	
96,8	2,4	190°04′44,0	43,8	190°04′47,65″	+3,71	
96,8	2,6	43,7	43,8		+3,55	190°04′54,91″
96,7	2,5	47,7	47,6			
96,77	2,50					
		$M_1 - M_2 = +1{,}93''$			$M = 10°04′54{,}12''$	
		$C_1 - C_2 = -1{,}06''$			$M^* = 142\ 17\ 25{,}30$	
					$Q = 227°46′28{,}82''$	

* ГТ — главная труба;

** ПТ — поверительная труба

*** В журнале отсчеты по микрометрам записываются в сотых долях оборота, т е. в делениях, опуская при этом число оборотов. Таким образом запись 0,6 означает $10{,}006^{об}$, а запись 95,2 соответствует $9{,}952^{об}$.

жение регистрирующего устройства и, вращая ручки привода микрометра, удерживают нить на изображении звезды до тех пор, пока не будет зафиксировано 10 центральных контактов винта микрометра.

Во время регистрации звезды помощник трижды наводит нить микрометра поверительной трубы на изображение миры и каждый раз после наведения берет отсчет по шкале микрометра. Наблюдатель, закончив сопровождение звезды, вторично берет отсчеты по шкале ампулы пузырькового уровня.

7. КЛ (КП). Переводят трубу через зенит и вновь закрепляют на зенитном расстоянии той же звезды для наблюдения при втором положении верхней части теодолита. Вращая последнюю по ходу часовой стрелки, устанавливают на отсчет на 1° больший взятого наблюдателем в конце предыдущего полуприема наблюдения звезды. Обнаружив звезду в поле зрения трубы, приводят звезду в центр, поворачивают верхнюю часть теодолита на 30—40° по ходу часовой стрелки и вновь наводят на звезду, занимают место у микрометра главной трубы, давая, таким образом, успокоиться пузырьку уровня.

8. КЛ (КП). Выполняют измерения в порядке и объеме, указанном в пункте 6.

9. КЛ (КП). Наводят теодолит на земной предмет в порядке, изложенном в пункте 1.

10. КЛ (КП). Выполняют измерения, перечисленные в пункте 2.

11. КП (КЛ). Наводят теодолит на земной предмет в порядке, изложенном в пункте 3.

12. КП (КЛ). Выполняют измерения, перечисленные в пункте 4.

13. Закончив прием, не сдвигая трубы с изображения земного предмета, переставляют горизонтальный круг на 10°05′ (новый эфемеридный отсчет M) и приступают к выполнению следующего приема в порядке, изложенном в пунктах 1—12. Если зенитное расстояние земного предмета отличается от 90° более чем на 3°, то в пунктах 2, 4, 10, 12, отсчитав горизонтальный круг, берут отсчеты и по шкале уровня. При определении азимута с астрономического столба поверительная труба не применяется. В остальном порядок и объем измерений остаются аналогичными изложенному.

В процессе выполнения азимутальных наблюдений помощником производятся оперативные вычисления.

Находят средние значения отсчетов по шкалам микрометров главной $m_г$ и поверительной $m_п$ труб в оборотах, а также средние значения отсчетов по горизонтальному кругу в четверть-приемах наблюдения земного предмета.

По формулам

$$\Delta M_{КЛ} = 10^{0}(m_г - 10^{об}) \text{ и } \Delta M'_{КП} = -100(m_г - 10^{об})$$

для астрономического теодолита АУ 2/10,

$$\Delta M'_{КЛ} = -100\,(m_г - 10^{об}),\ \Delta M'_{КП} = 100\,(m_г - 10^{об})$$

для теодолита Т4 переводят отсчеты по шкалам микрометров главной трубы в поправки, выражая их в делениях шкалы микрометра. Пользуясь ценой деления микрометра главной трубы $\mu_г$, известной из лабораторных исследований (см. 11.11), вычисляют значение поправок $\Delta M_г$ в секундах дуги

$$\Delta M_г = \Delta M'_г \mu_г \operatorname{cosec} Z_{зп}.$$

По формуле

$$\Delta M'_{КЛ,КП} = \pm 100\,(m_п - 10^{об})$$

находят поправки за микрометр поверительной трубы в делениях микрометра (знак зависит только от положения микрометра на поверительной трубе), а по формуле

$$\Delta M_п = \Delta M'_п \mu_п \operatorname{cosec} Z_м$$

переводят эти поправки в секунды дуги.

Если зенитное расстояние земного предмета $Z_{зп}$ или миры $Z_м$ не отличается от 90° больше чем на $\pm 3°$, значения $\operatorname{cosec} Z_{зп}$ и $\operatorname{cosec} Z_м$ принимают равными единице.

Исправляют поправками $\Delta M_г$ и $\Delta M_п$ средние отсчеты по горизонтальному кругу, соответствующие наблюдениям земного предмета в четвертьприемах, вычисляя тем самым направления $КЛ_{1,2}$ и $КП_{1,2}$ на земной предмет в четвертьприемах.

Вычисляют средние значения направлений на земной предмет в полуприемах M_1 и M_2 соответственно до и после наблюдения звезды: $M_{1,2} = (КЛ_{1,2} + КП_{1,2})/2$, а затем и значение направления на земной предмет в приеме $M = (M_1 + M_2)/2$.

Для теодолита ДКМЗ-А применяют формулы

$$\Delta M'_{КЛ} = m_г \text{ и } \Delta M'_{КП} = -m_г,$$

где $m_г$ — среднее из отсчетов микрометра главной трубы в делениях, если целое число оборотов равно 10. Если оно равно 9, то в формулах вместо $m_г$ берется разность $m_г - 120$.

Вычисляют показания жидкостного уровня по каждой паре его отсчетов

$$b'_0 = (Л + П)'_0,\ b''_0 = (Л + П)''_0,\ {}_0b' = {}_0(Л + П)',\ {}_0b'' = {}_0(Л + П)''.$$

Находят средние показания уровня в полуприемах наблюдения звезды

$$b_0 = (b'_0 + b''_0)/2,\ {}_0b = ({}_0b' + {}_0b'')/2,$$

а затем и значение наклона горизонтальной оси или верхней части теодолита $b_п = ({}_0b - b_0)/2$.

В процессе полевых вычислений контролируют качество измерений, постоянно проверяя, чтобы:

значение коллимации в полуприемах наблюдения земного предмета $C = (КЛ - КП)/2$ не превышало $\pm 10''$;

колебание показаний жидкостного уровня по каждой паре его

отсчетов, взятых в каждом полуприеме до и после наблюдения звезды:

$$\Delta b_1 = {}_0(\text{Л} + \text{П})' - {}_0(\text{Л} + \text{П})'', \quad \Delta b_2 = (\text{Л} + \text{П})'_0 - (\text{Л} + \text{П})''_0,$$

было не больше двух полуделений шкалы уровня;

абсолютная величина наклона верхней части теодолита $b_п$ не превышала 15″ при наблюдениях со столбов и 25″ с сигналов;

разность между направлениями на земной предмет, измеренными до и после регистрации звезды $\Delta M = M_1 - M_2$, не превышала $\pm 3''$;

разность между значениями коллимации в первом и втором полуприемах наблюдений земного предмета $\Delta C = C_1 - C_2$ находилась в пределах $\pm 5''$.

Если хотя бы одно из условий не соблюдено, этот азимутальный прием переделывается на той же установке горизонтального круга.

Дальнейшую обработку журнала и все последующие вычисления выполняют после окончания наблюдений в данном вечере.

Находят средние моменты (табл. 6.3) регистрации звезды в полуприемах $T_{кп}$, $T_{кл}$ и в приеме $T = (T_{кп} + T_{кл})/2$. Вычисляют аргумент D поправки за ускорение движения звезды по азимуту $D = \left(\frac{T_{кл} - T_{кп}}{100}\right)^2$; числитель выражают в секундах времени.

Таблица 6.3

Расшифровка хронографической ленты

$T_{кп}$	$T_{кл}$	T
$8^h24^m48{,}91^s$	$8^h28^m39{,}15^s$	$8^h26^m44{,}03^s$
50 80	37 34	07
52 70	35 42	06
54 56	33,60	08
56,49	31,55	02
58,36	29,84	10
25 00,21	27,89	05
02,14	26,00	07
04,06	24,08	07
05,92	22,28	10
8 24 57,415	8 28 30,715	8 26 44,065

$$D = \left(\frac{213}{100}\right)^2 = 4{,}54$$

В журнале наблюдений (см. табл. 6.2) вычисляют средние значения отсчетов по шкале микрометра поверительной трубы, а также средние значения отсчетов по горизонтальному кругу в четверть- и полуприемах наблюдения. Вычислив поправки за микрометр поверительной трубы, исправляют ими отсчеты по горизонтальному кругу.

Вычисляют направление M' на звезду в приеме $M' = (M_{кл} + M_{кп})/2$ и исправляют это направление поправкой за уровень $M^* = M' + \Delta M_b$, где $\Delta M_b = (b \operatorname{ctg} Z^*)\tau''/2$.

По формуле $Q = M - M^*$ подсчитывают горизонтальный угол между вертикалами земного предмета и звезды в момент T.

Переносят в вычислительную ведомость (табл. 6.4) значения горизонтального угла Q из журнала наблюдений и момент T из таблицы расшифровки хронографической ленты.

Пользуясь результатами приема радиосигналов времени по известной долготе пункта наблюдений L, вычисляют поправку

Таблица 6.4

Вычисление азимута и свободных членов

$B = 60°00'00,00''$	$L = 8^h00^m00,000^s$	$B = 60°00'00,00''$	$L = 8^h00^m00,000^s$
Дата Номер приема Номер звезды	27/28 июня 1980 г I 506N	Дата Номер приема Номер звезды	27/28 июня 1980 г. I 506N
T ΔT_a u Σ_1	$8^h26^m44,065^s$ — 86 — 1 11,935 + 114	$\cos B$ $\operatorname{tg}\delta$	0,500 0000 1,007 3191
		$II = \cos B \operatorname{tg}\delta$	0,503 6597
s α	8 25 32,158 20 40 47,410	$\sin t$ $I - II$	0,066 5112 —1,367 7671
t δ	11 44 44,748 45°12'32,11''	$\operatorname{tg} a^*$ a^* Q Σ_2	—0,648 6274 177°12'57,77'' 227 47 28,82 +0,86
$\sin B$ $\cos t$	0,866 0255 —0,997 7858		
$l = \sin B \cos t$	—0,864 1074	A' $A_п$	45 00 27,45 45 00 30,00
		l	+2,55''

хронометра u (см. 2.3) на момент T наблюдения звезды в приеме. По формуле $\Sigma_1 = (\Delta T_{мш} - 0{,}021^s \cos B \cos a^*) \sec\delta$ вычисляют суммарную поправку в момент наблюдения звезды T за мертвый ход и ширину контактов $\Delta T_{мш}$ контактного микрометра (см. 11.14, 11.15) и суточную аберрацию. Значение $\cos a^*$ в этой формуле принимают равным единице, учитывая при вычислениях лишь знак этой функции; напомним, что азимут считается от точки юга.

По формуле $s = T + \Delta T_a + u + \Sigma_1$ подсчитывают звездное время наблюдений звезды в приеме.

Из АЕ, ФК4 или КГЗ выбирают за момент и дату наблюдений видимые координаты α и δ отнаблюденной звезды. Прямые восхождения звезд должны быть исправлены (при окончательной обработке) поправками за короткопериодическую нутацию.

Вычисляют часовой угол звезды $t = s - \alpha$.

По формуле

$$\operatorname{tg} a^* = \frac{\sin t}{\sin B \cos t - \cos B \operatorname{tg}\delta}$$

или ее модификациям для малых часовых углов (см. 6.3) находят значение функции $\operatorname{tg} a^*$, а затем и азимут вертикала наблюдений звезды a^*.

Азимут направления на земной предмет получают из выражения

$$A' = a^* + Q + \Delta A_{Wa} + \Delta A_{вл},$$

где $\Delta A_{Wa} = KD \sin 2a^*$ — поправка за ускорение движения звезды по азимуту. Коэффициент K в последней формуле подсчитывается по формуле

$$K = -1{,}36'' \left(\frac{\cos^2 B}{\sin^2 Z^*} + \frac{\cos B \cdot \sin \delta}{2 \sin Z^* \cos a^*} \right),$$

а азимут звезды a^* считается от точки юга.

Поправка $\Delta A_{вл}$ за азимутальные колебания горизонтальной оси вычисляется в порядке, изложенном в 11.18.

В тех случаях, когда вместо поправки $\Delta A_{вл}$ определялись поправки за неправильности фигур цапф $\Delta A_{ц}$ и боковое гнутие трубы $\Delta A_{бг}$, в порядке, изложенном в 11.20 и 11.17, соответственно азимут направления на земной предмет находят по формуле $A' = a^* + Q + \Sigma_2$, где $\Sigma_2 = \Delta A_{Wa} + \Delta A_{ц} + \Delta A_{бг}$.

Вычисляют свободные члены уравнений погрешностей $l = A_{п} - A'$, где $A_{п}$ — предварительное значение азимута, принимаемое обычно равным наибольшему значению азимута в одном из приемов программы и округленное до целого значения секунд в большую сторону.

Составляют уравнения поправок (табл. 6.5) вида

$$\Delta A - \eta \operatorname{ctg} Z^* \cos a^* + \xi \operatorname{ctg} Z^* \sin a^* + l = v.$$

От уравнений погрешностей переходят к нормальным уравнениям:

$$[aa]\Delta A + [ab]\eta + [ac]\xi + [al] = 0;$$
$$[bb]\eta + [bc]\xi + [bl] = 0;$$
$$[cc]\xi + [cl] = 0,$$

в которых $a = +1$, $b = \operatorname{ctg} Z^* \cos a^*$, $c = \operatorname{ctg} Z^* \sin a^*$.

Из решения системы нормальных уравнений по методу наименьших квадратов находят неизвестные ΔA, η, ξ, и их веса p_A, p_η и p_ξ. Подставляя значения неизвестных в каждое из уравнений погрешностей, вычисляют уклонения v_i, которые и характеризуют качество измерений и не должны превышать по абсолютной величине 2,5″.

По формуле

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-3}}$$

вычисляют среднюю квадратическую погрешность единицы веса, а затем и средние квадратические погрешности определения неизвестных

$$m_A = \frac{\mu}{\sqrt{p_A}}, \quad (6.1) \qquad m_\eta = \frac{\mu}{\sqrt{p_\eta}}, \quad (6.2) \qquad m_\xi = \frac{\mu}{\sqrt{p_\xi}}. \quad (6.3)$$

Абсолютное значение средней квадратической погрешности единицы веса μ не должно превышать 1,5″, а погрешность определения азимута m_A не должна быть больше 0,4″.

По формуле $A = A_{п} + \Delta A + \Delta A_l + \Delta A_r + \Delta A_p + \Delta A_{н}$ находят окончательное значение азимута направления на земной предмет,

Таблица 6.5

Составление уравнений поправок и нормальных уравнений. Вычисление неизвестных и окончательного значения азимута. Оценка точности

Номер приема	Номер звезды	ΔA	η	ξ	l	v
1	506N	+1	+0,272	+0,014	+2,55″	+0,71″
2	506N	+1	+0,272	0	+1,32	—0,97
3	506N	+1	+0,272	—0,014	+1,48	—0,86
4	506N	+1	+0,272	—0,028	+2,00	—0,38
5	506N	+1	+0,272	—0,038	+3,14	+0,72
6	506N	+1	+0,272	+0,010	+3,20	+0,94
7	497N	+1	+0,210	+0,052	+2,08	—0,32
8	497N	+1	+0,210	+0,010	+2,24	—0,22
9	497N	+1	+0,210	—0,005	+2,86	+0,35
10	245S	+1	—0,392	—0,080	+4,94	+0,24
11	245S	+1	—0,392	—0,061	+4,00	—0,64
12	245S	+1	—0,392	—0,042	+4,95	+0,38
13	245S	+1	—0,392	—0,021	+3,52	—0,98
14	245S	+1	—0,392	+0,018	+3,98	—0,39
15	245S	+1	—0,392	+0,039	+4,87	+0,57
16	245S	+1	—0,392	+0,074	+5,01	+0,83
17	213S	+1	—0,460	+0,062	+4,97	+0,53
18	213S	+1	—0,460	+0,035	+4,02	—0,51
	+18	—1,402	—0,002	+61,54		
		+2,075	—0,025	—11,05		
			+0,028	—0,02		

$\Delta A = -3{,}17''$ $\eta = +3{,}22''$ $\xi = +3{,}37''$ $\mu = \pm 0{,}70''$

$p_A = 17{,}0$ $p_\eta = 1{,}9$ $p_\xi = 0{,}03$

$m_A = \pm 0{,}17''$ $m_\eta = \pm 0{,}50''$ $m_\xi = \pm 4{,}04''$

$A_п$	45°00′30,00″
ΔA	—3,17
ΔA_l	+0,16
ΔA_r	+4,28
ΔA_p	+0,12
$\Delta A_н$	+0,04
A	45°00′31,43″ ± 0,17″

отнесенное к координатам (B, L; φ, λ; B_0, L_0 и т. д.) центра пункта, к которому выполнено приведение вычисленного азимута поправкой ΔA_l за центрировку теодолита. Поправку ΔA_l, а также поправки за редукцию визирной цели ΔA_r, за приведение к Условному международному началу полюса ΔA_p, за приведение к поверхности земного эллипсоида $\Delta A_н$ подсчитывают по формулам, приведенным в 8.

Оценку точности определения азимута A выполняют по формуле

$$M_A = \sqrt{m_A^2 + M_{\Delta T_a}^2 + (\partial_{\Delta T_a})^2}, \qquad (6.4)$$

где $M_{\Delta T_a}$ — средняя квадратическая погрешность азимутальной лично-инструментальной разности ΔT_a, полученная в порядке,

приведенном в 6.5, а $\partial_{\Delta T a}$ — среднее квадратическое колебание величины ΔT_a, принимаемое равным $\pm$ 0,3″. Величина средней квадратической погрешности M_A не должна превышать $\pm$ 0,7″.

Дополнительным критерием оценки точности азимутальных работ является величина расхождения $A_2 - A_1$ между обратным A_2 и прямым A_1 азимутами данного направления, подсчитываемая по формуле

$$A_2 - A_1 = (A_2 - A_1) \pm 180° - (L_2 - L_1) \sin B_{ср},$$

где $B_{ср} = (B_2 + B_1)/2$. Здесь B_1, L_1 и B_2, L_2 геодезические координаты пунктов, к центрам которых приведены результаты измерений соответственно прямого и обратного азимутов. Расхождение $A_2 - A_1$ не должно превышать по абсолютной величине 2,5″.

6.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ЗВЕЗД В МЕРИДИАНЕ

Способ определения астрономического или геодезического азимута (с координатами φ, λ или B, L соответственно) из наблюдений звезд в меридиане, в сравнении со способом, изложенным в 6.2, обладает следующими преимуществами:

меньшей трудоемкостью в составлении эфемерид и обработке результатов наблюдений;

более полной компенсацией погрешностей координат звезд и инструментальных погрешностей.

К недостаткам способа следует отнести невозможность его применения в светлое время суток, что вынуждает астронома выполнять всю азимутальную программу исключительно после захода Солнца и, как следствие, может привести к искажению результатов наблюдений погрешностями, обусловленными действием боковой рефракции. Учитывая эту особенность способа, его рекомендуется применять в интервале широт -50— $+50$, в тех случаях, когда физическая поверхность земли, над которой проходит визирный луч на земной предмет, является ровной и однородной, а воздушные массы над ней хорошо перемешиваются.

В программу определения азимута из наблюдений звезд в меридиане, состоящую из 18 приемов, с перестановкой горизонтального круга между последними, включают 9 южных и столько же северных звезд, кульминирующих на зенитных расстояниях 50 –80°. Предпочтение отдается ярким звездам с бо́льшими зенитными расстояниями. Порядок наблюдений звезд (южная — северная, северная — южная и т. д.) в течение вечера или от вечера к вечеру безразличен. В северном полушарии в качестве одной из северных звезд в 5—6 приемах рекомендуется наблюдать Полярную, соблюдая при этом порядок действий в приеме, приведенный в 6 4 Нежелательно включать в программу близполюсные звезды со склонениями, абсолютная величина которых превышает 80°.

До начала и после окончания полевых азимутальных работ наблюдатель должен определить азимутальную лично-инструментальную разность ΔT_a одним из способов, рассмотренных в 6. 5.

Широта основного долготного пункта, на котором определяется личная разность, не должна отличаться от широт полевых пунктов более чем на 10° (кроме районов за северным полярным кругом, для которых всегда основным пунктом является Пулково).

В подготовку к наблюдениям данным способом входят исследования, поверки астрономического теодолита и приборов, входящих в его комплект (см. 11. 24), и составление эфемерид.

До выезда на полевые работы или перед началом азимутальных определений на пункте составляют ведомость эфемерид (табл. 6. 6), в которой приводятся: номер азимутального приема и указание положения верхней части теодолита (КЛ, КП) при первом наведении на земной предмет; отсчеты по горизонтальному кругу M при первом наведении трубы на земной предмет в приеме и отсчеты M', соответствующие месту юга на горизонтальном круге, названные отсчеты вычисляют по формулам, приведенным в предыдущем разделе.

Таблица 66

Ведомость вычисления эфемерид

Пункт *Кругелый* $B_0 = 43°45'$ $A_0 = 45°00'$

Номер приема	M	M'	Номер звезды	Z^*	$s_м$	v_a^*	$M'_{S,\ N}$	$M''_{S,\ N}$	ΔS, мин
1 КЛ	10°05′	325°05′	82*N*	71°44′	15^h23^m	19	324°27′	145°43′	6
2 КП	200 10	155 10	661*S*	71 49	36	7	154 56	335 24	6
3 КЛ	30 15	345 15	98*N*	63 59	48	20	344 35	165 55	5
4 КП	220 20	175 20	663*S*	69 48	58	6	175 08	355 12	5

За 15—20 мин до начала первого вечерового приема выбирают из АЕ FK4 или КГЗ 2—3 звезды, моменты кульминаций которых следуют один за другим через 10—15 мин. В эфемеридах приводятся номера выбранных звезд, зенитные расстояния в момент кульминации, момент кульминаций звезд $s_м^N = \alpha_N + 12^h$, $s_м^S = \alpha_S$, скорости движения звезд по азимуту, выбираемые из таблицы АТ или вычисленные по формуле $v_a 15 \cos\delta \operatorname{cosec} Z_м^*$. В эфемеридах также помещается *угол упреждения*, подсчитанный по формуле $\Delta a = 2v_a$, округленный до целых минут дуги, и момент начала наблюдений земного предмета в приеме $s_н = s_м - \Delta s_м$.

В процессе наблюдений по запросу наблюдателя сообщают зенитное расстояние звезды $Z_м^*$ и отсчеты M'_S и M'_N, на которые

должна быть установлена верхняя часть теодолита для наблюдений соответственно южной и северной звезд в первом полуприеме, вычисляемые по формулам $M'_S = M' - \Delta a$, $M'_N = M' + 180° - \Delta a$.

Для наблюдений звезды во втором полуприеме отсчеты по кругу подсчитывают по формулам $M''_S = M + \Delta a$, $M''_N = M' + \Delta a + 180°$.

При выполнении первых приемов программы значение $\Delta s_м$ принимают равным 6 мин. В дальнейшем величина $\Delta s_м$ может быть уменьшена до 5 мин, что позволит довести общую продолжительность приема до $s_{пр} = 2\,\Delta s_м = 10$ мин.

Рекомендованные выше значения Δa и $\Delta s_м$ являются оптимальными. Однако наблюдатель в каждом конкретном случае должен назначать их сам, с учетом обстановки, сопутствующей наблюдениям, и имеющегося у него опыта азимутальных работ.

Азимутальные наблюдения выполняют в следующем порядке. За 35—40 мин до начала вечерних измерений производится тщательное горизонтирование теодолита и проверка работоспособности всей аппаратуры. За 10—15 мин до начала наблюдений принимают радиосигналы времени и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3). В момент $s_н$ приступают к выполнению первого приема.

1. КЛ, КП. Измеряют направление на земной предмет в объеме и порядке, изложенные в пунктах 1—4 (см. 6.2).

2. КП, КЛ. Устанавливают верхнюю часть теодолита и трубу по эфемеридным данным $Z^*_м$ и $M'_{S,N}$. Подвижную нить микрометра отводят от нуль-пункта на 1,5 оборота навстречу ожидаемому движению звезды. Дают успокоиться пузырьку уровня, заняв место у микрометра теодолита.

3. Регистрируют моменты прохождения звезды на десяти центральных контактах микрометра и измеряют горизонтальное направление на нее, выполняя операции, перечисленные в пункте 6 (см. 6.2).

4. Переводят трубу через зенит и закрепляют на зенитном расстоянии $Z^*_м$ той же звезды. Для наблюдения при втором положении верхнюю часть теодолита вращают алидаду по ходу часовой стрелки, устанавливая на отсчет $M''_{S,N}$, взятый из эфемерид. Занимают место у микрометра на период успокоения пузырька уровня.

5. Регистрируют моменты прохождения звезды на десяти центральных контактах микрометра и измеряют горизонтальное направление на нее, выполняя операции, перечисленные в пункте 6 (см. 6.2).

6. Измеряют направление на земной предмет в порядке и объеме, перечисленные в пунктах 9—12 (см. 6.2).

7. Готовят теодолит к следующему приему в соответствии с указаниями пункта 13 (см. 6.2).

Результаты измерений записывают в журнал, форма которого аналогична приведенной в табл. 6.2.

В процессе выполнения азимутальных наблюдений в приеме помощник производит предварительные вычисления, а затем и камеральную обработку (табл. 6.7 и 6.8).

Таблица 6.7

Вычисление азимута и свободных членов

$B = 43°44'56,35''$ $L = 2^h50^m41,750^s$ $A_0 = 45°00'20,00''$

Дата 1979 г. Номер приема Номер звезды	1/2 августа 1КЛ 82N	1/2 августа 2КП 661S
T	$15^h21^m45,164^s$	$15^h34^m40,557^s$
ΔT_a	+66	+66
u	+1 09,562	+1 09,562
Σ_1	+102	+41
s	15 22 54,894	15 35 50,226
α	3 22 53,674	15 35 47,076
t	12 00 01,220	00 00 03,150
δ	+64°30,9′	−28°04,0′
Z^*	71 43,2	71 48,9
$15''\cos\delta$	6,454	13,232
$\operatorname{cosec} Z^*$	1,053	1,052
a^*	180°00′08,29″	0°00′43,85″
Q	225 00 21,60	45 00 02,19
$\Delta a_ц$	+21	+21
$\Delta a_{бг}$	−56	−54
A'	45 00 21,25	45 00 45,71
A_n	45 00 20,00	45 00 20,00
l	−1,25	−25,71

Азимуты звезд a_S и a_N находят по формуле

$$a_{S,N} = 15'' t_{S,N} \cos\delta \cdot \operatorname{cosec} Z_м,$$

где часовые углы $t_S = s_S - \alpha_S$, $t_N = s_N - \alpha_N \pm 12^h$ выражаются в секундах времени Азимуты здесь считаются для южной звезды от южной части меридиана, для северной — от северной. Для приведения в единую систему, в которой счет идет от точки юга, применяют формулы $a_S^* = 0° + a_S$ и $a_N^* = 180° + a_N$, после чего выполняют последующие вычисления.

Таблица 68

Составление уравнений поправок. Решение нормальных уравнений. Оценка точности

Номер приема	Номер звезды	ΔA	η	l	v
1	82N	+1	+0,331	—1,25″	+0,58″
2	661S	+1	—0,329	—25,15	+0,86
3	98N	+1	+0,488	+3,98	+0,06
4	663S	+1	—0,368	—27,92	—0,48
5	112N	+1	+0,257	—4,00	+0,54
6	404S	+1	—0,719	—40,02	+0,28
7	125N	+1	+0,185	—7,04	+0,14
8	134N	+1	+0,253	—6,15	—1,46
9	661S	+1	—0,329	—29,94	—0,93
10	98N	+1	+0,488	+5,04	+1,12
11	106N	+1	+0,227	—6,25	—0,61
12	665S	+1	—0,378	—27,04	+0,77
13	404S	+1	—0,719	—40,47	—0,17
14	125N	+1	+0,185	—5,61	+1,57
15	413S	+1	—0,589	—35,14	+0,40
16	661S	+1	—0,329	—26,91	—0,90
17	98N	+1	+0,488	+2,46	—1,46
18	663S	+1	—0,368	—27,74	—0,30

$\Delta A = +13{,}96''$

$m_A = \pm 0{,}21''$

$A_п$	45°00′20,00″
ΔA	+13,96
ΔA_l	+0,20
ΔA_r	+1,18
ΔA_p	+0,07
$\Delta A_н$	+0,02
A	45 00 35,43±0,41″

$M_A = \pm 0{,}41''$.

+18	—1,226	—296,15
—1	+0,068	+16,45
	+3,193	+134,11
	—0,083	—20,14
	+3,110	+113,97

η —36,64″

p_η 3,1

$[vv] = 12{,}60, \qquad \mu = \pm 0{,}89'', \qquad m_\eta = \pm 0{,}50''$

В формулах вычисления азимута A' направления на земной предмет значение поправки за ускорение движения звезды по азимуту ΔA_{Wa} принимается равным нулю. Уравнения поправок имеют вид $\Delta A - \eta \operatorname{ctg} Z^* \cos a^* + l = v$, а система нормальных уравнений

$$[aa]\,\Delta A + [ab]\,\eta + [al] = 0;$$

$$[bb]\,\eta + [bl] = 0,$$

из решения которых определяют два неизвестных ΔA и η и производят оценку их точности.

6.4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ПО ЧАСОВОМУ УГЛУ ПОЛЯРНОЙ

Способ определения азимута по часовому углу Полярной целесообразно применять в интервале широт $+60 - +10°$ в тех случаях, когда кроме азимута на пункте определяются астрономические широта и долгота. К достоинствам способа следует отнести простоту составления эфемерид и измерений направлений на Полярную, а также отсутствие необходимости в определении азимутальной лично-инструментальной разности до и

после полевых работ. Основным недостатком способа является большая вероятность искажения результатов наблюдений систематической погрешностью, вызываемой неправильностями фигур цапф и смещением оптико-механических компонентов трубы, формирующих визирную линию. Так как на каждом пункте Полярная наблюдается на одном и том же зенитном расстоянии, то и погрешности, функционально связанные с этим зенитным расстоянием, будут носить систематический характер, достигая по величине 0,6—1,0″ для теодолитов АУ 2/10 и Вильд Т4 в широтах 40—70°. Поэтому при исследовании астрономического теодолита особое внимание следует обратить на форму цапф и боковое гнутие трубы. Предпочтительнее периодическое определение азимутальной поправки теодолита (см. 11.18).

Этим способом можно наблюдать азимут до захода Солнца, поэтому рекомендуются дневные наблюдения, существенно уменьшающие влияние рефракции.

Вычисление эфемерид выполняют до начала наблюдений в следующем порядке.

Пользуясь расчетным моментом $s_н$ начала наблюдений и широтой φ_0 пункта, известной с погрешностью 1—2′, из «Таблицы высот и азимутов Полярной» АЕ выбирают на табличные моменты, следующие за моментом $s_н$, величины f и a на предполагаемый период работ на пункте. По формулам $Z^* = (90° - \varphi_0) - f$, $a^* = 180° + a$ вычисляют зенитные расстояния и азимут Полярной.

Отдельно составляют таблицу, в которую заносят:

— номера азимутальных приемов с указанием положения (КЛ, КП) верхней части теодолита, при котором будет производиться первое наведение на земной предмет в приеме;

— отсчеты M по кругу при первом наведении на земной предмет и отсчеты M', соответствующие месту юга на горизонтальном круге (см. 6.2).

Зная азимут Полярной на каждый данный наблюдателем момент времени, помощник в процессе наблюдений вычисляет отсчет по горизонтальному кругу $M^* = M' + a^*$, соответствующий вертикалу Полярной.

Определения азимута выполняют в следующем порядке. За 35—40 мин до начала вечерних измерений производят тщательное горизонтирование теодолита и проверку работоспособности всей аппаратуры. За 10—15 мин до начала первого приема принимают радиосигналы времени и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3). Приступают к выполнению первого приема.

1. Измеряют направление на земной предмет в объеме и порядке, указанные в пунктах 1—4 (см. 6.2).

2. Трубу теодолита закрепляют на зенитном расстоянии Z^* Полярной. Вращая верхнюю часть теодолита, устанавливают на отсчет M^*. Вращая наводящие винты алидады и трубы приводят изображение Полярной на подвижную нить в точку,

Таблица 6.9

Журнал наблюдений

Пункт *Южный* Прием 7 10/11 июля 1980 г.
Теодолит АУ 2/10 Хронометр «Альтаир»
$\mu_{гт} = 1{,}150''$ $\mu_{пт} = 1{,}420''$ $\tau = 2{,}257''$ $Z = 54°50'$

ГТ	ПТ	Горизонтальный круг А	Горизонтальный круг Б	1/2 (А + Б)	Поправки	ГТ	ПТ	Горизонтальный круг А	Горизонтальный круг Б	1/2 (А + Б)	Поправки
		КЛ				*Земной предмет*				КП	
97,9	1,0	70°35′24,1″	24,2	70°35′28,35″	−2,42″	96,2	0,7	250°35′11,9	12,0	250°35′14,00″	+4,41″
98,0	0,9	24,1	24,3		+1,70	96,2	0,5	12,1	12,0		+0,99
97,8	1,7	28,2	28,5			96,1	0,9	14,0	14,0		
97,90	1,20			КЛ$_1$ 70°35′27,63″		96,17	0,70	$M_1 = 70°35'23{,}52''$		КП$_1$ 250°35′19,40″	
						$C_1 = +4{,}12''$					
		КП				*Полярная*				КЛ	
97,3	3,6	29,7—12,5		06 27 10,0		06 30 31,5	97,7	1,7	30,3—13,0		
97,1	3,5	12,7—30,0		20,0		41,0	97,6	1,8	12,2—29,5		
97,3	3,7	42,4—42,5		30,0		52,0	97,9	1,6	42,5—42,5		
97,4	3,9	$X = 42{,}45$		40,0		62,0	97,8	1,8	$X = 42{,}50$		
97,2	3,7	$_0$(Л+П) = 42,70		50,0		72,0	97,9	1,5	$_0$(Л+П) = 41,70		$M = 70°35'23{,}75''$
97,26	3,68	$b_1 = -0{,}25$		06 27 30,0		06 30 51,7	97,78	1,68	$b_2 = +0{,}80$		$M^* = 204\ 39\ 03{,}34$
		Горизонтальный круг				Горизонтальный круг					$Q = 225°56'20{,}41''$
24 38 42,2		41,9	24°38′44,00″	+3,85″		204 39 11,0	11,2	204°39′12,40″	−3,12″		
41,8		42,1		+6,39		11,0	11,6		+2,92		
44,0		44,0		−0,11		12,0	12,8		+0,35		
		$M_{КП} = 24''38'54{,}13''$						$M_{КЛ} = 204°39'12{,}55''$			
		$M^* = 204°39'03{,}34''$				$T = 06^h29^m10{,}85^s$			$D = 4{,}07$		
		КЛ				*Земной предмет*				КП	
3,3	2,4	70°35′20,0	13,8	70°35′20,00″	+3,76″	2,5	2,4	250°35′20,0	14,8	250°35′19,90″	−2,65″
3,4	2,6	20,2	21,0		+3,55	2,1	2,2	20,0	20,0		+3,41
3,1	2,5	20,2	19,8			2,3	2,6	20,0	19,8		
3,27	2,50	КЛ$_2$ = 70°35′27,31″		$M_2 = 70°35'23{,}98''$		2,30	2,40	КП$_2$ = 250°35′20,66″			
				$C_2 = +3{,}32''$							

Примечание. Условные обозначения идентичны с табл. 5.2.

где наблюдался земной предмет. Дают успокоиться пузырьку уровня.

3. Берут отсчеты по шкале уровня и по горизонтальному кругу, дважды совмещая изображения противоположных штрихов лимба. Наблюдатель и помощник по команде первого пять раз подряд с интервалами в 10—15 с наводят подвижные нити микрометров главной и поверительной труб на изображения Полярной и миры соответственно. Каждое наведение сопровождают отсчетом по шкалам микрометров и регистрацией момента наведения по хронометру. Вторично отсчитывают уровень.

4. Переводят трубу через зенит и вновь закрепляют ее на зенитном расстоянии Полярной. Вращая верхнюю часть теодолита, приводят изображение Полярной в поле зрения трубы. Работая наводящими винтами, совмещают изображение с подвижной нитью, установленной в нуль-пункте, в точке (по высоте), где наблюдался земной предмет. Дают успокоиться пузырьку уровня.

5. Выполняют измерения по пункту 3.

6. Измеряют направление на земной предмет в порядке и объеме, указанном в пунктах 9—12 (см. 6.2).

7. Готовят теодолит к следующему приему в соответствии с указаниями пункта 13 (см. 6.2).

Результаты измерений записывают в журнал наблюдений (табл. 6.9).

В процессе выполнения азимутальных наблюдений в приеме помощник производит вычисления и контроль (см. 6.2).

При дальнейшей обработке журнала наблюдений и проведений последующих вычислений используют формулы п. 6.2. с учетом следующих изменений:

отсчеты по горизонтальному кругу, взятые в полуприемах наблюдения Полярной, дополнительно исправляются поправкой $M_г$ за микрометр главной трубы, так что $M_{КЛ,КП} = КЛ\,(КП) + \Delta M_г + \Delta M_п$, где $M_г = \Delta M'_г \mu_г \operatorname{cosec} Z^*$, причем значения зенитного расстояния Полярной вычисляют до 0,1′ для каждого приема.

Поправку Σ_1 принимают равной нулю, а азимут Полярной в средний момент ее наблюдений в приеме подсчитывают по формуле

$$\operatorname{tg} a^* = \frac{\operatorname{tg}(90° - \delta)\sec\varphi \sin t}{\operatorname{tg}(90°-\delta)\operatorname{tg}\varphi\cos t - 1}$$

(табл. 6.10). Поправку за ускорение движения Полярной по азимуту вычисляют по формуле

$$\Delta A_{Wa} = -0{,}68'' D \sin 2a^*,$$

поправку за суточную аберрацию $\delta a = +0{,}32''$ вводят в вычисленные значения a^* азимута.

Уравнивания не производят; вычисляют простое среднее значение азимута из всех приемов и уклонения от него v в каждом приеме.

Ошибку единицы веса подсчитывают по формуле

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}},$$

Таблица 6.10

Вычисление азимута и оценка точности

с пункта *Южный* ($\varphi = 36°00'00,00''$, $\lambda = 4^h10^m01,018^s$) на пункт *Павловка*

Дата, 1980 г	10/11 июля
Номер приема	7
T	$6^h29^m10,85^s$
u	+1 07,95
Σ_1	+1,17
s	6 30 19,97
α	2 12 08,66
t	4 18 11,31
δ	89°10'06,08''
$\sin t$	0,902 9391
$\operatorname{tg}(90°-\delta)$	0,01 5162
$\sec\varphi$	1,236 0678
l	0,016 2013
$tg\varphi$	0,726 5420
$\cos t$	0,429 7686
II	0,004 5325
$II - 1$	−0,995 4675
$\operatorname{tg} a^*$	−0,016 2751
a^*	179°04'03,35''
Q	225 56 20,41
Σ_2	+1,24
A_i'	45°00'25,00''

Номер приема	A_i'	v_i
1	45°00'24,02''	+0,97''
2	24,18	+0,81
3	25,76	−0,77
4	24,35	+0,64
5	25,02	−0,03
6	24,71	+0,28
7	25,00	+0,01
8	24,84	+0,15
9	25,46	−0,47
10	25,72	−0,73
11	25,98	−0,99
12	25,11	−0,12
13	24,32	+0,67
14	24,84	+0,15
15	25,33	−0,34
16	25,51	−0,52
17	24,78	+0,21
18	24,90	+0,09
A	45°00'24,99''	
μ	±0,56	
m_A	±0,13	

Вычисление расхождения прямого и обратного азимутов

$A_{1,2}$	45°00'24,99''	с п. Южный на п. Павловка
$A_{2\,1}$	225 02 19,28	с п. Павловка на п. Южный
φ_1	36 00 06,00	λ_1 $4^h10^m01,018^s$
φ_2	36 10 14,2	λ_2 4 10 13,836
$\varphi_{ср}$	36 05 10,1	$\lambda_1 - \lambda_2$ 12,818
$\sin\varphi_{ср}$	0,589000	

$$\Delta A = -114,29 - [15 \times (-12,818) \times 0,589000] = -114,29'' + 113,25'' = -1,04''$$

$$A_{1,2}^{ср} = 45°00'24,99'' - (-0,52'') = 45°00'25,51''$$

а ошибку среднего значения азимута, которая характеризует собой погрешность определения астрономического азимута — по формуле

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

Для оценки точности геодезического азимута, вычисленного по измеренному астрономическому и исправленному поправкой $\Delta a_\lambda = -(\lambda - L)\sin\varphi$, так что $A = a + \Delta a_\lambda$, используют формулу

$$M_A = \sqrt{m_a^2 + (M_\lambda \sin\varphi)^2}, \qquad (6.5)$$

где M_λ — средняя квадратическая погрешность определения долготы пункта с учетом погрешностей ЛИР.

Погрешность M_A и является критерием точности определения геодезического азимута косвенным методом: из наблюдений Полярной и долготных определений.

Расхождения между прямым и обратным азимутами данного направления с учетом сближения меридианов вычисляется по формуле

$$\Delta A = (A_{1,2} - A_{2,1} \pm 180°) - 15(\lambda_1 - \lambda_2)\sin\varphi_{ср},$$

где $A_{1,2}$, $A_{2,1}$ — значения прямого и обратного азимутов, λ_1, λ_2 — астрономические долготы пунктов, $\varphi_{ср} = 1/2(\varphi_1 + \varphi_2)$ — средняя широта пунктов.

Расхождение ΔA не должно превышать по абсолютной величине 2,5″. Для направления 1—2 среднюю величину астрономического азимута находят по формуле $A^{ср}_{1,2} = A_{1,2} - \Delta A/2$.

Он может быть также найден и по формуле

$$A^{ср}_{1,2} = 1/2\,[A_{1,2} + A_{2,1} \pm 180° + 15(\lambda_1 - \lambda_2)\sin\varphi_{ср}].$$

6.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТАЛЬНОЙ ЛИЧНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ РАЗНОСТИ (АЛИР)

6.5.1. Общие положения

Поправка ΔT_a в моменты наблюдений звезд является азимутальной лично-инструментальной разностью (АЛИР) и определяется на основных долготных пунктах, широта которых не отличается более чем на 10° от широт полевых пунктов, где измеряются азимуты способами, рассмотренными в 6.2 и 6.3. Поправка ΔT_a представляет собой в основном личную погрешность наблюдателя, обусловленную систематической неточностью при сопровождении звезды подвижной нитью контактного микрометра. Постоянные инструментальные погрешности астрономического теодолита в рассматриваемых ниже способах определений азимутальной разности в значительной мере ослабляются, если северные и южные звезды наблюдаются на одинаковых зенитных расстояниях.

Поправку ΔT_a определяют либо из наблюдений пар звезд в общем вертикале, близком к меридиану, либо из наблюдений звезд в меридиане.

Первый способ является более предпочтительным, так как при его использовании полнее компенсируются погрешности, вызываемые азимутальными сдвигами (кручением) астрономического теодолита и его частей между наблюдениями звезд пары. Однако применение этого способа не может быть распространено на все широтные зоны земного шара из-за необходимости наблюдать северные (южные) звезды только в нижней кульминации. Поэтому азимутальную разность данным способом рекомендуется определять в тех случаях, когда долготные пункты (а следовательно, и полевые пункты) расположены в зоне широт 40° и более для северного и южного полушарий Земли. В широтах $-40 - +40°$ азимутальную разность определяют из наблюдений звезд в меридиане.

Независимо от того, какой из двух способов применяется, поправку ΔT_a определяют дважды: до и после полевых азимутальных работ. Программа каждого из этих двух определений включает в себя наблюдения 40 пар звезд, регистрируемых в интервале зенитных расстояний 40—70°, в течение четырех вечеров (не менее). Предпочтение отдается звездам с меньшими зенитными расстояниями. Наблюдения пар звезд выполняют между приемами радиосигналов времени, которые рекомендуется принимать при использовании механических хронометров не реже чем через 2 ч.

Средним значением поправки за азимутальную лично-инструментальную разность $\Delta T_a = (\Delta T_1 + \Delta T_2)/2$ из начального ΔT_1 и заключительного ΔT_2 определений исправляют результаты измерений азимутов на полевых пунктах при окончательной обработке. При полевых вычислениях поправка за азимутальную разность не учитывается.

6.5.2. Определение азимутальной лично-инструментальной разности из наблюдений пар звезд в общем вертикале

Для определения азимутальной лично-инструментальной разности данным способом производятся наблюдения пары звезд — северной и южной — в общем вертикале, близком к меридиану. Горизонтальный круг не отсчитывается. Порядок наблюдений звезд пары следующий:

1) круг право (лево) — северная звезда,
2) круг лево (право) — южная звезда,
3) круг право (лево) — южная звезда,
4) круг лево (право) — северная звезда.

Переход от пункта 1 к 2 и от пункта 3 к 4 производится простым переводом трубы через зенит. Северные звезды наблюдаются только в нижней кульминации. Одни и те же северные (южные) звезды могут наблюдаться в парах с несколькими южными (северными) при условии, что вертикал наблюдений звезд пары отстоит от меридиана не более чем на 4°.

Последнее условие будет выполнено автоматически, если разность между прямыми восхождениями звезд пары находится в пределах $\Delta\alpha = 12^h \pm 12^m$.

Подготовку к наблюдениям начинают с составления эфемерид. Для подбора звезд используют АЕ, а в тех случаях, когда интервал между смежными парами получается слишком большим (15 мин и более), из КГЗ подбирают дополнительные звезды. Вычисление эфемерид (табл. 6.11) ведут в следующем порядке.

Таблица 6.11

Ведомость вычисления эфемерид

Основной долготный пункт г. *Москва*, $\varphi = 55°42'$

Номер звезды	α	$\Delta\alpha$	v_a	$v_S - v_N$	Δs	s	Δa	A	ΔA
28N	$01^h09,9^m$		9,3						
319S	13 01,2	$-8,7^m$	20,8	11,5	$-15,7^m$	$12^h54,2^m$	$-2°26'$	$177°34'$	$30'$
320S	08,9	$-1,0$	17,1	7,8	$-2,2$	13 07,7	$+0$ 20	180 20	36
323S	16,5	$+6,6$	19,2	9,9	$+12,8$	22,7	$+1$ 59	181 59	32

Пользуясь моментом начала наблюдений $s_н$ и широтой φ основного долготного пункта, выбирают северные звезды с прямыми восхождениями $\alpha_н \geqslant s_н \pm 12^h$, кульминирующие в заданном диапазоне зенитных расстояний (см. 6.5.1).

К каждой северной звезде подбирают все имеющиеся южные звезды, прямые восхождения которых находятся в интервале $\alpha_S = \alpha_N \pm 12^h \pm 12^m$.

Для каждой южной звезды и данной северной находят разности $\Delta\alpha = \alpha_N - \alpha_S \pm 12^h$.

Из таблицы АТ выбирают или по формуле $v_a = 15 \cos\delta \operatorname{cosec} z^*$ подсчитывают скорости движения северных и южных звезд по азимуту.

Вычисляют величины

$$\Delta s = \frac{\Delta\alpha v_S}{v_S - v_N}$$

и $\Delta a = \Delta s v_N$.

Определяют момент s, когда обе звезды пары находятся в одном вертикале $s = \alpha_N + \Delta s \pm 12^h$. Для контроля правильности вычислений применяют формулу $\Delta a = (s - \alpha_S) v_S$.

По формуле $a = 180° + \Delta a$ находят азимут северной части этого вертикала. Из табл. 6.12 по скоростям северной и южной звезд пары выбирают угол упреждения ΔA. По формулам

$$z^*_S = \varphi - \delta_S \text{ и } z^*_N = (180° - \varphi) - \delta_N$$

вычисляют зенитные расстояния звезд.

После того как названные вычисления выполнены для всех подобранных звезд, составляют рабочие эфемериды (табл. 6.13), располагая пары в порядке возрастания средних моментов наблюдений.

Таблица 6.12

Углы упреждения

v_S	v_N									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	12′	12′	14′	15′	15′	18′	25′			
14			14	15	18	24	28			
15			15	15	18	23	28	35′		
16			16	16	18	23	27	35		
17				17	18	21	26	34	40′	
18				18	18	21	26	33	39	40′
19				19	19	21	25	30	38	40
20				20	20	21	25	29	36	40
21					21	21	24	28	34	40
22					22	22	24	27	32	39
23					23	23	24	26	30	37
24					24	24	24	25	28	35
25					25	25	25	25	28	33
26					26	26	26	26	28	33

Таблица 6.13

Рабочие эфемериды для определения азимутальной разности

Номер звезды	m	s	z^*	$A_{N,S}$	$v_{N,S}$
28N	4,5	$12^h54,2^m$	69°1′	177°04′	9,3
319S	3,0		44,38	358 04	20,8
28 N	4,5		69,13	179 44	9,3
		13 07,7			
320S	4,5		61 08	0 56	17,1
28 N	4,5		69 13	181 27	9,3
323S	5,0	22,7	50,07	2 31	19,2

Установочные азимуты a_N и a_S находят по формулам $a_N = a - \Delta A$ и $a_S = a \pm 180° + \Delta A$. Отсчет их ведется от точки юга.

Теодолит, с помощью которого предполагается выполнять определения азимутальной лично-инструментальной разности, должен быть исследован в объеме, приведенном в 11.24.

За 35—40 мин до начала наблюдений теодолит тщательно горизонтируют. Горизонтирование между наблюдениями звезд пары недопустимо, а внутри вечера не рекомендуется из-за возможного влияния упругих деформаций на азимутальную стабильность теодолита.

За 10—15 мин до начала вечерних наблюдений производят прием радиосигналов времени и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3), используя для этой цели долготу λ основного пункта.

Наблюдения каждой пары звезд выполняют в следующем порядке.

1. За 5—6 мин до эфемеридного момента s трубу астрономического теодолита закрепляют на зенитном расстоянии северной звезды пары. Алидаду поворачивают и устанавливают по азимуту a_N. Подвижную нить микрометра отводят от нуль-пункта на 1.5 оборота навстречу ожидаемому движению звезды.

2. При появлении звезды в поле зрения трубы и подходе ее к подвижной нити на расстояние, равное 2—3 оборота, берут отсчеты сначала по левому, а затем по правому концам пузырька уровня (для наблюдателя, обращенного лицом к звезде). Наводящим винтом трубы устанавливают изображение звезды вблизи горизонтальной нити, в удалении от нее по высоте на 0,3—0,5 оборота, всегда с одной и той же стороны (например, между горизонтальной нитью и шкалой оборотов). Когда звезда в своем движении достигнет подвижной нити, дают команду помощнику на включение регистрирующего устройства и, вращая ручки привода микрометра, удерживают нить на изображении звезды до тех пор, пока не будет зафиксировано десять центральных контактов микрометра. Закончив наблюдение звезды, вторично берут отсчеты по шкале пузырькового уровня. Запись ведут в журнале (табл. 6.14).

3. Не сдвигая верхнюю часть теодолита по азимуту, осторожно переводят трубу через зенит и закрепляют ее на зенитном расстоянии южной звезды пары.

4. Выполняют операции, перечисленные в пункте 2, наблюдая южную звезду.

5. Переводят трубу через зенит и снова закрепляют ее на зенитном расстоянии южной звезды пары. Верхнюю часть теодолита поворачивают и устанавливают на отсчет Ms по горизонтальному кругу.

6. Выполняют операции, перечисленные в п. 2 и 3, наблюдая южную и северную звезды пары. Закончив наблюдения, готовят теодолит к наблюдениям следующей пары.

В процессе наблюдений помощник записывает в журнал отсчеты по уровню, а в камеральных условиях расшифровывает ленту и выписывает моменты регистрации звезд в каждом полуприеме, симметрично расположенные и одноименные для обеих звезд пары.

Таблица 6.14

Журнал наблюдений

Теодолит *АУ 2/10* $\tau = 0{,}118^s$ $\Delta T_{мш} = +0{,}070^s$

Пара № *5*

Дата *27/28 мая 1980 г.*

Звезда 28N
$Z^*_N = 69°10'$ $\cos Z^*_N = 0{,}355$
Уровень

	КЛ	КП
	26,5 — 10,3	9,6 — 26,0
	26,4 — 10,4	9,6 — 26,0
$(Л + П)_{ср}$	36,80	35,60

$b_N = -1{,}20$
$\Delta T_{b_N} = -0{,}024^s$

Звезда 323S
$Z^*_S = 50°08'$ $\cos Z^*_S = 0{,}640$
Уровень

КП	КЛ
11,1 — 27,4	26,9 — 10,6
11,2 — 27,4	26,9 — 10,6
38,55	37,50

$b_S = +1{,}05$
$\Delta T_{b_S} = +0{,}038^s$

$T_л$	$T_п$	T_N	$T_п$	$T_л$	T_S
$13^h19^m39{,}34^s$	$13^h27^m06{,}08^s$	$13^h23^m22{,}71^s$	$13^h21^m45{,}00^s$	$13^h24^m16{,}00^s$	$13^h23^m00{,}50^s$
41,79	03,88	84	46,05	14,96	50
44,10	27 01,43	76	47,15	13,76	46
46,53	58,92	72	48,38	12,67	52
48,89	56,54	72	49,57	11,51	54
51,43	54,24	84	50,77	10,28	52
53,79	51,72	76	51,92	09,15	54
56,04	49,35	70	52,98	07,99	48
58,59	46.89	74	54,16	06,84	50
13 20 00,82	26 44,67	74	55,42	05,68	55
13 19 50,132	13 26 55,372	13 23 22,753	13 21 50,140	13 24 10,884	13 23 00,512

$T_л - T_п = -425^s$ $D = 18{,}1$ $T_л - T_п = 140^s$, $D = 1{,}96$

При обработке результатов в журнале вычисляют показания жидкостного уровня по каждой паре отсчетов $b'_0 = (Л + П)'_0$, $b''_0 = (Л + П)''_0$, ${}_0b' = {}_0(Л + П)'$, ${}_0b'' = {}_0(Л + П)''$. Находят средние показания уровня в каждом полуприеме наблюдений звезд $b_0 = (b'_0 + b''_0)/2$, ${}_0b = ({}_0b' + {}_0b'')/2$, а затем и значение наклона для каждой звезды $b = ({}_0b - b_0)/2$.

Для каждой звезды вычисляют величину

$$\Delta T_b = b \frac{\tau^s}{2} \cos Z^*.$$

Находят средние моменты наблюдений звезд в полуприемах $T_{КЛ(КП)}$, а затем и в приемах $T_{N,S} = (T_{КЛ} + T_{КП})/2$.

Вычисляют аргументы $D_{N,S}$ поправок за ускорение движения звезд по азимуту:

$$D_{N,S} = \left(\frac{T_{КЛ} - T_{КП}}{100}\right)^2$$

Числитель этой формулы должен быть выражен в секундах времени.

Переносят в вычислительную ведомость средние моменты наблюдений звезд T_N и T_S, поправку хронометра u на момент T_N, вычисленную в порядке, указанном в 2.3.

Из АЕ, FK4 или КГЗ выбирают видимые координаты звезд α и δ. Прямые восхождения звезд должны быть исправлены поправками за короткопериодическую нутацию.

По формуле

$$\Sigma_1 = (\Delta T_{МШ} - 0{,}021^s \cos\varphi \cos a^* + \delta_i) \sec\delta$$

вычисляют поправку за мертвый ход, ширину контактов микрометра (см. 11.14, 11.15), суточную аберрацию и наклон горизонтальной оси. Значение $\cos a^*$ в этой формуле принимают равным единице, учитывая при вычислениях лишь знак этой функции, азимут звезд в которой a^* считается от точки юга.

По формуле $s = T + u + \Sigma_1$ находят местное звездное время наблюдений звезд, а по формуле $t = s - \alpha$ — часовые углы.

Подсчитывают значение

$$\operatorname{tg} a_0^* = \frac{\sin t}{\sin\varphi \cos t - \cos\varphi \operatorname{tg}\delta},$$

а затем и азимуты a_{0N}^* и a_{0S}^*. Окончательное значение последних получают из выражения $a_{N,S}^* = a_0^* + \Delta a_{Wa}^* + \Delta a_{вл}^*$, где $\Delta a_{Wa}^* = DK \sin 2a_0^*$ — поправка за ускорение движения звезд по азимуту, а $\Delta a_{вл}^*$ — за азимутальные колебания горизонтальной оси (см. 11.18).

В тех случаях, когда вместо поправки $\Delta a_{вл}^*$ определялись раздельные поправки за неправильности фигур цапф $\Delta a_ц^*$ (см. 11.20) и боковое гнутие трубы $\Delta a_{бг}^*$ (см. 11.17), азимуты звезд вычисляют по формуле

$$a_{N,S}^* = a_0^* + \Delta a_{Wa}^* + \Delta a_ц^* + \Delta a_{бг}^*.$$

По формуле

$$\Delta T_a^i = \frac{a_N^* - a_S^*}{v_S - v_N}$$

находят значения азимутальной лично-инструментальной разности ΔT_a^i для каждой пары звезд.

Завершив программу весеннего (осеннего) определения, вычисляют среднее значение азимутальной разности

$$\Delta T_a^i = \frac{1}{n} \sum_{n}^{i=1} \Delta T_a^i$$

и уклонения v_i отдельных значений ее от среднего (табл. 6.15). Пары, в которых уклонения v_i по абсолютной величине больше чем $0{,}1^s \sec\varphi$, из обработки исключают Взамен их производят наблюдение новых пар, после чего вновь вычисляют среднее значение $\Delta T_a'$ и уклонения v_i.

Таблица 6.15

Вычисление азимутальной разности. Оценка точности

Дата Номер пары	27/28 мая 1980 г 5	
Номер звезды	28N	323S
T	$13^h23^m22{,}752^s$	$13^h23^m00{,}512^s$
u	−0,350	−0,350
Σ_1	+0,099	+0,096
s	13 23 22,501	13 23 00,258
α	−1 09 52,350	−13 16 36,966
t	12 13 30,151	0 06 23,292
δ	55°02′24,50″	5°34′27,11″
φ	55°45′39,00″	
$\sin\varphi$	0,8266961	
$\cos t$	−0,9982652	0,9996116
$I = \sin\varphi\cos t$	−0,8252618	0,8263749
$\cos\varphi$	0,5626486	
$\operatorname{tg}\delta$	1,4302791	0,0975961
$II = -\cos\varphi\operatorname{tg}\delta$	0,8047441	0,0549122
$\sin t$	−0,0588812	0,0278701
$I - II$	−1,6300059	0,7714627
$\operatorname{tg} a_0^*$	0,0361232	0,0361263
$a^*_{0\,N,\,S}$	182°04′07,60″	2°04′08,17″
Δa^*_{Wa}	−0,22	−0,10
$\Delta a^*_{вл}$	+0,15	+0,23
$a^*_{N,\,S}$	182 04 07,63	2 04 08,70
$a^*_N - a^*_S$	−0,93″	
$v_S - v_N$	9,9	
	$\Delta T_a' = -0{,}094^s$	

Дата 1980 г	Номер пары	$\Delta T_a'$	v_i
27/28 мая	1	$-0{,}078^s$	$+0{,}013^s$
	2	− 22	− 43
	3	+ 12	− 77
	4	− 67	+ 8
	5	− 94	+ 29
	6	+ 21	− 86
	7	− 34	− 31
	. . . . .	. . . .	. . . .
	. . . . .	. . . .	. . . .
	. . . . .	. . . .	. . . .
5/6 июня	38	− 91	+ 26
	39	− 87	+ 22
	40	− 25	− 40
	41	+ 8	− 73
	42	− 76	+ 11

$\Delta T' = -0{,}065^s$, $[vv]\ 0{,}1476$

$\mu = \pm 0{,}060^s$ $\mu_{доп} = \pm 0{,}116$

$m_{\Delta T_a} = \pm 0{,}009^s$ $m_{доп} = \pm 0{,}018^s$

$\Delta T_a' - 0{,}094^s$

$\Delta T_{i\ T1} - 0{,}012$

$\Delta T_P + 0{,}018$

$\Delta T_1 = -0{,}059^s \pm 0{,}009^s$

Находят среднюю квадратическую погрешность единицы веса

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}},$$

где n — число пар, входящих в программу. Она не должна превышать $\mu \leqslant = \pm 0{,}065^s \sec \varphi$.

Вычисляют среднюю квадратическую погрешность $m_{\Delta T_a}$ определения азимутальной разности по всему материалу наблюдений

$$m_{\Delta T_a} = \frac{\mu}{\sqrt{n}}.$$

Она (4.5) не должна быть больше $m_{\Delta T_a} \leqslant \pm 0{,}010^s \sec \varphi$. После получения бюллетеней серии Е «Всемирное время» значение $\Delta T'_a$ исправляют поправкой ΔT_{UT} за разность шкал всемирного и координированного времени и поправкой ΔT_p за приведение к среднему полюсу, так что $\Delta T = T'_a + \Delta T_{UT1} + \Delta T_p$. Поправки ΔT_{UT1} и ΔT_p вычисляются в соответствии с указаниями в 2.3 и 8.4 соответственно.

Окончательную поправку за азимутальную лично-инструментальную разность вычисляют как среднее из начального и заключительного значений:

$$\Delta T_a = (\Delta T_1 + \Delta T_2)/2.$$

Одновременно оценивают точность определения поправки ΔT_a

$$M_{\Delta T_a} = \frac{1}{2}\sqrt{(m_{\Delta T_1})^2 + (m_{\Delta T_2})^2}. \qquad (6.6)$$

Поправкой ΔT_a исправляют средние моменты звезд в приемах, а погрешность определения этой поправки используют при подсчете средней квадратической погрешности определения азимута.

6.5.3. Определение азимутальной лично-инструментальной разности из наблюдений пар звезд в меридиане

В данном способе звезды наблюдаются раздельно, каждая при двух положениях верхней части теодолита: сначала северная, а затем южная, или наоборот. Для исключения систематической части погрешности, вызываемой равномерным азимутальным кручением астрономического столба или теодолита и его частей в период наблюдений пары, рекомендуется чередовать порядок наблюдений звезд в парах (N — S, S — N и т. д.).

Подготовку к наблюдениям начинают с составления эфемерид, вычисление которых ведут в следующем порядке. Пользуясь расчетным моментом $s_н$ начала вечерних наблюдений и широтой φ основного долготного пункта, выбирают из АЕ или КГЗ первую звезду, кульминирующую в интервале зенитных расстояний 40—70°, через 5—6 мин после момента $s_н$. Экваториальные координаты α и δ звезды записывают в ведомость вычислений эфемерид. К первой звезде подбирают вторую,

кульминирующую по другую сторону от зенита через 6—10 мин после первой. Из таблицы АТ выбирают или по формуле $v_a = 15 \cos\delta \operatorname{cosec} Z^*$ вычисляют скорости v_a движения звезд по азимуту в минутах дуги за минуту времени. Округляя скорость движения южной звезды v_s до ближайшего большего числа, кратного пяти минутам, находят угол упреждения $\Delta a \approx v_S$ относительно меридиана для южной звезды пары. Находят установочный отсчет ΔM подвижной нити микрометра относительно нуль-пункта для наблюдений северной звезды пары

$$\Delta M_N = \frac{\Delta a - v_N}{R} - 3^{об}.$$

Здесь R — цена оборота винта микрометра в минутах дуги. Вычисленное значение установочного отсчета ΔM_N округляют до ближайшего меньшего числа, кратного целому числу оборотов. В тех случаях, когда отсчет ΔM_N получается больше пяти оборотов (наблюдается медленная близполюсная звезда), его принимают равным пяти, для предотвращения возможного ухудшения качества наблюдений из-за нахождения звезды на краю поля зрения трубы. По формулам сферической астрономии вычисляют зенитные расстояния звезд в момент кульминации. На этом предварительные вычисления эфемерид заканчивают.

Астрономический теодолит и приборы, с помощью которых предполагается выполнять определения азимутальной лично-инструментальной разности, должны быть исследованы в объеме, приведенном в 11.24.

За 35—40 мин до начала наблюдений теодолит тщательно горизонтируют, а также проверяют работоспособность всей аппаратуры. Горизонтирование теодолита между наблюдениями звезд пары недопустимо, а внутри вечера нежелательно из-за влияния остаточных упругих деформаций на азимутальную устойчивость теодолита. За 10—15 мин до начала наблюдений принимают радиосигналы времени и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3), используя для этой цели долготу λ основного пункта. Наблюдения каждой пары выполняют в следующем порядке.

1. За 5—6 мин до момента кульминации первой звезды пары трубу астрономического теодолита закрепляют на зенитном расстоянии этой звезды. Алидаду горизонтального круга поворачивают и устанавливают по азимуту $a_S^* = 0^\circ - \Delta a$, если предполагают наблюдать южную звезду, и по азимуту $a_{N_н}^* = 180^\circ - \Delta a$ или $a_{N_в}^* = 180^\circ + \Delta a$, если северная звезда соответственно в нижней или верхней кульминации. Здесь и далее установочные азимуты даны для случая наблюдений в северном полушарии Земли.

2. Подвижную нить микрометра отводят от нуль-пункта на 1,5 оборота навстречу ожидаемому движению южной звезды или на величину ΔM_N по ходу движения, если наблюдается северная звезда. При появлении звезды в поле зрения трубы наводящим

вертикальным винтом перемещают трубу до тех пор, пока изображение звезды не окажется на 0,3—0,5 оборота выше или ниже горизонтальной нити всегда с одной и той же ее стороны (например между горизонтальной нитью и шкалой оборотов или гребенкой). При нахождении звезды на расстоянии в 2—3 оборота от нити берут отсчеты по горизонтальному кругу и по уровню. Дают помощнику команду на включение регистрирующего устройства. Когда звезда в своем движении достигнет подвижной нити, вращая моховички микрометра, удерживают нить на изображении звезды до тех пор, пока не будет зафиксировано десять контактов микрометра. Закончив наблюдение, вторично делают отсчеты по горизонтальному кругу и по уровню.

3. Переводят трубу через зенит и закрепляют ее на зенитном расстоянии той же звезды. Алидаду горизонтального круга

Таблица 6.16

Журнал наблюдений

Теодолит *АУ 2/10* $\tau = 1{,}68''$ $\Delta T_{\text{мш}} = +0{,}065^{\text{s}}$

Пара № *18*

Дата *28/29 мая 1980 г.*

Звезда *28*N — $Z_{\text{N}}^{*} = 69°10'$ $\operatorname{ctg} Z_{\text{N}}^{*} = 0{,}380$

Уровень

КЛ	КП
9,8 — 28,2	27,4 — 9,0
9,8 — 28,2	27,5 — 9,1
$(\text{Л} + \text{П})_{\text{ср}}$ 38,00	36,50

$b_N = -1{,}50$

$\Delta T_{b_N} = -0{,}48''$

Звезда *323*S — $Z_{\text{S}}^{*} = 50°08'$, $\operatorname{ctg} Z_{\text{S}}^{*} = 0{,}835$

Уровень

КП	КЛ
27,3 — 8,9	8,8 — 27,3
27,4 — 9,0	8,8 — 27,4
36,30	36,15

$b_{\text{S}} = +0{,}15$

$\Delta T_{b_{\text{S}}} = +0{,}10''$

$T_{\text{КЛ}}$	$T_{\text{КП}}$	T	$T_{\text{КП}}$	$T_{\text{КЛ}}$	T
$13^{\text{h}}08^{\text{m}}38{,}00^{\text{s}}$	$13^{\text{h}}11^{\text{m}}06{,}74^{\text{s}}$	$13^{\text{h}}09^{\text{m}}52{,}37^{\text{s}}$	$13^{\text{h}}15^{\text{m}}39{,}01^{\text{s}}$	$13^{\text{h}}17^{\text{m}}34{,}43^{\text{s}}$	$13^{\text{h}}16^{\text{m}}36{,}72^{\text{s}}$
39,91	04,37	39	40,12	33,28	70
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .
56,57	48,13	35	52,31	21,17	74
13 08 58,51	13 10 46,21	13 09 52,36	53,42	19,96	69
13 08 48,225	13 10 56,517	13 09 52,371	13 15 46,212	13 17 27,204	13 16 36,708

Горизонтальный круг

179°45′25,8″	0°15′29,6″	$M_{\text{N}} + 180°$	0°00′27,02″	179°45′45,8′	0°15′53,4″
25,6	29,4	M_{S}	0 00 49,95	46,2	53,8
25,7	29,5	ΔM^{*}	−22,93″	46,0	53,6
179 45 25,4	0 15 29,4			179 45 46,2	0 15 53,6
25,2	29,6			46,4	53,4
25,3	29,5			46,3	53,5
179 45 25,50	0 15 29,50			179 45 46,15	0 15 53,55
КЛ	КП			КП	КЛ

поворачивают и устанавливают по азимуту $a^*_S = 0^\circ + \Delta a$, если наблюдается южная звезда, и по азимуту $a^*_{N_н} = 180^\circ + \Delta a$ или $a^*_{N_в} = 180^\circ - \Delta a$, если северная звезда соответственно в нижней или верхней кульминации.

4. Наблюдают звезду во втором полуприеме в соответствии с пунктом 2. Начинают сопровождать звезду с положения подвижной нити микрометра, остановленной в конце наблюдения данной звезды в первом полуприеме, т. е. на тех же контактах микрометра.

Закончив наблюдения первой звезды пары, готовят теодолит к наблюдениям второй звезды в порядке, изложенном в пункте 1. Результаты наблюдений записывают в журнал (табл. 6.16).

В процессе наблюдений помощник сбрабатывает показания уровня и следит за соблюдением допусков; вычисляет средние значения отсчетов по кругу в начале $M''_{КЛ(КП)}$ и в конце $M''_{КП(КЛ)}$ каждого полуприема наблюдения звезды. Разности ΔM_t в полуприемах $\Delta M_{КЛ(КП)} = M'_{КЛ(КП)} - M''_{КЛ(КП)}$ не должны превышать $\pm 1''$. Вычисляет средние значения отсчетов по кругу в полуприемах $M_{КЛ}$ и $M_{КП}$, а затем и средние значения в приемах $M'_{N,\,S} = (M_{КЛ} + M_{КП})/2$; вычисляет поправки за наклон горизонтальной оси в отсчет по горизонтальному кругу $\Delta T_b = b\frac{\tau''}{2}\operatorname{ctg} Z^*$ и исправляет найденные отсчеты $M_{N,\,S} = M'_{N,\,S} + \Delta T_b$.

Для звезд пары находиг разности отсчетов по кругу $\Delta M^* = M_S - 180^\circ - M_N$.

При окончательных вычислениях вычисляют средние моменты наблюдений звезд в полуприемах $T_{КЛ}$ и $T_{КП}$, а затем и в приемах T. Вычисляют поправку хронометра u на момент наблюдений каждой из звезд с долготой основного пункта (см. 2.3). Переносят в вычислительную ведомость (табл. 6 17) значения T, u и ΔM^*.

Из АЕ или КГЗ выбирают на дату и момент наблюдении видимые координаты α и δ звезд, исправив при этом прямые восхождения поправкой за короткопериодическую нутацию.

По формуле $\Sigma_1 = (\Delta T_{МШ} - 0{,}021^s \cos\varphi \cos a^*) \sec\delta$ подсчитывают поправку (см. 6.5).

Вычисляют звездное время s и часовые углы t звезд.

По формуле $v^a_{N,\,S} = 15'' \cos\delta \operatorname{cosec} Z^*$ находят скорости движения звезд по азимуту, после чего вычисляют азимуты a_N и a звезд

$$a_N = (t_N - 12^h)\, v^a_N, \quad a_S = (t_S - 24^h)\, v^a_S.$$

Исправляют найденные азимуты звезд поправкой $\Delta a_{вл}$ (или раздельными поправками $\Delta a_ц$ и $\Delta a_{ог}$): $a^*_{N,\,S} = a_{N,\,S} + \Delta a_{вл}$, после чего находят разности

$$\Delta a^* = a^*_N - a^*_S, \quad \Delta v^a = v^a_S - v^a_N.$$

Таблица 6.17

Вычисление азимутальной разности

Дата	28/29 мая 1980 г		
Номер пары	18		
Номер звезды	28N		323S
T	$13^h09^m53{,}792^s$		$13^h16^m36{,}708^s$
u	−0,345		−0,345
Σ_1	+0,082		+0,058
s	13 09 53,529		13 16 36,421
α	1 09 52,371		13 16 36,980
t	12 00 01,158		23 59 59,441
δ	+55°02,4′		+5°34,5′
Z^*	69 11,9		50 11,2
15 cos δ	8,595		14,929
cosec Z^*	1,070		1,302
$v^a_{N,S}$	9,20		19,43
$a_{N,S}$	+10,65″		−10,86″
Δa	−0,22		−0,10
$a^*_{N,S}$	+10,43		−10,96
Δa^*		+21,39″	
ΔM^*		−22,93	
$\Delta a^* + \Delta M^*$		−1,54″	
Δv^a		10,23	
ΔT^i_a		−0,150^s	

По формуле $\Delta T^i_a = \dfrac{\Delta a^* + \Delta M^*}{\Delta v^a}$ вычисляют значение ΔT^i_a азимутальной лично-инструментальной разности по каждой паре звезд

Дальнейшие вычисления и оценку точности выполняют в порядке, изложенном в 6.5.2.

6.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ПО ЧАСОВОМУ УГЛУ ПОЛЯРНОЙ С ПОГРЕШНОСТЬЮ ±2″

Определение астрономического азимута по Полярной с погрешностью ±2″ может выполняться в широтной зоне +10—60°.

Для обработки наблюдений необходимо знать астрономическую широту пункта с погрешностью не более ±3″ и астрономическую долготу ±2^s.

Приводимая методика определений рассчитана на использование тех же приборов, что и при определении азимута с полной точностью, необходимой для азимутов Лапласа.

Подготовка к наблюдениям, методика и обработка результатов в основном такие же, как в 6.4. Основные отличия заключаются в том, что не определяется обратный азимут, уменьшается общее число приемов и число наблюдений земного предмета в каждом приеме.

Лабораторные исследования перед началом полевого сезона выполняются в соответствии с 11.1—11.11, 11.19 и 11.21.

Непосредственно на полевом пункте перед наблюдениями выполняются поверки и юстировка (см. 11.3) и по сокращенной программе исследование (см. 11.6).

При подготовке к наблюдениям составляют рабочие эфемериды Полярной и таблицу, в которую для каждого приема вписывают установочные данные для визирования на земной предмет и Полярную в соответствии с требованиями 6.4.

Перед началом вечерних наблюдений после проверки работоспособности аппаратуры производят прием радиосигналов времени и тщательное горизонтирование теодолита. После этого приступают к выполнению первого приема.

1. Измеряют направление на земной предмет при КЛ (или КП). Для этого алидаду горизонтального круга отводят от направления на земной предмет на 30—40° против хода часовой стрелки. Затем наводят трубу, вращая верхнюю часть теодолита по часовой стрелке, на земной предмет таким образом, чтобы подвижная нить микрометра, установленная близ нуль-пункта с точностью 5 делений, расположилась относительно земного предмета так, чтобы окончательное наведение можно было выполнить ввинчиванием. По высоте предмет должен быть установлен одинаково во всех приемах, в непосредственной близости от горизонтальной нити. Далее наблюдатель и помощник по команде первого делают три наведения подряд подвижными нитями микрометров главной и поверительной труб на земной предмет и миру соответственно. Расхождения между отсчетами микрометров не должны превышать 3″. После отсчетов по шкалам микрометров отсчитывается горизонтальный круг.

2. Приступают к наблюдению Полярной при том же положении круга теодолита. Устанавливая зенитное расстояние и отсчет по горизонтальному кругу соответствующие Полярной, отыскивают ее в поле зрения и устанавливают изображение звезды по отношению к горизонтальной и вертикальной нитям, таким же что при наблюдении земного предмета. После успокоения пузырька уровня отсчитывают по шкале уровня и по горизонтальному кругу. Далее, не трогая закрепительный и наводящий винты алидады, по команде делают трехкратные одновременные наведения подвижными нитями микрометров главной и поверительной труб на звезду и миру. Отсчеты на звезду выполняются с одновременной регистрацией времени наведения. Отсчет по шкале микрометра не должен отличаться от отсчета в нуль-пункте больше, чем на 20 делений. Вторично отсчитывают уровень и горизонтальный круг.

3. Переводят трубу через зенит, по установочным данным отыскивают Полярную и повторяют все действия при круге право (КЛ) в соответствии с пунктом 2.

4. Также при КП (КЛ) повторяют наблюдения земного предмета.

На этом первый прием определения азимута заканчивается. Приступают к выполнению следующего приема, для чего переставляют горизонтальный круг на 20°.

Если наблюдения проводят с каменного столба, то поверительную трубу не используют. Если зенитное расстояние земного предмета отличается от 90° больше, чем на 5°, то уровень отсчитывают и при наблюдении земного предмета. По окончании вечерних наблюдений вновь принимают радиосигналы. Учитывая, что интервал между приемами радиосигналов для механического хронометра должен быть не более 4 ч, может потребоваться прием радиосигналов и внутри программы.

Для определения азимута по часовому углу Полярной выполняют восемь приемов.

Таблица 6 18

Журнал наблюдений азимута по Полярной

Пункт *Верновка* **Дата** *10/11 июля 1980 г* Прием № *8*
$Z^* = 54°50{,}2'$ cosec $Z^* = 1{,}223$ ctg $Z^* = 0{,}704$
μ_r cosec $Z^* = 1{,}199$ τ ctg $Z^* = 1{,}145''$

Положение круга КП ГТ	ПТ	Горизонтальный круг	Земной предмет
3,7	0,9	260°40′28,2″	
2,2	1,2	28,4	
2,2	1,5	28,30	
2,7	1,2	−2,35	
		+1,70	
		МП 260 40 27,65	

КП *T*	ГТ	ПТ	Уровень	Полярная $b = +9{,}2$	Уровень	ГТ	ПТ	КЛ *T*
$6^h27^m18^s$	3,8	2,9	12,0—30,4	*T* $6^h28^m10{,}85^s$	31,3—12,9	2,3	1,6	$6^h30^m41^s$
30	3,1	2,1	12,0—30,4	*D* = 4,07	31,2—13,0	2,7	2,6	51
42	2,7	2,5	42,40		44,20	2,8	1,8	31 03
6 26 30,0	3,20	2,50				2,60	2,00	6 30 51,7
Горизонтальный круг						Горизонтальный круг		
24°38′45,2″		24°38′45,00″		*M′* 204°39′02,26″		204°39′12,40″		204°39′12,3″
45,4		+ 3,84		ΔM_b +1,05		— 3,12		12,1
45,30		+ 3,55				+ 2,84		12,20
24 38 44,6		*МП* 24 38 52,39		*M** 204 39 03,31		*МЛ* 204 39 12,12		204 39 12,8
44,8								12,4
44,70								12,60

Земной предмет

КЛ ГТ	ПТ	Горизонтальный круг		
96,1	2,5	80°40′20,3″	*M*	80°40′27,46″
96,6	2,3	19,7		
96,0	2,7	20,00	*M**	204 39 03,31
96,2	2,5	+3,72		
		+3,55	*Q*	236 01 24,15
		МЛ 80 40 27,27	*C*	−0,19″

Образец записи наблюдений в журнале и схема вычислений приведены в табл. 6.18, 6.19.

Таблица 6.19

Вычисление азимута по Полярной со средним моментом

Пункт *Верновка* — Сводка

Дата Номер приема	10/11 июля 1980 г 8	Дата 1980 г	Номер приема	Азимут	v
T	$6^h29^m10{,}85^s$	8/10	1	55°05′25,03″	+2,37
u	+ 1 09,12	июля			
α	— 2 12 08,66	»	2	26,18	+1,22
t	4 18 11,31	»	3	26,73	+0,67
δ	89°10′06,08″	»	4	24,02	—3,38
$\sin t$	0,9029391	»	5	(34,14)	—
$\operatorname{tg}(90° - \delta)$	0,0145162	10/11	6	28,01	—0,61
		июля			
$\sec\varphi$	1,2360678	»	7	27,11	+0,29
Числитель	0,0162013	»	8	27,59	—0,19
$\operatorname{tg}\varphi$	0,7265420				
$\cos t$	0,4297686				
$\operatorname{tg}(90° - \delta)\operatorname{tg}\varphi\cos t$	0,0045325		5bis	27,82	—0,42
Знаменатель	—0,9954675			$[vv] = 19{,}65$	
$\operatorname{tg} a^*$	—0,0162751		a	55°05′27,40″	
a^*	179°04′03,35″		$\Delta a_{аб}$	+0,32	
Q	236 01 24,15		Δa_l	—0,28	
Δa_W	+0,09		Δa_1	—0,14	
a	55 05 27,59		$\Delta a_н$	0	
			Δa_p	—0,22	
			$a_{ок}$	55°05′27,08″	
			μ_a	±1,68″	
			M_a	±0,59″	

При обработке наблюдений:

1. Вычисляют средние отсчеты по шкалам микрометров как главной, так и поверительной труб ($m_г$ и $m_п$).

2. Вычисляют поправки за микрометр в отсчеты горизонтального круга в секундах дуги при наблюдении земного предмета по формулам

$$\Delta M_г = \mu_г \Delta M'_г \operatorname{cosec} Z_{зп}$$

и

$$\Delta M_п = \mu_п \Delta M'_п \operatorname{cosec} Z_м$$

В этих формулах для главной трубы:

для теодолита Т4

$$\Delta M'_{КЛ} = -(m_г - 10^{об}); \quad \Delta M'_{КП} = (m_г - 10^{об});$$

для теодолита АУ 2/10

$$\Delta M'_{КЛ} = (m_г - 10^{об}); \quad \Delta M'_{КП} = -(m_г - 10^{об}).$$

Для поверительной трубы

$$\Delta M' = \pm (m_п - 10^{об})$$

Знак $\Delta M'$ зависит от положения микрометра.

Удобно для вычисления этих поправок составить таблицы по известным из лабораторных исследований ценам делений оборота микрометров. При зенитных расстояниях $90° \pm 5°$ $\operatorname{cosec} Z$ принимается равным 1.

3. Вычисляют исправленные отсчеты горизонтального круга при наблюдении земного предмета и среднее значение направления для приема

$$M = [МЛ + (МП \pm 180°)]/2.$$

4. По формуле

$$C = [МЛ - (МП \pm 180°)]/2$$

вычисляется коллимация, которая по величине не должна превышать 10″.

5. Вычисляют показания жидкостного уровня по каждой паре его отсчетов для каждого полуприема

$$b_0 = (b'_0 + b''_0)/2 \text{ и } {}_0b = ({}_0b' + {}_0b'')/2,$$

а затем и значение наклона горизонтальной оси или верхней части теодолита

$$b = ({}_0b - b_0)/2.$$

Колебание показаний уровня в каждом полуприеме не должно быть больше трех полуделений шкалы уровня

$${}_0(Л + П)' - {}_0(Л + П)'' \leqslant |3^{э/2}|;$$

$$(Л + П)'_0 - (Л + П)''_0 \leqslant |3^{э/2}|.$$

Абсолютная величина наклона не должна превышать 20″.

Указанные в пунктах 1—5 действия выполняют сразу же по окончании приема. В случае несоблюдения допусков прием переделывают.

Дальнейшие вычисления выполняют после окончания вечерних наблюдений.

6. В журнале наблюдений вычисляют средние значения отсчетов по шкалам микрометров и поправки за микрометры в отсчеты по горизонтальному кругу при наблюдении Полярной по формулам, приведенным в пункте 2.

Зенитное расстояние Полярной вычисляют до 0,1′ для каждого приема по формулам АЕ. Получают направления на Полярную в каждом полуприеме $M'_{\text{КЛ}}$ и $M'_{\text{КП}}$, не исправленные поправками за уровень, а также среднее значение направления.

7. Вычисляют поправку за уровень

$$\Delta M_b = \frac{\tau''}{2}\, b \operatorname{ctg} Z \tag{6.7}$$

и направление на Полярную

$$M^* = M' + \Delta M_b.$$

8. Вычисляют горизонтальный угол

$$Q = M - M^*.$$

9. Образуют средний момент наблюдения Полярной в приеме T

$$T = (T_{\text{КЛ}} + T_{\text{КП}})/2$$

и величину

$$D = \left(\frac{T_{\text{КЛ}} - T_{\text{КП}}}{100}\right)^2.$$

10. Со средним моментом T и известной долготой λ вычисляют поправку хронометра u для каждого приема на основе принятых радиосигналов (см. 2.3).

11. Дальнейшие вычисления выполняют по схеме, приведенной в табл. 6.19 и рассчитанной на вычисление азимута со средним моментом.

Основной для вычисления азимута Полярной является формула

$$\operatorname{tg} a^* = \frac{\operatorname{tg}(90^\circ - \delta)\sec\varphi \sin t}{\operatorname{tg}(90^\circ - \delta)\operatorname{tg}\varphi\cos t - 1}, \tag{6.8}$$

где $t = (T + u) - \alpha$.

Азимут направления на земной предмет вычисляется по формуле

$$a_{\text{зп}} = a^* + Q + \Delta a_W, \tag{6.9}$$

где $\Delta a_W = 0{,}68'' \sin 2a^* D$ — поправка за азимутальное ускорение при вычислении со средним моментом.

Находят среднее значение азимута из всех приемов и уклонения v_i для каждого приема.

Погрешность единицы веса (одного приема) находят по формуле

$$\mu_a = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}},$$

а погрешность среднего значения по формуле

$$M_a = \frac{t}{\sqrt{n}}.$$

M_a не должно превышать $\pm 1''$.

Среднее значение азимута исправляют поправками за суточную аберрацию $\Delta a_{аб}$, за приведение к центру пункта Δa_l, за сближение меридианов Δa_γ, за приведение к уровню моря $\Delta a_н$ и среднему полюсу Δa_p.

Поправку за суточную аберрацию принимают

$$\Delta a_{аб} = +0{,}32''.$$

Остальные поправки вычисляются в соответствии с требованиями, изложенными в 8.

6.7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО АЗИМУТА ИЗ НАБЛЮДЕНИЯ ЯРКИХ ЗВЕЗД ВБЛИЗИ МЕРИДИАНА С ПОГРЕШНОСТЬЮ $\pm 2''$

Определение геодезического азимута предусматривает наблюдения на основном долготном пункте для получения азимутальной лично-инструментальной разности (АЛИР) и измерения азимута на полевом пункте.

Описываемый способ применим в любых широтах. Предлагаемая методика наблюдений и вычислений может быть использована для $|\varphi| < 85°$

Для получения геодезического азимута необходимо знать точные геодезические координаты B и L определяемого пункта и астрономическую долготу основного пункта (для вычисления АЛИР).

По результатам астрономических наблюдений можно также получить астрономический азимут направления, если известны широта φ и долгота λ данного пункта.

Наблюдения на пункте для определения азимута из многократных наблюдений ярких звезд вблизи меридиана выполняются теми же приборами (теодолитами), что и точные определения.

Методика наблюдений заключается в следующем:

1) определяют только прямой азимут;

2) все наблюдения на пункте могут быть выполнены в один вечер,

3) число приемов, в которых используются южные звезды, должно быть равно четырем, а общее число приемов восемь;

4) земной предмет наблюдается в приеме всего два раза, до и после наблюдений звезды, при разных положениях круга теодолита;

5) уклонения отдельных значений азимута v_i, полученных из вычислений, от уравненного не должны превышать $\pm 4''$;

6) разрешается иметь одно определение азимутальной лично-инструментальной разности в сезоне (см. 6.5);

7) интервал между приемами радиосигналов при определении АЛИР может быть увеличен для механического хронометра до 3 ч.

Перед началом полевого сезона в лаборатории выполняют исследования, описание которых приведено в 11.1—11.11, 11.13 – 11.15, 11.19, 11.21, 11.23. Непосредственно в поле, на пункте, выполняют поверки и юстировки 11.3, 11.14, 11.15 и по сокращенной программе исследование 11.6.

Наблюдения одного вечера начинают и заканчивают приемом радиосигналов, интервал между которыми не должен превышать при использовании механического хронометра 3 ч, при использовании кварцевых часов интервал не ограничен. Поэтому в отдельных случаях радиосигналы должны приниматься между приемами определения азимута.

Таблица 6.20

Журнал наблюдений азимута по звездам вблизи меридиана

Пункт: *Павловка* Прием № 2 27/28 июня 1980 г.

Теодолит: Вильд Т4 $\mu_г = 1{,}500''$ $\mu_п = 1{,}420''$ $\tau = 1{,}257''$

$Z^* = 74°47'$

Земной предмет

ГТ	ПТ	Горизонтальный круг КП		
98.4	0,9	200°09′57,6″	57,8″	57,70″
98,5	0,2			—2,35
98.4	2,5			+1,70
98,43	1,20			КП 200°09′57,05″

Звезда 506N

ПТ	Уровень	Горизонтальный круг КП	ПТ	Уровень	Горизонтальный круг КЛ
2,0	12,3—29,7	321°58′08,5″	2,1	12,2—29,5	142°36′37,0″
1,0	31,3—14,0	08,3	2,0	30,3—13,0	37,2
0,9	43,6—43,7	08,40	1,9	42,5—42,5	37,10
1,30	X = 43.65	+1,85	2,00	X = 42,50	+2,84
	ν(Л + П)42,0	+0,28		ν(Л+П)41,70	+0,14
	$b = +1{,}65$	КП* 321°58′10,53″		$b = +0{,}80$	КЛ* 142°36′40,08″

Земной предмет

ГТ	ПТ	Горизонтальный круг КЛ		
1,7	2,4	20°09′50,6″	50,7″ 50,65″	
1,8	2,2		—2,65	$M = 20°09'54{,}23''$
1,8	2,6		+3,41	$M^* = 142\ 17\ 25{,}30$
1,77	2,40		КЛ 20°09′51,41″	$Q = 237°52'28{,}93''$

Каждый прием состоит из наблюдения:

1) земного предмета при КЛ (или КП),
2) звезды вблизи меридиана при КЛ (КП),
3) звезды при КП (КЛ),
4) земного предмета при КП (КЛ).

При наблюдении всех звезд (кроме Полярной) фиксируется прохождение звезд через вертикал, близкий к меридиану, с помощью контактного микрометра. При наблюдении Полярной фиксируется положение звезды по отсчетам контактного микрометра, используемого как окулярный микрометр.

Образец записи в журнале наблюдений приведен в табл. 6.20.

Обработка журнала ведется в полном соответствии с правилами, приведенными в 6.2. Отличия вызваны тем, что земной предмет в приеме наблюдается при каждом положении круга один раз. Вычисление геодезического азимута выполняется с геодезическими координатами пункта B и L. С геодезической долготой L вычисляется и поправка хронометра для данного приема.

До вычислений азимута по схеме (см. табл. 6.21) производится расшифровка хронографической ленты. Результаты расшифровки помещаются в таблицу (см. табл. 6.3). Среднее значение $T = (T_{КЛ} + T_{КП})/2$ записывают в вычислительную ведомость (см. табл. 6.21).

Поправочные члены Σ_1 и Σ_2 определяют по формулам:

$$\Sigma_1 = (\Delta T_{мш} \pm 0{,}021^s \cos B) \sec \delta. \qquad (6\ 10)$$

$$\Sigma_2 = \Delta A_W + \Delta A_{вл}. \qquad (6.11)$$

В формуле (6.10) знак «+» берется для северных звезд в верхней и нижней кульминациях и «—» для южных. В южном полушарии (при счете азимутов от точки севера) наоборот.

Если в качестве северной звезды наблюдалась Полярная, то $\Sigma_1 = 0$. При этом вместо формулы (6.11) используется формула

$$\Sigma_2 = \Delta A_W + \Delta A_{аб}, \qquad (6.12)$$

в которой $\Delta A_{аб} = +0{,}32''$.

Тангенс азимута звезды в вычислительной схеме находят по формуле

$$\operatorname{tg} a^* = \frac{\sin t}{\sin B \cos t - \cos B \operatorname{tg} \delta}.$$

При часовых углах $t \leqslant 1^m$ для нахождения a^* удобнее использовать формулу

$$a^* = 15t \cos \delta \operatorname{cosec} Z^*.$$

Последующие вычисления заключаются (как и в 6.2) в составлении уравнений погрешностей (см. табл. 6.5), от них переходят к нормальным уравнениям. Из решения системы находят неизвестные $\Delta A_{ур}$, η, ξ и их веса p_A, p_η, p_ξ. Вычисляют уклонения v_i, которые характеризуют качество измерений; по абсолютной

Таблица 6.21

Вычисление азимута и свободных членов

$B = 60°00'00,00''$ $L = 8^h00^m00,000^s$

Дата Номер приема Номер звезды по АЕ	27/28 июня 1980 г. 2 506N
T	$8^h23^m17,173^s$
ΔT	+0,144
u	+2 14,713
Σ_1	0,128
s	8 25 32,158
α	20 40 47,410
t	11 44 44,748
δ	45°12'32,11''
$\sin B$	0,8660255
$\cos t$	—0,9977858
$l = \sin B \cos t$	—0,8641074
$\cos B$	0,5000000
$\mathrm{tg}\, B$	1,0073191
$II = \cos B \mathrm{tg}\delta$	0,5036597
$\sin t$	0,0665112
$l-II$	—1,3677671
$\mathrm{tg}\, a^*$	—0,0486274
a^*	177°12 57,77''
Q	237 52 28,93
Σ_2	+ 0,86
A'	55°05'27,56''
A_n	55 05 28,00
l	+0,44''

величине они не должны превышать 4,0''. Азимут вычисляют по формуле

$$A = A_n + \Delta A_{ур}.$$

Далее находят среднюю квадратическую погрешность единицы веса $\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-3}}$, и погрешность определения неизвестных m_A, m_h, m_ξ, μ не должна превышать 2,5'', m_A — 0,8''.

Окончательное значение азимута, приведенное к центру пункта, к референц-эллипсоиду и к условному международному началу координат полюса, с учетом редукции визирной цели вычисляют по формуле

$$A = A_n + \Delta A_{ур} + \Delta A_I + \Delta A_t + \Delta A_r + \Delta A_n + \Delta A_p.$$

Указания по вычислению этих поправок приведены в главе 8. Следует учесть, что поправки за центрировку и редукцию будут верными при длине стороны 0,5 км. Для более коротких сторон требования к точности должны быть более жесткими.

Оценка точности определения геодезического азимута выполняется по формуле

$$M_A = \sqrt{m_A^2 + M_{\Delta T}^2 + (\partial \Delta T)^2},$$

где m_A — погрешность азимута, полученная из уравнивания; $m_{\Delta T}$ — погрешность азимутальной лично-инструментальной разности, $\partial \Delta T$ — среднее квадратическое колебание АЛИР, принимаемое равным $\pm 0{,}5''$; M_A — не должно превышать $\pm 1{,}4''$.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРОТЫ, ДОЛГОТЫ И АЗИМУТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ МОМЕНТОВ

7.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Способы астрономического определения широты, долготы и азимута, рассматриваемые в настоящем разделе, основаны на фотоэлектрической регистрации моментов прохождений звезд с помощью астрономических теодолитов, снабженных специальной фотоэлектрической установкой. Преимуществами фотоэлектрического метода регистрации являются:

полное исключение из конечного результата личных ошибок наблюдателя;

ослабление общего влияния наблюдателя на теодолит;

лучшее закрепление визирной линии теодолита в период наблюдений за счет неподвижности визирного приспособления (зеркальной решетки) во время регистрации звезды;

повышение производительности труда, так как нет необходимости определять долготную и азимутальную лично-инструментальные разности до и после полевых наблюдений;

возможность (в перспективе) автоматизации процессов астрономических наблюдений и обработки полученных результатов.

Использование фотоэлектрического метода регистрации не решает полностью задачу повышения точности полевых астрономических определений, поскольку остаются еще такие источники погрешностей, как инструментальные и внешней среды. Однако этот метод представляет собой существенный шаг вперед по пути повышения точности. На основании многолетних исследований, выполненных в ЦНИИГАиК по изучению точностных возможностей фотоэлектрических способов астрономических определений, получены следующие значения средних квадратических погрешностей единицы веса для широтных, долготных (по одной паре звезд) и азимутальных (из одного приема) определений: $\mu_\varphi = \pm 0{,}4''$, $\mu_\lambda = \pm 0{,}020^s \sec\varphi$, $\mu_A = \pm 0{,}5'' \sec\varphi$. Если учесть, что результаты фотоэлектрических определений полностью свободны от личной разности наблюдателя и ее колебаний, оцениваемых величиной $\pm 0{,}3''$, то следует констатировать, что в общем случае внедрение фотоэлектрических методов позволит повысить точность определения широты, долготы и азимута примерно в два раза по сравнению с достигнутой в настоящее время.

Основным недостатком фотоэлектрического метода является невозможность его применения в светлое время суток. Учитывая последнее обстоятельство, способы фотоэлектрических определений широты, долготы и азимута рекомендуются как основные в зоне широт $-55 - +55°$ в любое время года, а в остальных

районах земного шара в периоды, когда Солнце опускается под горизонт на 8° и ниже.

Основными способами фотоэлектрических астрономических определений являются

способ Певцова при определении широты;

способ Цингера при определении долготы;

многократные наблюдения ярких звезд вблизи меридиана при определении азимута.

В последнем случае измерение направлений на наземные световые цели выполняют в одном из режимов, рассмотренных в 10.7.

Обработка результатов фотоэлектрических измерений ведется по традиционным формулам и в том же порядке, что и для визуальных измерений. Разница состоит лишь в том, что измеренный фотоэлектрический момент наблюдений каждой звезды должен быть уменьшен на величину задержки сигнала в цепях фотоэлектрической установки.

7.2. ПОДГОТОВКА АСТРОНОМИЧЕСКОГО ТЕОДОЛИТА К ОПРЕДЕЛЕНИЯМ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ МОМЕНТОВ

Астрономический теодолит, предназначенный для фотоэлектрических определений широты и долготы с применением фотоэлектрической регистрации моментов, должен быть исследован в объеме, указанном в 11 24

По прибытии на полевой пункт астрономический теодолит устанавливают на астрономический столб, а аппаратуру, входящую в комплект теодолита вблизи столба, на инструментальный столик Производят коммутацию электрических цепей теодолита, цифропечатающей машины, хронометра, радиоприемника, фотоэлектрической установки Как сама аппаратура, так и провода, идущие от нее к астрономическому теодолиту и источникам питания, должны быть заземлены, в нерабочее время надежно закреплены и укрыты брезентом для защиты от ветра, пыли, тумана и дождя Использовать в качестве чехлов полиэтиленовую пленку не рекомендуется, так как она препятствует испарению влаги, сконденсировавшейся в ночное время на поверхности приборов. Для защиты от прямого воздействия ветра вокруг столба должен быть построен помост со стойками. К стойкам крепится брезентовое ограждение, высота которого должна на 15—20 см превышать теодолит с трубой, направленной в зенит, и надетой на трубу блендой. Настил помоста не должен соприкасаться со столбом, а точки опоры помоста о грунт должны быть удалены от обводов столба не менее чем на 1 м. До начала наблюдений необходимо убедиться в том, что в секторах с азимутами $0\pm0{,}25$, 180 ± 25, 90 ± 25, $270\pm25°$ возможно наблюдение звезд в интервале зенитных расстояний 0—60°.

Теодолит и аппаратура, входящая в его комплект, должны быть проверены на работоспособность сразу же после установки

на рабочих местах. Убедившись в исправности приборов, приступают к подготовке их к фотоэлектрическим определениям.

Теодолит горизонтируют с погрешностью 5—10″ и, открепив стопорный винт, заменяют визуальный микрометр фотоэлектрическим: в поле зрения окуляра будет видна зеркальная решетка.

Наводят трубу теодолита на миру и, разворачивая коробку микрометра, приводят зеркальную решетку в вертикальное положение с доступной для глаза степенью точности. Контроль вертикальности решетки осуществляют в следующем порядке. Вращая винт микрометра, отводят каретку с решеткой от нульпункта и устанавливают на отсчет 4,00 оборота. Действуя наводящими винтами трубы и алидады горизонтального круга, приводят изображение миры на осевую линию зеркальной решетки, обращенную к краю поля зрения трубы. Медленно вращая винт микрометра, переводят каретку с зеркальной решеткой на отсчет 16,00 оборотов. Наводящим винтом трубы изменяют положение трубы теодолита до тех пор, пока изображение миры не переместится через центр поля зрения и через щели зеркальной решетки. Если решетка вертикальна, изображение миры, выйдя за ее пределы, вновь окажется на осевой линии решетки. Если же вертикальности добиться не удалось, изображение сойдет с осевой линии. В этом случае оценивают на глаз расстояние между осевой линией решетки и изображением миры и осторожно доворачивают коробку микрометра до тех пор, пока изображение миры не приблизится к осевой линии на половину замеченного расстояния. Производят контроль вертикальности и в случае необходимости выполняют повторно юстировку в том же порядке.

Выполняют согласование визирных осей главной трубы и трубы-искателя: осевая линия зеркальной решетки должна совпадать с осью вертикального биссектора, а центральное окно решетки, установленное в нуль-пункте, должно совпадать с квадратом, образованным горизонтальным и вертикальным биссекторами сетки нитей трубы-искателя. Для поверки этого условия устанавливают зеркальную решетку в нуль-пункте, измеряют и исправляют место зенита ее центрального окна. Приводят изображение миры в центральное окно. Вращая исправительные винты сетки нитей трубы-искателя, перемещают сетку и добиваются, чтобы изображение миры разместилось в центре квадрата, образованного вертикальным и горизонтальным биссекторами. Проверяют и в случае необходимости исправляют наклон вертикального биссектора. Для контроля проверяют совпадение осевых линий решетки главной трубы и вертикального биссектора трубы-искателя.

Проверяют и готовят к работе кварцевый хронометр «Альтаир» (см. 10.2.1), радиоприемник «Астра» (см. 10.5), цифропечатающее устройство МПУ8-3 (см. 10.3.1). В соответствии с инструкцией по эксплуатации, проверяют работоспособность

фотоэлектрической установки (ФУ) и производят регулировку режимов ее работы. Подготовку ФУ заканчивают определением времени задержки сигнала по каналу каждого из фотоумножителей При этом необходимо убедиться в том, что величина задержки и напряжение, при котором она определяется, не отличаются от зафиксированных в лабораторных условиях более чем на $\pm 10\,\%$, что свидетельствует о стабильности рабочих параметров фотоэлектрической установки. Готовность теодолита и ФУ к наблюдениям заканчивают пробной регистрацией звезды. Блеск звезды должен составлять $m = 3 \div 4$ звездной величины, а зенитное расстояние 35—45°. В ходе наблюдений определяют оптимальное напряжение питания фотоумножителей для метеорологических условий данного пункта.

7.3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРОТЫ ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ПАР ЗВЕЗД НА РАВНЫХ ВЫСОТАХ (СПОСОБ ПЕВЦОВА) С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ МОМЕНТОВ

Программа определений широты с применением фотоэлектрической регистрации моментов по способу Певцова включает в себя наблюдения десяти пар звезд, на зенитных расстояниях 15—60°, а азимутальных секторах 10—45° от меридиана, по обе стороны от него. Так как интервал времени между смежными парами Певцова может достигать 15—20 мин, то для повышения производительности труда на пункте широтные пары рекомендуется наблюдать между долготными парами (способ Цингера). Предпочтение отдается парам, содержащим более яркие звезды на меньших зенитных расстояниях. Наблюдения как широтных, так и долготных пар всегда выполняют при положении верхней части теодолита позволяющей устанавливать по вертикальному кругу непосредственно зенитное расстояние звезд, а не его дополнение до 360°. Программа наблюдений должна быть составлена таким образом, чтобы примерно половина пар наблюдалась в восточной, а вторая половина в западной частях неба. Желательно также чередовать порядок наблюдений звезд в парах, например N—S, S—N и т. д., а если этого сделать не удается, то нужно следить за тем, чтобы примерно половина пар в программе наблюдалась в порядке N—S, а остальные в порядке S—N.

Перед началом вечерних наблюдений теодолит и приборы астрономического комплекса готовят в порядке, указанном в 7 2

За 30—40 мин до начала измерений производится тщательное горизонтирование теодолита. Непосредственно перед началом наблюдений в соответствии с расписанием передач сигналов точного времени производят прием радиосигналов и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3) с приближенной долготои λ_0 пункта

наблюдений, известной с погрешностью 1—2 с. Вычислив поправку хронометра, определяют время задержки сигнала в цепях обоих фотоумножителей. Приступают к наблюдениям.

Подбор пар звезд осуществляют в процессе наблюдений по «Эфемеридам для определения широты по соответственным высотам пар звезд (по способу Певцова)». В эфемеридах, изданных для 5-градусных широтных зон, указаны: номер и пределы годности пары, сторона неба (W или E), в которой наблюдается данная звезда пары, номера звезд по АЕ и их величины, местное звездное время наблюдений, зенитные расстояния пар и азимуты звезд. Кроме того, в эфемеридах приводятся величины изменений времени s, зенитного расстояния Z и азимута a при измерении широты на одну минуту дуги с целью интерполирования этих величин на широту пункта наблюдений φ_0, которая должна быть известна с погрешностью 1—2′.

Для вычисления рабочих эфемерид отыскивают нужную широтную зону, ближайшую к широте пункта наблюдений. Составляют список пар, задавшись временем начала и конца наблюдений. При этом руководствуются пределами годности каждой из пар.

Табличные значения $s_т$, $Z_т$, $a_т$, вычисленные для широты φ, исправляют поправками за приведение к широте φ_0 пункта наблюдений, так что

$$s = s_т + \frac{\Delta s}{\Delta\varphi}(\varphi_0 - \varphi), \quad Z = Z_т + \frac{\Delta Z}{\Delta\varphi}(\varphi_0 - \varphi),$$

$$a = a_т + \frac{\Delta a}{\Delta\varphi}(\varphi_0 - \varphi),$$

где разность $\varphi_0 - \varphi$ выражают в минутах дуги.

Проинтерполированные, таким образом, значения азимутов звезд, вычисленные по последней формуле, обеспечивают появление звезд в поле зрения трубы теодолита в удалении 10′ от центрального окна зеркальной решетки или 5′ от первой рабочей щели. Если эти расстояния являются неудобными для наблюдений на данной широте, к вычисленному значению азимута добавляют поправку $\delta a' = \delta a\,(1—0{,}1f')$, где f' — новое расстояние до средней нити, а δa — изменение азимута за промежуток времени δs, в течение которого звезда проходит по высоте угловое расстояние $f' = 10'$. Величины δa и δs приведены в эфемеридах для каждой звезды. Для нового углового расстояния f' изменится и величина δs: $\delta s' = \delta s\,(1 - 0\ )$. Промежуток времени между наблюдениями звезд пары должен быть на 1,0—1,5 мин больше удвоенного значения величины δs. Пример рабочих эфемерид приведен в табл. 7.1.

Наблюдения звезд пары выполняют в следующем порядке. За 4—5 мин до эфемеридного момента наблюдений первой звезды пары зрительную трубу закрепляют на эфемеридном зенитном расстоянии Z, а верхнюю часть теодолита разворачивают и устанавливают по азимуту первой звезды пары. Скрепив талькот-

Таблица 7.1

Рабочие эфемериды для определения широты по способу Певцова

Широта пункта $\varphi_0 = 43°45'$

Номер пары	Номер звезды	Звездная величина	s	Z	a
166	460	4,9	$15^h47,0^m$	35°36′	24°00′
	409	4,3	56,1		155 13
167	375	4,5	16 15,4	25 04	198 30
	361	4,9	21,8		340 23
184	531	4,8	16 42,0	44 18	26 34
	438	4,1	51,0		152 46

товский уровень с горизонтальной осью, приводят пузырек на середину шкалы. Отыскивают звезду в поле зрения трубы-искателя и вращением наводящего винта алидады горизонтального круга приводят изображение звезды на осевую линии вертикального биссектора. При подходе звезды к началу зеркальной решетки наблюдатель отсчитывает уровень и дает команду помощнику на включение регистрирующего устройства и, вращая наводящий винт алидады горизонтального круга, удерживает изображение звезды на осевой линии вертикального биссектора до тех пор, пока она в своем движении не выйдет за пределы зеркальной решетки. В процессе регистрации моментов прохождения звезды по щелям решетки помощник следит за правильностью работы установки, а наблюдатель, закончив регистрацию, вторично берет отсчет по уровню. На этом наблюдения первой звезды пары заканчивают. Открепив стопорный винт алидады горизонтального круга, поворачивают и устанавливают последнюю по азимуту второй звезды пары, наблюдения которой выполняют в том же порядке, что и наблюдения первой. Эксплуатация ФУ в процессе наблюдений осуществляется помощником в соответствии с указаниями инструкции по эксплуатации.

Закончив наблюдения вечера, вторично измеряют время задержки сигнала по каналам каждого из фотоумножителей. В соответствии с расписанием передач радиосигналов точного времени производят прием радиосигналов и вновь вычисляют поправку хронометра, контролируя тем самым правильность его работы и величину хода.

Результаты измерений записывают в журнал, форма которого приведена в табл. 7.2.

Для обработки результатов наблюдений с хронографической ленты цифропечатающего устройства МПУ8-3 переносят в журнал по 10 моментов прохождений звезд, симметричных относительно центрального окна зеркальной решетки и одноименных

Таблица 7.2

Журнал определений широты по способу Певцова с ФУ

Дата *20/21 июля 1970 г.* Теодолит АУ2/10 $\tau = 1{,}510''$

Пара № *190*

$Z = 35°35'$

463S 3,0 522N 2,6

$a_S = 219°38'$ $a_N = 319°55'$

T'_S	T'_N	Уровень S	Уровень N
$17^h31^m28{,}79^s$	$17^h45^m29{,}54^s$		
33,09	33,89		
37,05	37,82	34,8—16,2	35,5—17,0
41,08	41,95	34,8—16,2	35,5—17,0
44,84	45,79	51,00	52,50
52,78	53,70		
56,54	57,50		
00,69	01,69		
04,54	05,61		
08,64	09,59		
17 34 48,81	17 45 49,71		
ΔT_τ —0,20	ΔT_τ —0,20		
T_S 17 34 48,61	T_N 17 45 49,51		

$b = -1{,}50$

$\Delta\varphi_b = -1{,}48''$

$K = 0{,}277$

$\left(\frac{T_{10} - T_1}{100}\right)^2 = \left(\frac{40}{100}\right)^2 = 0{,}16$

$\Delta\varphi_{W_2} = -0{,}05''$

Таблица 7.3

Вычисление широты пункта

Дата Номер пары Номер звезды	20/21 июля 1978 г 190 522N	 463S
T	$17^h45^m49{,}51^s$	$17^h34^m48{,}61^s$
u_0	—29,52	—31,33
α	21 18 07,66	19 04 26,84
t_0	22 29 50,39	20 27 12,33
δ	62°29′41,11″	13°50′04,18″
Z'_0	35 35 29 90	35 35 27 14
$Z'_{ON} - Z'_{OS}$	+2,76″	
$\cos a_S - \cos a_N$	1,528	

$\varphi = 43°44'55{,}00'' + 1{,}81'' - 1{,}48'' - 0{,}05'' + 0{,}08''$

$\varphi = 43°44'55{,}36''$

для обеих звезд пары. Запись моментов прохождений обеих звезд в журнале производят сверху вниз.

Вычисляют средние моменты наблюдений первой и второй звезд T'_1 и T'_2 и исправляют их поправкой ΔT_τ за задержку

сигнала в цепях ФУ, так что $T_1 = T_1' + \Delta T_\tau$, $T_2 = T_2' + \Delta T_\tau$. Поправку ΔT_τ вычисляют в порядке, изложенном в 10.8.

Вычисляют поправку за изменение наклона трубы при переходе от наблюдений одной звезды пары к другой $\Delta\varphi_b = b\frac{\tau''}{2} \times \times \sec a_N$, где $b = (Л + П)_S - (Л + П)_N$. Знак величины b определяется в соответствии с указаниями в 3.3.

Используя астрономическую долготу пункта, известную с погрешностью $\pm 0{,}2$ с, находят поправку хронометра u_0 (см. 2.3) в средние моменты наблюдений T_1 и T_2 каждой из звезд.

Из АЕ или FK4 выбирают на эпоху наблюдений видимые координаты α и δ отнаблюденных звезд (табл. 7.3).

По формуле $t_0 = T + u_0 - \alpha$ вычисляют часовые углы звезд, а затем по формуле $Z_0' = \arccos(\sin\varphi_0 \sin\delta + \cos\varphi_0 \cos\delta \cos t_0)$ находят их зенитные расстояния в момент наблюдений.

Вычисляют поправку за ускорение движения звезд пары по высоте $\Delta\varphi_{Wz} = -K\left(\frac{T_{10} - T_1}{100}\right)^2$, где разность $(T_{10} - T_1)_S$ между последним и первым моментами регистрации южной звезды выражают в секундах времени, коэффициент $K = 0{,}227\frac{n+1}{n-1}\sin 2\varphi_0 = = \text{const}$ для данного пункта и теодолита, n — число контактов для каждой из звезд, принятых в обработку. При $n = 10$ величина K находится по формуле

$$K = 0{,}277 \sin 2\varphi_0.$$

Широту пункта вычисляют по формуле $\varphi_i = \varphi_0 + \frac{Z_{ON} - Z_{OS}'}{\cos a_S - \cos a_N} + + \Delta\varphi_b + \Delta\varphi_{Wz}$, счет азимутов звезд в этой формуле ведется от точки юга.

Поправку в широту за короткопериодические члены нутации вычисляют один раз для каждого вечера наблюдений $\Delta\varphi_{нут} = = g' \cos(G' + s_{ср})$, где $s_{ср}$ — местное звездное время середины интервала наблюдений в данный вечер. Значения g' и G' выбирают из АЕ (таблица «Редукционные величины»).

Окончательное значение широты пункта получают как простое среднее из всех отнаблюденных пар (табл. 7.4), исправленное поправками за приведение к центру пункта, полюсу ОСІ и при необходимости к уровню моря.

Оценку точности выполняют по стандартным формулам теории ошибок.

7.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОТЫ ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ ПАР ЗВЕЗД НА РАВНЫХ ВЫСОТАХ (СПОСОБ ЦИНГЕРА) С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ МОМЕНТОВ

Программа фотоэлектрических определений долготы по способу Цингера должна содержать не менее 25 пар звезд, регистрируемых в течение трех и более вечеров при равномерном распределении между ними. Зенитные расстояния звезд должны

Таблица 74

Вычисление среднего значения широты и оценка точности

Дата	Номер пары	Широта	v
20 21 июля 1978 г.	176	43°44′55,00″	+0,34″
	190	55,26	+0,13
	194	55,07	+0,32
	199	56,13	—0,74
	205	55,61	—0,22
	209	55,86	—0,47
	213	55,48	—0,09
	224	55,09	+0,30
	229	54,99	+0,40
	232	55,53	—0,14
	246	55,48	—0,09
	249	55,09	+0,30

$n = 12$ $43°44′55,39″$ $[vv] = 1,43$

$\Delta\varphi_I$ +0,04

$\Delta\varphi_p$ +0,32 μ_φ ±0,36″

φ=43 44 55,75 ±0,10″

лежать в пределах 20—50°, а удаление от первого вертикала по азимуту не должно превышать 25°. Предпочтение отдается парам, состоящим из более ярких звезд с меньшими зенитными расстояниями. Не рекомендуется наблюдать звезды слабее пятой величины. Наблюдения звезд всегда выполняют при одном положении верхней части теодолита. От одной пары к другой следует чередовать порядок наблюдений звезд в парах (например, EW, WE и т. д.), чтобы ослабить влияние систематических инструментальных ошибок на результаты измерений.

Перед началом вечерних работ теодолит и приборы астрономического комплекта готовят к наблюдениям в порядке, указанном в 7.2. За 30—40 мин до начала измерений производят тщательное горизонтирование теодолита, определяют задержку сигнала по каналу каждого из фотоумножителей, производят прием радиосигналов точного времени и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3) с приближенной долготой λ_0 пункта наблюдений.

Подбор пар звезд осуществляется в процессе наблюдений в том же порядке, как и для визуальных определений долготы (см. 3.3).

Методика наблюдений пар аналогична рассмотренной в 7.3 для случая определения широты по способу Певцова.

Закончив наблюдения вечера, вторично измеряют время задержки сигнала по каналам каждого из фотоумножителей, производят прием радиосигналов точного времени и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3).

Результаты измерений записывают в журнал, аналогичный для визуальных определений долготы по способу Цингера (см. табл. 3.7).

Обработку результатов измерений ведут в порядке, указанном в 3.3 для визуальных измерений. Дополнительно измеренные фотоэлектрические моменты наблюдений звезд T'_E и T'_W исправляют поправкой ΔT_τ за задержку сигналов в фотоэлектрической установке, так что $T_E = T'_E + \Delta T_\tau$, $T_W = T'_W + \Delta T_\tau$. С исправленными значениями моментов T_E и T_W вычисляют часовые углы звезд, а также выполняют все последующие вычисления.

Окончательное значение долготы пункта получают как простое среднее из значений, вычисленных по всем парам. Оценку точности определения долготы производят по формуле $m_\lambda = \mu_\lambda/\sqrt{n}$, где $\mu_\lambda = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$ — погрешность единицы веса; v — уклонения отдельных значений долгот λ_i от среднего λ; n — число пар, принятых в обработку для вывода этого среднего

Так как при фотоэлектрических определениях долготы моменты наблюдений звезд свободны от личных погрешностей наблюдателя, то полученное значение долготы и точность m его определения являются окончательными. Личная долготная разность ни до, ни после полевого сезона не определяется.

7.5. ПОДГОТОВКА АСТРОНОМИЧЕСКОГО ТЕОДОЛИТА К ОПРЕДЕЛЕНИЮ АЗИМУТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ МОМЕНТОВ

Астрономический пункт, с которого предполагается выполнять азимутальные определения, должен быть оборудован в соответствии с указаниями в 6.1 и 7.2 удовлетворять требованиям. После того как теодолит и аппаратура установлены на предназначенных для них местах, приступают к подготовке всех приборов комплекса к наблюдениям.

Теодолит горизонтируют с погрешностью 5—10″.

Наводят трубу теодолита на миру или фонарь и, разворачивая коробку микрометра, приводят зеркальную решетку в горизонтальное положение с доступной для глаза степенью точности. Контроль горизонтальности решетки осуществляют в следующем порядке Вращая головку микрометра, отводят каретку с решеткой от нуль-пункта и устанавливают отсчет 4,00 оборота по шкале. Действуя наводящими винтами трубы и алидады горизонтального круга, приводят изображение миры на осевую линию зеркальной решетки, обращенную к краю поля зрения трубы. Осторожно вращая винт микрометра, переводят каретку с зеркальной решеткой на отсчет 16,00 оборотов Наводящим винтом алидады горизонтального круга разворачивают верхнюю часть теодолита по азимуту до тех пор, пока изображение миры не переместится через центр поля зрения трубы и через щели

зеркальной решетки. Если последняя горизонтальна, изображение миры, выйдя за пределы решетки, вновь окажется на ее осевой линии. Если горизонтальности добиться не удалось, изображение сойдет с осевой линии. В последнем случае оценивают на глаз расстояние между осевой линией и изображением миры и осторожно доворачивают коробку микрометра в соответствующую сторону до тех пор, пока изображение миры не приблизится к осевой линии на половину замеченного расстояния. Производят повторный контроль горизонтальности, а в случае необходимости и повторяют исправление положения решетки в том же порядке.

После того как зеркальная решетка установлена горизонтально, измеряют и исправляют коллимацию ее центрального окна: остаточное значение коллимации не должно превышать $\pm 10''$. Визирование на земной предмет при исправлении коллимации выполняют биссектором, расположенным напротив центрального окна решетки. В остальном порядок измерения и исправления коллимации не отличается от традиционного (см. 11.3).

Исправив коллимацию, выполняют согласование визирных осей главной трубы и трубы-искателя в соответствии с 7.2. Вторично проверяют совмещение осевых линий решетки главной трубы и горизонтального биссектора трубы искателя.

С погрешностью $1—2'$ измеряют и в случае необходимости исправляют место зенита (см. 2.7).

Проверяют и готовят к работе кварцевый хронометр «Альтаир» (см. 10.2.1), радиоприемник «Астра» (см. 10.5), цифропечатающее устройство МПУ8-3 (см. 10.3.1). В соответствии с инструкцией по эксплуатации, проверяют работоспособность фотоэлектрической установки и производят регулировку режимов ее работы. Подготовку ФУ заканчивают определением времени задержки сигнала по каналу каждого из фотоумножителей. При этом необходимо убедиться в том, что величина задержки и напряжение, при котором определяется задержка, не отличаются от зафиксированных в лабораторных условиях более чем на ± 10 %, что будет свидетельствовать о стабильности технических параметров фотоэлектрической установки.

Оценивают условия видимости и выбирают режим измерения направления на земной предмет (см. 10.8).

Контроль готовности теодолита к наблюдениям с использованием фотоэлектрической регистрации заканчивают пробной регистрацией света фонаря и звезды. Блеск звезды должен составлять $m = 3 \div 4$, а зенитное расстояние 50—70°. Наблюдения выполняют при двух положениях теодолита. В ходе наблюдений определяют оптимальное напряжение питания фотоумножителей для света фонаря и звезды в конкретных условиях данного вечера.

7.6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЗИМУТА ИЗ МНОГОКРАТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЯРКИХ ЗВЕЗД ВБЛИЗИ МЕРИДИАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Определение азимута на пунктах северного и южного полушарий Земли выполняют в темное время суток по наблюдениям ярких звезд вблизи меридиана. Так же как и в визуальном варианте этого способа (см. 6.1 и 6.2), программа определения геодезического или астрономического азимута включает в себя 18 приемов, исполняемых в три и более вечера при благоприятных условиях видимости. Между приемами лимб переставляют на 10°05′. Звезды регистрируют на зенитных расстояниях 50—80°. Удаление южных звезд от меридиана не должно превышать ±6°, а северных ±3°. Предпочтение отдается ярким звездам, кульминирующим на больших зенитных расстояниях. Не рекомендуется включать в программу близполюсные (медленные) звезды. Половина приемов в программе исполняется как минимум по двум южным, а вторая половина по двум северным звездам. Порядок наблюдений звезд в приемах и вечерах безразличен. Азимутальная лично-инструментальная разность не определяется.

В подготовку к наблюдениям данным способом входят исследования и поверки астрономического комплекта (см. 11.24), а также составление эфемерид (см. 6.2). При составлении эфемерид, особенно для экваториальных районов земного шара, следует стремиться к тому, чтобы каждая звезда в программе наблюдалась симметрично относительно меридиана, по обе стороны от него. В общем случае выгоднее наблюдать звезды как можно ближе к меридиану, что позволяет свести к минимуму воздействие наблюдателя на теодолит при регистрации моментов прохождений звезды.

Азимутальные определения одного вечера производят в следующем порядке. Готовят теодолит и аппаратуру, входящую в его комплект, в соответствии с указаниями 7.5. За 35—45 мин до начала наблюдений теодолит тщательно горизонтируют, определяют время задержки сигналов в цепях обоих фотоумножителей (см. 10.8), принимают радиосигналы точного времени и вычисляют поправку хронометра (см. 2.3) с астрономической λ, геодезической L или приближенными значениями λ_0 или L_0 долгот пункта наблюдений. Контролируют согласование осей главной трубы и трубы-искателя по земному предмету и звезде при двух положениях верхней части теодолита.

Каждый прием фотоэлектрического определения азимута включает в себя измерение направлений на земной предмет (фонарь) и звезду. Направление на фонарь измеряют в одном из двух режимов: ручном фотоэлектрическом и визуальном. В тех случаях, когда измерения выполняют в визуальном режиме, порядок действия и объем наблюдений фонаря принимают таким, который дан в пунктах 1—4, 9—12 (см. 6.2), а регистрацию звезды и измерение направления на нее — в объеме и

порядке, перечисленных в пунктах 3—6 настоящего раздела. Если направление на фонарь измеряется в ручном фотоэлектрическом режиме, порядок действий в приеме принимают следующим.

1. КП (КЛ). Трубу астрономического теодолита закрепляют на зенитном расстоянии фонаря. Алидаду горизонтального круга отводят от направления на фонарь на 30—40° против хода часовой стрелки, а затем, вращая ее от руки по ходу часовой стрелки, наводят главную трубу на фонарь, наблюдая за изображением его в трубу-искатель. При этом вертикальный биссектор сетки нитей трубы-искателя должен расположиться относительно фонаря таким образом, чтобы окончательное введение изображения фонаря в биссектор можно было выполнить наводящим винтом алидады горизонтального круга на ввинчивание. Действуя наводящими винтами, вводят изображение фонаря в вертикальный биссектор и устанавливают его по высоте на удалении 5—10′ от горизонтального биссектора. Помощник подает на фотоумножители нужную величину высокого напряжения балансирует схему установки и готовит ФУ для измерения направления на фонарь в ручном фотоэлектрическом режиме. Убедившись, что ФУ к измерениям готова, наблюдатель вводит изображение фонаря в квадрат, образованный пересечением вертикального и горизонтального биссекторов сетки нитей трубы-искателя. При этом в главной трубе изображение фонаря займет место в центральном окне зеркальной решетки. При введении фонаря стрелка микроамперметра на передней панели ФУ должна отклониться на 45—50 делений от нуль-пункта. Если этого не произошло, изображение фонаря выводят из решетки, увеличивают высокое напряжение, балансируют схему ФУ, после чего вновь вводят фонарь в решетку.

2. КП (КЛ). Измеряют направление на фонарь фотоэлектрическим микрометром в ручном фотоэлектрическом режиме в порядке, указанном в инструкции по эксплуатации. Делают три наведения микрометром поверительной трубы на миру, сопровождая каждое наведение отсчетом по шкале головки винта. Берут отсчет по горизонтальному кругу, дважды совмещая изображения противоположных штрихов лимба.

3. КП (КЛ). Устанавливают алидаду горизонтального круга и трубу по эфемеридным данным звезды (см. 6.2), находят изображение звезды в поле зрения трубы-искателя. После того как звезда обнаружена и приведена в центр поля зрения, поворачивают алидаду горизонтального круга на 20—30′ по ходу часовой стрелки. Вращая микрометр главной трубы, приводят каретку с зеркальной решеткой в нуль-пункт, на отсчет 10,000 оборотов. Дают успокоиться уровню. Готовят ФУ для регистрации моментов прохождения звезды.

4. КП (КЛ). Берут отсчеты по шкале уровня и переставляют его на оси. Отсчитывают горизонтальный круг, дважды

совмещая изображения противоположных штрихов. Занимают место у трубы-искателя и, вращая наводящий винт трубы, приводят изображение звезды на осевую линию горизонтального биссектора. При подходе звезды к началу решетки дают команду помощнику на включение цифропечатающей машины МПУ8-3 и, вращая наводящий винт трубы, удерживают изображение звезды на осевой линии биссектора до тех пор, пока звезда не выйдет за пределы зеркальной решетки. Вторично отсчитывают уровень. Эксплуатация ФУ при подготовке к наблюдениям звезды и регистрации моментов ее прохождений производится помощником в порядке, указанном выше. В период наблюдения звезды помощник трижды отсчитывает по микрометру поверительной трубы.

5. КЛ (КП). Переводят трубу через зенит и вновь закрепляют ее на зенитном расстоянии той же звезды для наблюдений ее при втором положении верхней части теодолита. Вращая последнюю по ходу часовой стрелки, устанавливают алидаду на отсчет, который на 1° больше взятого наблюдателем в конце предыдущего полуприема. Обнаружив звезду в поле зрения трубы-искателя, приводят ее в центр поля зрения, после чего поворачивают алидаду на 20—30′ по ходу часовой стрелки.

6. КЛ (КП). Регистрируют моменты прохождения звезды, берут отсчеты по уровню, горизонтальному кругу, поверительной трубе в объеме и порядке, указанном в пункте 5.

7. КЛ (КП). Наводят теодолит на фонарь, в порядке указанном в пункте 1.

8. КЛ (КП). Измеряют направление на фонарь в объеме и порядке, указанном в пункте 2.

Закончив прием, не сдвигая трубы с изображения фонаря, переставляют горизонтальный круг и приступают к выполнению следующего приема. Если зенитное расстояние земного предмета отличается от 90° более чем на 3°, то в пунктах 2 и 8, отсчитав горизонтальный круг, берут отсчеты по шкале уровня.

Закончив вечернюю программу азимутальных определений, вторично измеряют задержку сигнала в цепях ФУ, принимают радиосигналы времени и вычисляют поправку и ход хронометра.

Для повышения точности определения с применением фотоэлектрического метода регистрацию моментов наблюдений рекомендуется выполнять с каменных столбов. В этом случае поверительная труба не применяется. В остальном процесс измерений остается аналогичным изложенному.

В процессе наблюдений помощник производит вычисления в порядке, изложенном ниже:

направление на земной предмет вычисляют один раз в приеме по формуле $M = (КП + КЛ)/2$;

моменты $T'_{\text{п}}$ и $T'_{\text{л}}$ прохождения звезды по щелям зеркальной решетки исправляют поправкой ΔT_{τ} за задержку сигнала в цепях ФУ $T_{\text{п, л}} = T'_{\text{п, л}} - \Delta T_{\tau}$;

величины $\Delta T_{\text{мш}}$ в поправке Σ_1 и ΔT_a в формуле вычисления часового угла t принимают равным нулю;

средняя квадратическая погрешность определения азимута из наблюдений с фотоэлектрической регистрацией моментов характеризуется величиной m_A, полученной по результатам уравнивания, которая не должна превышать $\pm 0{,}4''$.

8. РЕДУКЦИИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

8.1. ПРИВЕДЕНИЕ ШИРОТЫ И ДОЛГОТЫ К ЦЕНТРУ ПУНКТА

Астрономические определения широты и долготы производят с помощью теодолита, установленного на астрономическом столбе, штативе или столике сигнала. Астроном обязан выполнить приведение полученных координат к центру пункта геодезической сети, а на основных долготных пунктах — к центру основного столба, т. е. к той точке, долгота которой официально утверждена.

Для приведения к центру широты и долготы как на полевом пункте, так и на основном необходимо измерить с помощью рулетки с точностью ± 1 см расстояние l от теодолита до центра пункта и астрономический азимут этого направления, отсчитанный от точки севера, с погрешностью, не превышающей $\pm 2'$. Наклон линии должен быть учтен.

Если теодолит установлен непосредственно над центром пункта, то об этом указывается в журнале наблюдений. Числовые значения элементов центрировки и чертеж, ориентированный по странам света, помещают как в журнале определения широты, так и журнале определения поправки часов.

Формулы для поправок за приведение к центру точны только при $l \leqslant 50$ м. Для расстояний 50—100 м они будут точны только при отсутствии аномалий уклонений отвесных линий, о чем может быть известно из детальной гравиметрической съемки близ астропункта. При расстояниях >100 м учет аномалий в формулах при приведении к центру обязателен.

Поправку за центрировку вычисляют по формулам:

$$\Delta\varphi_l = \frac{\rho''}{M}(l\cos a), \tag{8.1}$$

$$\Delta\lambda_l = \frac{\rho''}{N}(l\sin a\sec\varphi), \tag{8.2}$$

где M и N — радиусы кривизны меридиана и первого вертикала (в метрах) в данной точке, логарифмы величин $\frac{\rho}{M}$ и $\frac{\rho}{N}$, обозначаемые соответственно [1, 2], могут быть взяты из таблиц для вычисления геодезических координат [21]. Для приведения широты проще найти ρ/M по формуле

$$\frac{\rho}{M} = 0{,}032\,557 - 0{,}000\,003\,63\varphi.$$

В формулах (8.1)—(8.2) φ следует брать в градусах, l — в метрах.

Полученная поправка $\Delta\varphi_l$ выражается в секундах дуги.

Для приведения долготы в интервале широт 70° ю. ш.—70° с. ш.

$$\frac{\rho}{N} = 2{,}1531.$$

В зонах 70—85° (ю. ш. и с. ш.)

$$\frac{\rho}{N} = 2{,}1503 - 0{,}000080\,(\varphi - 70) + 0{,}00075 \sin 4\varphi$$

(широта здесь берется с точностью до 1°). При вычислении $\sec\varphi$ в полярных зонах широту необходимо знать до 0,1′, в остальных до 1′.

$\Delta\lambda_l$, полученная по формуле (8.2), выражена в миллисекундах.

Могут быть использованы также формулы

$$\Delta\varphi_l = \frac{l\cos a}{I}, \tag{8.3}$$

где I вычисляют по формуле $I = 30\,716 + 0{,}00346\varphi$ (здесь φ берется с точностью до 1°) или находят из АТ6. Для приведения долготы

$$\Delta\lambda_l = \frac{l\sin a}{III/1000}, \tag{8.4}$$

где $III/1000 = 0{,}4646\cos\varphi$ в интервале широт $0 \pm 70°$ и $III/1000 = 0{,}4650\cos\varphi$ — в зонах $70 - 85°$. Величина $III/1000$ может быть найдена из АТ6. При вычислении $III/1000$ широта берется до 1′, кроме полярных зон, в которых она берется до 0,1′. Поправка за центрировку в долготу, полученная по этой формуле, выражается в миллисекундах.

Указанными приближенными формулами для ρ/N и III можно пользоваться только до параллели $\pm 85°$ и при $l \leqslant 100$ м. Ближе к полюсу необходимо использовать формулу (8.2) и точные значения радиусов кривизны.

При астрономических определениях в южном полушарии, где широтам приписывается знак минус, для приведений широт и долгот азимут необходимо отсчитывать так же, как и в северном полушарии, от северной части меридиана. В формулах для ρ/M, ρ/N и I берется абсолютное значение широты пункта.

Пример вычисления поправок $\Delta\varphi_l$ и $\Delta\lambda_l$ по приведенным формулам помещен в табл. 8.1.

Аналогичным образом выполняют при необходимости приведения широты и долготы от столба к точке, на которой установлен теодолит для определения азимута.

При определении лично-инструментальных разностей на основных долготных пунктах в тех случаях, когда наблюдения выполнялись на столбе, не имеющем координат, необходимо выполнить привязку столба с известной долготой к месту наблюдений.

Разность долгот в этом случае вычисляется по формуле (в миллисекундах)

$$\Delta\lambda_l = -Kl\sin a, \tag{8.5}$$

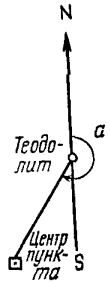
где $K = \frac{1000\rho''}{15N}\sec\varphi$ — находят по табл. 8.2.

Таблица 8.1

Пример вычисления поправок за центрировку

Исходные данные

$\varphi = 72°18'24{,}03''$ $\lambda = +3^h07^m12{,}206^s$ $a = 203°15'$ $l = 28{,}04$ м



Широта

Формулы (8 1):	(8.3):
$\cos a$ — 0,9188	—0,9188
$l \cos a$ — 25,76	—25,76
$\frac{\rho}{M}$ 0,032296	l 30,965
$\Delta\varphi_l$ —0,83″	—0,83″

Долгота

Формулы (8 2):	(8.4):
$\sin a$ — 0,3947	—0,3947
$l \sin a$ — 11,07	—11,07
$\frac{\rho}{N}$ 2,1494	$\cos\varphi$ 0,3034
$\sec\varphi$ 3,2963	*III/1000* 0,1411
$\Delta\lambda_l$ — 78 мс	—78 мс
$\Delta\lambda_l$ — 0,078 с	—0,078 с

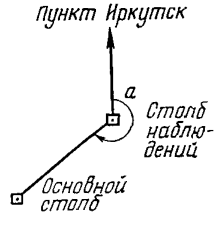
Приведенные к центру значения $\varphi = 72°18'23{,}20''$

$\lambda = +3^h07^m12{,}128^s$

Таблица 8.2

Таблица коэффициентов

Основной пункт	K	Основной пункт	K
Пулково	4,27	Иркутск	3,52
Москва	3,82	Николаев	3,15
Новосибирск	3,75	Ташкент	2,87
Новосибирск Новый	3,74	Молодежная	5,66



Пример

$l = 23{,}24$ м

$a = 214°42'$

$\Delta\lambda_l = +47$ мс

$\lambda_{ст\ набл} = \lambda_{осн} + \Delta\lambda_l = 0^h00^m22{,}766^s$

$+ 0{,}047^s = 0^h00^m22{,}813^s$

$\lambda_{осн}$ — из табл. 3.1

8.2 ПРИВЕДЕНИЕ АЗИМУТА К ЦЕНТРАМ ПУНКТОВ

При наблюдении азимута теодолит большей частью установлен не над центром геодезического пункта, а на астростолбе, штативе или столике сигнала Визирная цель в свою очередь обычно не совмещена с центром пункта, азимут направления

на который определяется. Вследствие этого в наблюденное значение азимута необходимо ввести три поправки: за центрировку теодолита Δa_l за редукцию визирной цели Δa_r и за сближение меридианов Δa_l.

Элементы центрировки:

l — горизонтальное проложение между центром теодолита и центром пункта;

θ — угол между направлениями на центр данного пункта и на сигнал, азимут направления на который определяется.

Элементы редукции:

l_1 — горизонтальное проложение между центром гелиотропа или фонаря и центром пункта, над которым они установлены;

θ_1 — угол при центре гелиотропа (фонаря) между направлениями на центр данного пункта и на сигнал, с которого определяют азимут.

Углы θ и θ_1 должны измеряться по часовой стрелке от 0 до 360°.

Элементы центрировки и редукции определяют перед началом наблюдений азимута и по окончании. Во всех случаях, когда имеются сомнения в стабильности элементов, определения повторяют.

При значительной величине линейных элементов ($>0{,}3$ м) их измеряют непосредственно стальной рулеткой в прямом и обратном направлениях или аналитически.

При невозможности измерить горизонтальное проложение измеряют наклонное и определяют угол наклона. Измерения угла наклона выполняют теодолитом Т-30 или соответствующим ему по точности. Расхождение двух значений (измеренных или вычисленных) горизонтального проложения не должно превышать 5 мм.

При аналитическом определении элементов угловые измерения выполняют теодолитом Т-30 или более точным тремя приемами, с перестановкой лимба между приемами на 60°. Расхождение значений угла по приемам не должно превышать 1′.

При графическом определении элементов центрировки и редукции поступают точно так же, как при измерении углов в триангуляции. С помощью тщательно выверенного теодолита с трех установок проецируют на центрировочный лист центр пункта и центр теодолита, стоящего на столике сигнала, или центр пункта и центр визирной цели (фонаря, гелиотропа). Проецирующие плоскости должны пересекаться под углом, близким к 120°. Длина стороны треугольника погрешностей не должна превышать 5 мм. При проецировании центра можно работать при одном положении круга теодолита, а снесение центра теодолита и визирной цели необходимо выполнять при двух положениях круга. Из полученных проекций центра теодолита (центр треугольника погрешностей) и центра визирной цели прочерчивают направления на сигнал, азимут которого (или с которого) определяется, а также еще на один пункт

триангуляции, направление на который должно быть известно из каталога или непосредственно измерено. Если с земли не видно сигналов, то направления прочерчивают на вехи, установленные предварительно в створе. По ориентир-буссоли прочерчивают направление юг — север. Таким образом, на данном центрировочном листе получают линейные элементы центрировки для данного пункта (с которого наблюдают азимут) и редукции для пункта, на который наблюдают азимут.

Одновременное размещение на одном листе элементов центрировки и редукции может быть только в том случае, если теодолит в момент проецирования был снят со столика сигнала.

Линейные элементы измеряют на листе с точностью до 0,001 м Углы θ и θ_1 при проекции теодолита или визирной цели измеряют с помощью транспортира, считая всегда от направления на центр пункта до направления на сигнал. Кроме того, транспортиром измеряют угол между направлениями на два сигнала. Разность углов, измеренных транспортиром, и точных значений не должна превышать 2°. За окончательное значение линейных и угловых элементов берется среднее, которое записывают в журнал на специально отведенной странице. На этой же странице журнала приводится схема расположения теодолита, визирной цели и центра пункта, а также даты определений. Изменение линейных элементов по данным повторного определения не должно превышать 10 мм.

Центрировочный лист № *18*

Триангуляция кл. Ряд Анино — Кузино
Пункт Семеновка, сигнал 27 августа 1979 г.
Контрольный угол Рядово — Семеновка — Березовка
на чертеже 25°0′ и 26°15′
точный 25°17′

Элементы центрировки	редукции
$l = 0{,}062$ м	$l_1 = 0{,}030$ м
$\theta = 112°0'$ на п. Рядово	$\theta_1 = 60°0'$ на п. Рядово

Определение произвел *М. М. Столетов*
Проверил *П. Н. Корзин*

Образец центрировочного листа приведен на рис. 8.1, а схемы в журнале на рис. 8.2.

Поправки за центрировку (табл. 8.3) и редукцию вычисляют по формулам:

$$\Delta a_l = \frac{l}{s}(\rho'' \sin \theta), \tag{8.6}$$

$$\Delta a_r = \frac{l}{s}(\rho'' \sin \theta_1), \tag{8.7}$$

где s — расстояние в метрах (из каталога) между центрами пунктов. Углы θ и θ_1 при их графическом определении берутся до 0,1°, а при аналитическом до 0,1′.

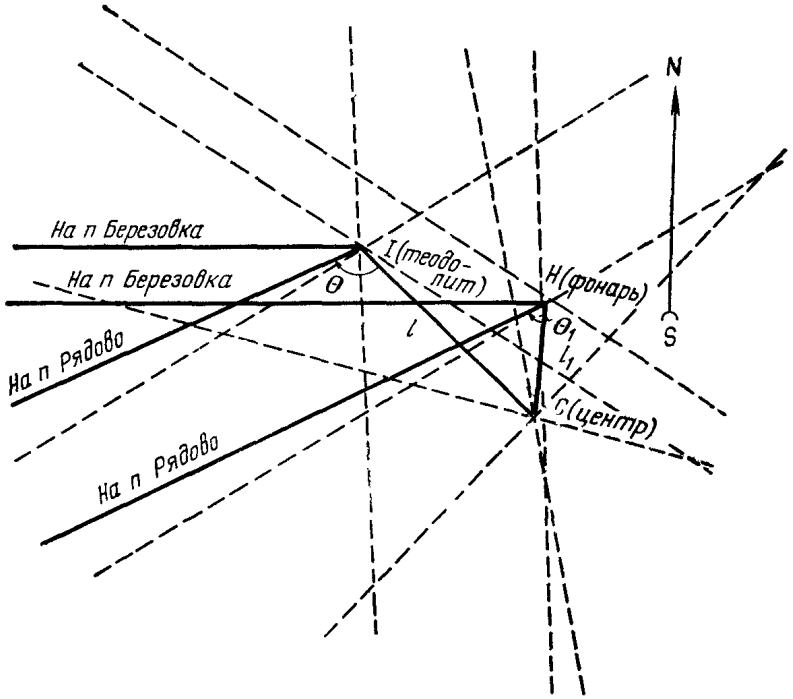


Рис. 8.1. Центрировочный лист

Таблица 83

Вычисления поправок за приведение к центрам пунктов

Схема	Пункт Семеновка	Схема	Пункты	
			Семеновка	Рядово
Δa_l	+0,73″	a	132,7°	218°15,6′
		l	0,064 м	28,144 м
l	0,064 м	φ	64°18,6′	64°16,5′
$\sin\theta$	+0,8415	$\operatorname{tg}\varphi$	2,0788	2,0755
θ	122,7°			
s	15 214 м	$\frac{\rho''}{N}$	0,032255	0,032255
ρ''	206265″			
θ_1	214,4°	$\sin a$	+0,7349	—0,6192
$\sin\theta_1$	—0,5650			
l_1	0,037 м	Δa_l	+0,003	—1,17″
Δa_r	—0,28″			

Поправку за сближение меридианов вычисляют по формуле

$$\Delta a_\gamma = l \sin a \left(\frac{\rho''}{N}\right) \operatorname{tg}\varphi, \qquad (8.8)$$

где φ — широта центра пункта с точностью до 0,1′; a — азимут

направления теодолит — центр данного пункта; $\frac{\rho''}{N} = [2]$ может быть найдено по логарифму этой величины из таблиц [21] или приближенно:

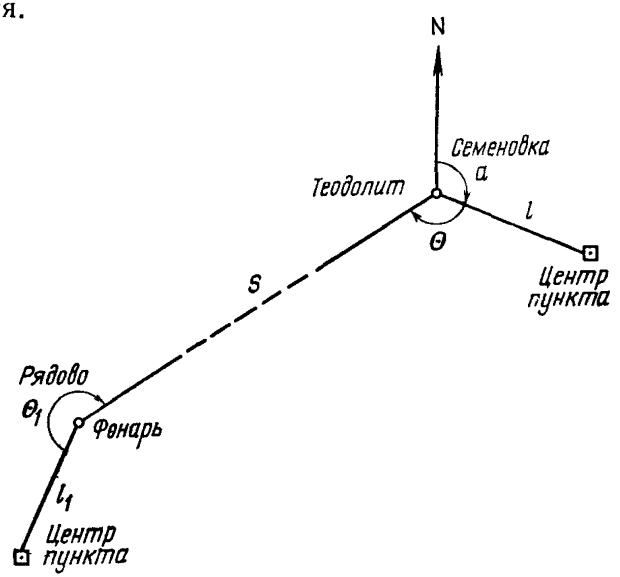
$$\frac{\rho''}{N} = 0{,}032296 \text{ для широт от 0 до } \pm 70^\circ \ldots$$

и $$\frac{\rho''}{N} = 0{,}032255 - 0{,}0000012\,(\varphi - 70^\circ) + 0{,}0000112 \sin 4\varphi$$

(в интервале 70—85°) ...

Широта в этом выражении (8.16) берется по абсолютной величине с точностью до 1°.

Результаты вычисления по этим формулам получатся в секундах дуг, если l взято в метрах, а $\frac{\rho''}{N}$ — в секундах дуги на 1 м сечения первого вертикала, a — необходимо знать с погрешностью 0,1°, если линейный элемент центрировки $l < 0{,}3$ м и до 0,1′, если $l \geqslant 0{,}3$ м. Азимут может быть найден по формуле $a = a'' - \theta$, где a' — неприведенное к центру значение азимута основного направления.



Элементы приведения	Измеренные значения элементов		
	1 определение 27 августа 1979	2 определение 2 октября 1979	среднее
l	0,062	0,067	0,064 м
θ	112°0′	115°30′	113,8°
l_1	0,038	0,036	0,037 м
θ_1	213°30′	215°15′	214,4°
S			15 214 м
a			132,7°

Рис. 8.2. Схема определения элементов центрировки и редукции

8.3. ПРИВЕДЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ КООРДИНАТ И АЗИМУТОВ К УРОВНЮ МОРЯ

Астрономические определения выполняются на физической поверхности Земли. Поэтому возникает вопрос о приведении полученных координат к поверхности геоида. Но для приведения к геоиду — уровенной поверхности, совпадающей с невозмущенной поверхностью воды в океане,— необходимо знать направление отвесной линии на участке выше поверхности геоида. Но это направление нам неизвестно, поэтому точно вычислить поправку в широту за непараллельность уровенных поверхностей мы не можем. Для получения уклонения отвеса по широте при астрономо-гравиметрическом нивелировании необходимо иметь астрономическую широту именно на поверхности Земли. Вследствие этого широта к уровню геоида (уровню моря) не приводится. Неприведенное значение дается и в астрономических каталогах. В случае необходимости при работах, описание которых не входит в настоящее Руководство, приведение к уровню моря для широтных определений может быть выполнено по следующей простой формуле, которая выведена из предположения, что силовые линии расположены по нормалям

$$\Delta\varphi_{н} = -0{,}171''H \sin 2\varphi, \qquad (8.9)$$

где $\Delta\varphi_{н}$ — поправка к наблюденной широте; H — высота пункта наблюдения над уровнем моря в км; φ — приближенная широта (в южном полушарии широта отрицательная).

Астрономическая долгота не приводится к уровню моря во всех случаях, так как нормальные силовые линии являются плоскими кривыми, лежащими в плоскости меридиана.

Астрономический азимут должен приводиться к той поверхности относимости, на которой построена астрономо-геодезическая сеть. Такой поверхностью в наших работах является референц-эллипсоид Красовского.

Поправка в азимут (табл. 8.4) направления *1—2* прямо пропорциональна высоте наблюдаемой визирной цели на пункте *2*, не зависит от расстояния до нее и также не зависит от высоты пункта *1*, с которого ведутся наблюдения

Таблица 84

Вычисления поправки за приведение азимута к эллипсоиду

Схема	Вычисление	Схема	Вычисление
φ	38°12′	a_{12}	130°24′
$H_{нив}$	2,45 км	$\sin 2a_{12}$	—0,987
$H_{нив} - H_{элл}$	+0,08 км	$\cos^2\varphi$	0,618
$h_{в\ ц}$	+0,01 км	$\Delta a_{н}$	—0,16″
H_{2}	2,38 км		

$$\Delta a_н = 0{,}108 H_2 \cos^2 \varphi \sin 2a, \qquad (8.10)$$

где $\Delta a_н$ — поправка в азимут направления за высоту (в секундах дуги); φ — широта пункта *1*; H_2 — высота над эллипсоидом визирной цели (в км) на пункте *2*, азимут направления на который определяется; a — азимут направления *1—2* от точки севера,

$$H_2 = H_{нив} - (H_{нив} - H_{элл}) + h_{в\,ц}.$$

Здесь $H_{нив}$ — высота над уровнем моря пункта *2*; $H_{нив} - H_{элл}$ — превышение геоида над эллипсоидом; $h_{в\,ц}$ — высота над землей визирной цели на пункте *2*.

В качестве высоты над эллипсоидом обычно с достаточной точностью можно взять высоту пункта над уровнем моря (геоида) $H_{нив}$, высоту сигнала $h_{в\,ц}$ на пункте *2* можно также не учитывать. Геодезический азимут, определенный непосредственно, приводится к эллипсоиду по тем же формулам.

8.4. ПРИВЕДЕНИЕ К СРЕДНЕМУ ПОЛЮСУ

Астрономические координаты и азимуты, полученные из наблюдения, являются мгновенными и отнесены к мгновенному полюсу. Они должны редуцироваться (приводиться) к среднему положению полюса. В качестве такого среднего положения принято Международное условное начало OCI (Origine Conventionnele Internationale).

Координаты мгновенного полюса x и y относительно OCI вычисляются в настоящее время Международным бюро времени в Париже (МБВ). Окончательные значения координат публикуются в ежемесячных циркулярах МБВ (*D*) [27] через каждые 5 суток, а также в годовом отчете [28]. В качестве окончательных взяты сглаженные координаты (smoothed values).

В советском издании «Всемирное время» (бюллетень *E*) [5], выпускаемом Государственной комиссией единого времени и эталонных частот СССР (ГК ВЭЧ СССР) раз в три месяца, и в бюллетенях *A* (раз в месяц) [4] даются те же окончательные координаты мгновенного полюса в системе OCI, вычисленные Международным бюро времени, но проинтерполированные на каждые сутки. Координаты x и y в этих изданиях даются для нуля часов всемирного времени данных суток с точностью до $0{,}001''$.

Кроме того, в циркулярах *D* и *B/C* (МБВ) и бюллетенях *A* [4] (ГК ВЭЧ) даны предварительные (срочные) координаты полюса, которые могут использоваться при приближенных вычислениях.

В табл. 8.5 указано ориентировочное время получения координат полюса советским потребителем в европейской части СССР.

Для материалов МБВ на доставку по почте из Франции к сроку выхода в свет добавлен один месяц, для советских материалов — 0,5 мес.

Таблица 85

Издание	Периодичность	Срочные (экстраполированные)	Окончательные (интерполированные)
Бюллетень *D* МБВ	1 мес	—	Спустя два месяца после даты наблюдений
» *B/C* МБВ	1 мес	За месяц до даты наблюдений	Спустя два месяца после даты наблюдений
Годовой отчет МБВ	1 год	—	Через год
Бюллетень *A* ГК ВЭЧ	1 неделя	Месяц после даты наблюдений	Спустя 2,5 месяца после даты наблюдений
Бюллетень *E* ГК ВЭЧ	3 мес	—	Спустя 5 месяцев после даты наблюдений

При обработке астрономических определений безразлично, из какого периодического издания будут взяты координаты полюса в системе OCI, важно только, чтобы они были о к о н ч а т е л ь н ы м и.

Координаты полюса при выборке из бюллетеней *A* и *E* не интерполируются, а берутся для ближайшего начала суток.

Редукции для приведения к среднему полюсу должны вводиться в широту, в долготу (определенную на основном пункте и на полевом пункте), в астрономический азимут, в геодезический азимут, определенный непосредственно из наблюдений, и в азимутальную лично-инструментальную разность. Поправки должны вводиться один раз, т. е. при вычислении долгот и азимутов широта должна быть взята мгновенная (не приведенная к среднему полюсу), при вычислении широты долгота также должна быть мгновенной и т. д. Иначе следует поступать в том случае, когда определения астрономических координат и азимутов разделены между собой большим промежутком времени (>2 месяцев) и мы не знаем мгновенных координат. Максимальные значения поправок за приведение к среднему полюсу (при $\varphi \leqslant 85°$) по абсолютной величине могут достигнуть: в широту $0{,}5''$, в долготу $0{,}5^s$.

Поэтому, если такими погрешностями нельзя пренебречь, необходимо поступить так. Допустим, широта наблюдалась в июне 1978 г., а долгота в августе 1979 г. Для вычисления долготы нужна мгновенная широта для августа 1979 г., получим ее по формуле

$$\varphi_{\text{мгн.авг79}} = \varphi_{\text{набл.78}} + \Delta\varphi_{\text{р ин78}} - \Delta\varphi_{\text{р авг79}},$$

где $\Delta\varphi_{\text{р.ин78}}$ и $\Delta\varphi_{\text{р авг79}}$ — поправки вычисленные с координатами x и y мгновенного полюса в системе OCI соответственно для 1978 и 1979 гг. С этой широтой и будет вычислятся долгота, наблюденная в августе 1979 г.

В каждом конкретном случае необходимо оценить величину погрешности и решить, следует ли применять эту формулу или можно обойтись без ее использования. Необходимость при-

менения формулы, как правило, появляется в высоких широтах (65—85°), когда для азимута нужна точная долгота.

Координаты полюса выбирают для средней даты наблюдений на пункте, если не было больших перерывов (>10 дней) в наблюдениях. При больших перерывах координаты отыскивают для каждой группы наблюдений и берут среднее весовое, при весе пропорциональном числу пар (приемов).

8.4.1. Приведение широты

Вычисления выполняют по формулам:

$$\varphi_{\text{ОСІ}} = \varphi_{\text{набл}} + \Delta\varphi_{\text{р}}, \tag{8.11}$$

$$\Delta\varphi_{\text{р}} = y \sin\lambda - x \cos\lambda, \tag{8.12}$$

где x и y — координаты мгновенного полюса в системе ОСІ для средней даты наблюдений на пункте; λ — приближенная долгота пункта, считаемая, как принято в Руководстве, к востоку от Гринвича положительной.

8.4.2. Приведение долготы

Вычисления выполняются по формулам

$$\lambda_{\text{ОСІ}} = \lambda_{\text{набл}} + \Delta\lambda_{\text{р}}, \tag{8.13}$$

$$\Delta\lambda_{\text{р}} = -\frac{1}{15}(x \sin\lambda + y \cos\lambda) \operatorname{tg}\varphi. \tag{8.14}$$

Здесь φ — приближенная широта пункта, а остальные обозначения прежние.

По таким же формулам подсчитывают поправки в долготу, полученную на основном долготном пункте, после чего вычисляют окончательное значение ЛИР.

В формуле (8.14) поправка $\Delta\lambda_{\text{р}}$ выражена в секундах времени. При обработке долготных определений всемирное время должно быть в системе $\text{UT1}_{\text{ОСІ}}$, т. е. с учетом колебания полюса. Причем поправки за колебание полюса должны быть учтены во всемирном времени в соответствии с координатами полюса ОСІ. Именно такое всемирное время дано в бюллетенях ГК ВЭЧ и циркулярах МБВ.

8.4.3. Приведение астрономического азимута

Вычисления выполняют по формулам:

$$a_{\text{ОСІ}} = a_{\text{набл}} + \Delta a_{\text{р}}, \tag{8.15}$$

$$\Delta a_{\text{р}} = -(x \sin\lambda + y \cos\lambda) \sec\varphi. \tag{8.16}$$

Таблица 8.6

Вычисление поправок за приведение к среднему полюсу

Пункт Андреевка

Обозначения	Широта	Долгота	Азимут астрономический
Даты наблюдений 1979 г. (число пар, приемов)	Июнь 14/15 (3), 16/17 (2), 26/27 (9)	15/16, 16/17, 20/21	16/17, 18/19, 21/22
Средняя дата	16 июня (5) и 27 июня (9)	18 июня	19 июня
Наблюденное значение	64°21′28,03″ (64°21′)	$9^h17^m28{,}415^s$ (139°22′)	169°28′14,03″
x_{OCI}	$\frac{(-0{,}134\times5)+(-0{,}122\times9)}{14}=$ $=-0{,}126''$	−0,132″	−0,131″ } Из бюллетеней A-186 или E-18
y_{OCI}	$\frac{(+0{,}319\times5)+(+0{,}343\times9)}{14}=$ $=+0{,}334''$	+0,324	+0,326″ }
sin λ	+0,651		
cos λ	−0,759		
$\frac{1}{15}$ tg φ		0,139	
sec φ			2,315
Δ_p	+0,122″	$+0{,}046^s$	+0,770″
OCI	64°21′28,15″	$9^h17^m28{,}461^s$	169°28′14,80″

Таблица 8.7

Вычисление поправок за приведение к среднему полюсу

Обозначения	Геодезический азимут A с пункта Николаевка на пункт Калуков	АЛИР основной пункт Пулково ΔT
Даты наблюдений 1979 г	Май 14/15, 18/19, 22/23	Апрель 11/12, 12/13, 13/14, 15/16
Средняя дата	19 мая	14 апреля
Наблюденное значение	213°29′14,27″	$+0{,}143^s$
B (φ)	72°36′	59°46′
L (λ)	103°18′	$2^h01^m18{,}560$ (30°20′)
x_{OCI}	−0,149″ } Бюллетени E-18 и A-183	−0,126″ } Бюллетени E-18 и A-178
y_{OCI}	+0,256″ }	+0,169″ }
sin λ (L)	0,973	0,505
cos λ (L)	0,230	0,863
cos B	0,299	
$\frac{1}{15}$ tg φ		0,114
Δ_p	+0,025″	$-0{,}009^s_4$
OCI	A_{OCI} 213°29′14,30″	$\Delta T_{OCI}+0{,}134^s$

8.4.4. Приведение геодезического азимута

Геодезический азимут, полученный из уравнивания на пункте и вычисленный со средними (каталожными) геодезическими координатами B и L, для приведения к полюсу ОСІ исправляют поправкой

$$A_{\text{ОСІ}} = A_{\text{набл}} + \Delta A_{\text{р}}, \tag{8.17}$$

$$\Delta A_{\text{р}} = -(x \sin L + y \cos L) \cos B. \tag{8.18}$$

Значения L и B в формуле (8.18) без ущерба для точности могут быть заменены соответственно через λ и φ.

8.4.5. Приведение АЛИР

В лично-инструментальную азимутальную разность ΔT для приведения к полюсу вводят поправку, вычисляемую по формуле (в секундах времени)

$$\Delta T_{\text{ОСІ}} = \Delta T_{\text{набл}} - \frac{1}{15}(x \sin \lambda + y \cos \lambda) \operatorname{tg} \varphi. \tag{8.19}$$

При работах в южном полушарии во всех формулах широта считается отрицательной.

В тех случаях, когда необходимо привести координаты полюса к другому началу и когда всемирное время в системе $\text{UT1}_{\text{ОСІ}}$ неизвестно, следует использовать рекомендации, приведенные в «Технических указаниях» [23].

В табл. 8.6 и 8.7 рассмотрены примеры вычислений поправок за приведение к среднему полюсу.

9. ПРИБЛИЖЕННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

9.1. ПРИБЛИЖЕННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ШИРОТЫ

9.1.1. Определение широты по зенитному расстоянию Полярной

Для определения широты с погрешностью не более 1′ используют высокоточные астрономические теодолиты, описание которых дано в разделе 10. Могут быть также применены любые теодолиты высокой и средней точности, но в данном Руководстве рассмотрены методики наблюдений только при использовании астрономических теодолитов.

В качестве часов можно использовать хронометры, а также любые часы, имеющие колебания суточного хода не более 15^s.

Необходимо иметь термометр и барометр-анероид.

Для обработки результатов наблюдений необходимо знать поправку часов относительно местного звездного времени с погрешностью не более $\pm 0{,}5^m$. Поправка часов определяется на основе принятых в вечер наблюдений радиосигналов времени или по наблюдениям звезд. В первом случае должна быть известна долгота пункта с погрешностью $\pm 0{,}5^m$.

Поправка часов вычисляется по формулам из 2.3 или 4.3.1, но с меньшей точностью.

Способ определения широты по Полярной применим в северном полушарии в зоне от 5 до 80°.

Теодолит устанавливают на столбе, выполняют его основные юстировки и поверки. Теодолит горизонтируют. Определяют место зенита MZ вертикального круга по земному предмету (мире). По абсолютной величине MZ не должно превышать 15′.

Место зенита вычисляется с точностью до 0,1′ по формуле

$$MZ = \frac{1}{2}(МЛ + МП) \pm 180°. \qquad (9.1)$$

Выбор знака в формуле производится следующим образом. Если $(МЛ+МП)/2 > 180°$, то берется знак «—», если $<180°$, то «+».

Можно определить MZ и по Полярной, для этого надо сделать три отсчета по вертикальному кругу при наведениях горизонтальной нитью на звезду в последовательности КЛ, КП, КЛ. При каждом наведении отсчитывается хронометр ($T_{л1}$, $T_п$, $T_{л2}$). Наблюдения при КЛ должны по времени быть симметричными относительно наблюдений при КП, т. е. $(T_{л2} - T_п) \approx (T_п - T_{л1})$. Место зенита находится по формуле (9.1), в которой принимается $МЛ = (МЛ_1 + МЛ_2)/2$.

Для отыскания Полярной используются «Таблицы высот и азимутов Полярной» АЕ СССР. Наблюдения производят при двух положениях вертикального круга, двумя приемами. Порядок действий в приеме:

1) КЛ. Наводят перекрестие горизонтальной и вертикальной нитей сетки на Полярную, фиксируя при этом показание часов $T_л$;

2) отсчитывают по вертикальному кругу, предварительно установив пузырек уровня вертикального круга на середину, получают отсчет *МЛ*;

3—4) переводят трубу через зенит и выполняют действия 1 и 2 ($T_п$ и *МП*);

5) отсчитывают температуру воздуха $t°$ и атмосферное давление b.

На этом заканчивается первый прием, затем переходят ко второму приему.

Если поправку хронометра определяют по радиосигналам, то один раз за вечер принимают радиосигналы времени (можно использовать сигналы поверки времени «шесть точек»).

Таблица 9.1

Журнал определения широты по Полярной

Последовательность действий	Схема	Отсчет КЛ	Отсчет КП	8 9	$t = -6°$ $b = 1037$ гПа			
4	Номер приема	1		16	ρ_θ	37″	ρ_θ	36″
3	Дата	*27/28 марта* 1980 г.		17	γ	1,06	$\Delta\rho_t$	+2
5	*MZ*	359°52,3′		18	B	1,02	$\Delta\rho_b$	+1
				19	ρ	40	ρ	39″
6	*МЛ*, *МП*	327°38,1′	32°06,2′					
20	Z	32 14,2	32 13,9		Вычисление u			
7	T	$18^h14^m15^s$	$18^h17^m52^s$					
15	u	−5 27 48	−5 27 48	1	$D_м$			$18^h\ 0^m0^s$
23	$s = T + u$	12 46 27	12 50 04	10	$(D_м - 3)\ \mu$			+2 28
21	$Z + \rho$	32 14,9	32 14,6	11	λ			6 12 40
22	$h = 90° - (Z + \rho)$	57 45,1	57 45,4	12	S_0			12 18 18
24	I	+46,7	+47,0	13	Σ			12 33 26
				2	x			18 01 14
25	II	0,0	0,0	14	u			−5 27 48
26	III	−0,5	−0,5					
27	φ_i	58°31,3′	58°31,9′					
28	φ	58°31,6′						

Запись наблюдений производят в журнале, образец которого дан в табл. 9.1. Вся обработка выполняется непосредственно в журнале.

Вычисление широты производят для каждого полуприема в последовательности, указанной на схеме, по формуле

$$\varphi_i = h + I + II + III, \qquad (9.2)$$

где $h = 90^\circ - (Z + \rho)$.

Зенитное расстояние

для теодолитов Т4, ДКМ3-А, АУ 2/10 находится по формулам

$$Z = МЛ - МZ;$$

$$Z = МZ - МП.$$

При получении по формулам отрицательного зенитного расстояния прибавляется 360°.

Местное звездное время вычисляется по формуле

$$s = T + u,$$

где u — поправка часов.

Рефракция может вычисляться с помощью «Таблиц по геодезической астрономии» по формуле

$$\rho = \rho_0 \gamma B$$

или по таблицам рефракции АЕ СССР по формуле

$$\rho = \rho_0 + \Delta\rho_t + \Delta\rho_b.$$

В примере даны оба варианта. При $\varphi \geqslant 50^\circ$ можно ограничиться средней рефракцией и считать $\rho = \rho_0$.

Величины I, II, III выбираются из АЕ СССР по аргументам соответственно s; s и h; s и дата.

Расхождение между значениями φ в приемах не должно превышать $1'$.

За окончательное значение широты принимается среднее из двух приемов.

9.1.2. Определение широты по зенитному расстоянию Солнца

Для приближенного, с погрешностью не более $1'$, определения широты по зенитному расстоянию Солнца используют высокоточные астрономические теодолиты, а также любые теодолиты средней и высокой точности, хронометры или любые часы, суточный ход которых относительно среднего времени не превышает 10^s. Для определения температуры воздуха и атмосферного давления используют термометр — пращ и барометр-анероид.

Поправка часов u относительно всемирного времени UT1 и долгота определяемого пункта должны быть известны с погрешностью менее 10^s.

9.1.2.1. Подготовка к измерениям. Устанавливают теодолит и подготавливают его к работе: горизонтируют по уровню при алидаде горизонтального круга или по накладному уровню; устанавливают подвижную нить окулярного микрометра в нульпункт, а всю сетку нитей таким образом, чтобы подвижная нить была горизонтальна, определяют место зенита MZ вертикального круга теодолита; на окуляр зрительной трубы теодолита надевают темный светофильтр.

9.1.2.2. Производство измерений. При определении широты по зенитному расстоянию Солнца наиболее выгодно выполнять измерения в моменты кульминации Солнца. Практически допустимы отступления от меридиана по азимуту до 20°.

Измерения производят при положениях теодолита круг право (КП) и круг лево (КЛ) и при двух положениях изображения Солнца относительно сетки нитей зрительной трубы теодолита. Например, начав измерения с КП, их выполняют в следующем порядке:

1) устанавливают пузырек уровня при алидаде вертикального круга теодолита на середину;

2) наводят горизонтальную нить сетки на нижний или верхний край изображения Солнца так, чтобы при этом вертикальная нить проходила через центр этого изображения. В момент наведения подают сигнал помощнику для отсчитывания показания часов $T_{п1}$;

3) отсчитывают по лимбу вертикального круга теодолита $МП_1$;

4) наводят горизонтальную нить на противоположный край изображения Солнца и получают отсчеты по часам $T_{п2}$; и по лимбу вертикального круга теодолита $МП_2$;

5) переводят трубу через зенит;

6) производят действия, изложенные в пунктах 1—4, и получают показания часов $T_{л1}$ $T_{л2}$ в моменты визирования на Солнце и отсчеты по лимбу вертикального круга $МЛ_1$ и $МЛ_2$.

Результаты измерений записывают в журнал измерений (табл. 9.2).

9.1.2.3. Вычисление широты. 1. Вычисляют показания часов $T_л$, $T_п$ в средний момент визирования на Солнце в полуприемах

$$T_л = (T_{л1} + T_{л2})/2;$$
$$T_п = (T_{п1} + T_{п2})/2.$$

2. Вычисляют средние в полуприемах отсчеты $МЛ$ и $МП$ по вертикальному кругу

$$МЛ = (МЛ_1 + МЛ_2)/2;$$
$$МП = (МП_1 + МП_2)/2.$$

По формулам, соответствующим применяемому теодолиту, с известным MZ вычисляют зенитное расстояние Солнца $Z'_л$, $Z'_п$ в моменты $T_л$, $T_п$.

Таблица 9.2

Журнал измерений

Дата *24 декабря 1979 г.* Часы *палубные* Поправка часов $u = +\,00^h00^m37{,}5^s$

Место зенита $MZ = 359°58'30''$ Долгота $\lambda = 2^h30^m05^s$ Температура воздуха $t° = -\,10°$ Атмосферное давление $b = 100$ гПа

Положение теодолита	Наблюдаемый край Солнца	Показания часов T	Отсчеты по вертикальному кругу	Зенитное расстояние Солнца
КЛ	◐	$8^h07^m21{,}0^s$	$279°16'01''$	
	◑	10 42,0	278 44 23	$80°58'18''$
		8 09 01,5	279 00 12	
КП	◑	$8^h16^m12{,}5^s$	$80°51'21''$	
	◐	18 51,5	18 55	$80°36'38''$
		8 17 32,0	80 35 08	

Вычисления по пунктам 1, 2 выполняют в журнале измерений, а последующие в ведомости (см. пример в табл. 9.3).

3. Вычисляют всемирное время UT1л, UT1п в средние моменты визирования на Солнце

$$UT1_{л,\,п} = T_{л,\,п} + u.$$

4. Вычисляют эфемеридное время $(ET)_h$ в средний момент измерений в приеме по формулам

$$UT1 = (UT1_л + UT1_п)/2;$$

$$(ET)_h = UT1 + \Delta T,$$

где ΔT — предварительная поправка за переход к эфемеридному времени, выбираемая из АЕ СССР.

5. Вычисляют экваториальные координаты $\delta_\odot$ и $\alpha_\odot$ Солнца на средний момент наблюдений в приеме

$$\delta_\odot = \delta_{\odot т} + v_{(\delta)}\,(ET)_h,$$

$$\alpha_\odot = \alpha_{\odot т} + v_{(\alpha)}\,(ET)_h,$$

где $\delta_{\odot т}$, $\alpha_{\odot}$ — табличные значения видимого склонения и видимого прямого восхождения Солнца на 0^h эфемеридного времени; $v_{(\delta)}$, $v_{(\alpha)}$ — часовое изменение соответственно видимого склонения и прямого восхождения Солнца, вычисляемого по формуле

$$v_{(\alpha)} = 9{,}856^s - v_{(E)},$$

где $v_{(E)}$ — часовое изменение уравнения времени.

Величины $\delta_{\odot т}$, $\alpha_{\odot т}$, $v_{(\delta)}$, $v_{(E)}$ выбирают из таблицы «Солнце» АЕ СССР по аргументу — всемирная дата измерений.

Таблица 9.3

Вычисление широты

Порядок действий	Схема	Вычисление КЛ	Вычисление КП	Порядок действий	Схема	Вычисления КЛ	Вычисления КП
1	$T_{Л,\ П}$	$8^h09^m01{,}5^s$	$8^h17^m32{,}0^s$	27	$\sin Z'$	0,99	
2	u	+ 37,5	+ 37,5	23	ρ_0	351″	338″
7	$UT1_{Л,\ П}$	8 09 39	8 18 10	24	γ	1,0762	1,0762
9	UT1	8 13 54		25	B	0,9934	0,9934
10	ΔT	50		8	$UT1_{Л,\ П}$	$8^h09^m39^s$	$8^h18^m10^s$
11	$(ET)_h$	8 14 44		30	$UT1_{Л,\ П}{}^{\mu}$	01 20	01 22
12	$(ET)_h$	$8{,}25^h$		5	S_0	6 07 42	6 07 42
13	v_δ	+1,8″		6	λ	2 30 05	2 30 05
13[a]	пост	$9{,}86^s$		22	$\alpha_\odot$	18 08 21	18 08 21
14	v_E	—1,25		31	$t_{\odot Л,\ П}$	22 40 25	22 48 58
17	$v_{(\alpha)}$	+11,11		32	$\operatorname{tg}\delta_\odot$	—0,43328	
15	$\delta_{\odot т}$	—23°25′49″		34	$\cos t_{\odot Л,\ П}$	0,94031	0,95235
18	$v_{(\delta)}(ET)_h$	+ 15		36	$\operatorname{tg} m_{Л,\ П}$	—0,46078	—0,45496
19	$\delta_\odot$	—23 25 34		35	$\cos Z_{Л,\ П}$	0,15517	0,16146
16	$\alpha_{\odot т}$	$18^h\ 06^m\ 49^s$		38	$\sin m_{Л,\ П}$	—0,41850	—0,41411
20	$v_{(\alpha)}(ET)_h$	+01 32		33	$\sin\delta_\odot$	—0,39757	
21	$\alpha_\odot$	18 08 21		39	$(\cos Z \sin m)_{Л,\ П}$	—0,06494	—0,06685
3	$Z'_{Л,\ П}$	80°58′18″	80°36′38″	40	$\cos n_{Л,\ П}$	0,16334	0,16817
26	$\rho_{Л,\ П}$	06 15	06 01	41	$n_{Л\ П}$	80°36,0′	80°19,1′
28	ΔZ_p	09	09	37	$m_{Л,\ П}$	—24 44,4	—24 27,8
29	$Z_{Л,\ П}$	81 04 24	80 42 30	42	$\varphi_{Л\ П}$	55 51,6	55 51,3
4	Z'	80 47		43	φ	55°51,4′	

6. Вычисляют зенитное расстояние $Z_{л}$, $Z_{п}$ Солнца в полуприемах по формуле

$$Z_{л,\,п} = Z'_{л,\,п} + \rho_{л,\,п} - \Delta Z_{р},$$

где $\rho_{л,\,п}$ — истинная рефракция, вычисляемая с помощью таблиц по геодезической астрономии; $\Delta Z_{р} = 9'' \sin Z'$ — поправка за параллакс Солнца, в которой $9''$ — приближенное значение параллакса Солнца, а Z' — среднее зенитное расстояние Солнца в приеме, вычисляемое по формуле

$$Z' = (Z'_{л} + Z'_{п})/2.$$

7. Вычисляют часовой угол Солнца $t_{\odot л}$, $t_{\odot п}$ в средние моменты измерений в приемах

$$t_{\odot л,\,п} = \mathrm{UT1}_{л\ п} + \mathrm{UT1}_{л,\,п}\mu + S_0 + \lambda - \alpha_{\odot},$$

где $\mu = 0{,}002738$ — коэффициент пропорциональности; $(\mathrm{UT1}_{л,\,п})\mu$ — поправка за переход от среднего времени к звездному; выбирают из таблицы «Перевод среднего времени в звездное» АЕ СССР по аргументу $\mathrm{UT1}_{л,\,п}$; S_0 — гринвичское звездное время в 0^h всемирного времени; выбирают из таблицы «Звездное время» АЕ СССР по аргументу — всемирная дата измерений.

8. Вычисляют широту пункта φ по формулам

$$\operatorname{tg} m_{л.\,п} = \frac{\operatorname{tg}\delta_{\odot}}{\cos t_{\odot л,\,п}};$$

$$\cos n_{л,\,п} = \frac{\cos Z_{л,\,п} \sin m_{л,\,п}}{\sin \delta_{\odot}};$$

$$\varphi_{л,\,п} = m_{л,\,п} + n_{л,\,п};$$

$$\varphi = (\varphi_{л} + \varphi_{п})/2.$$

9.2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОЛГОТЫ ПО ЗЕНИТНОМУ РАССТОЯНИЮ СОЛНЦА

Для приближенного, с погрешностью не более $0{,}1^m$, определения долготы по зенитному расстоянию Солнца применяют те же приборы, что и для приближенного определения широты по зенитному расстоянию Солнца (см. 9.1.2).

Поправка часов в период измерений должна быть известна с погрешностью менее 3^s. Широта определяемого пункта должна быть известна с погрешностью менее $1'$.

9.2.1. Подготовка к измерениям

Выполняют действия, рассмотренные в пункте 9.1.2.1.

9.2.2. Производство измерений

При определении долготы по зенитному расстоянию Солнца наиболее выгодно выполнять измерения утром или вечером в период $\pm 1{,}5$ ч от момента прохождения Солнцем первого

вертикала. Зенитное расстояние Солнца не должно превышать 85°. Измерения проводят при двух положениях теодолита (КП и КЛ) и при двух положениях изображения Солнца.

1. Производят действия по пунктам 1—6, приведенным в 9.1.2.2 и получают показания часов $T_{Л1}$, $T_{Л2}$, $T_{П1}$, $T_{П2}$ в моменты визирования на Солнце и отсчеты по лимбу вертикального круга $МЛ_1$, $МЛ_2$, $МП_1$, $МП_2$.

Результаты измерений записывают в журнале измерений (табл. 9.4).

Таблица 9.4

Журнал измерений

Дата *21 июля 1980 г.* Часы *палубные.* Поправка часов $u = +0^h00^m35^s$. Место зенита $MZ = 359°58'30''$. Широта $\varphi = 55°51'18''$. Температура воздуха $t° = +13°$. Атмосферное давление $b = 1003$ гПА. Измерения производились утром

Положение теодолита	Наблюдаемый край Солнца	Показания часов T	Отсчеты по вертикальному кругу	Зенитное расстояние Солнца
КЛ	Верхний	$3^h05^m18^s$	283°11′28″	
	Нижний	08 08	282 39 52	
		3 06 43	282 55 40	70°02′50″
КП	Нижний	3 11 02	76°32′55″	
	Верхний	13 34	75 59 45	
		3 12 18	76 16 20	76°17′50″

9.2.3. Вычисление долготы

1. В журнале измерений вычисляют величины $T_Л$, $T_П$, $МЛ$, $МП$, $Z'_Л$, $Z'_П$ по формулам, приведенным в пунктах 1, 2 (см. 9.1.2.3).

Вычисления долготы выполняют в ведомости (табл. 9.5).

2. Вычисляют величины $UT1_{Л,П}$, $UT1_{Л,П}{}^{\mu}$, $\delta_\odot$, $\alpha_\odot$ по формулам, приведенным в пунктах 3—5 (см. 9.1.2.3).

3. Вычисляют среднее зенитное расстояние Солнца $Z_Л$, $Z_П$ в полуприемах по формулам, приведенным в пункте 6 (см. 9.1.2.3).

4. Вычисляют часовой угол Солнца $t_{\odot Л}$, $t_{\odot П}$ в средние моменты измерений в полуприемах

$$\cos t'_{\odot Л,\,П} = \frac{\cos Z_{Л,\,П} - \sin\varphi \sin\delta_\odot}{\cos\varphi \cos\delta_\odot};$$

$t_{\odot Л,\,П} = 24^h - t'_{\odot Л,\,П}$ — для утренних измерений;

$t_{\odot Л,\,П} = t'_{\odot Л,\,П}$ — для вечерних измерений.

5. Вычисляют долготу пункта λ по формулам:

$$\lambda_{Л,\,П} = t_{\odot Л,\,П} + \alpha_\odot - UT1_{Л,\,П} - (UT1_{Л,\,П})^{\mu} - S_0;$$

$$\lambda = (\lambda_Л + \lambda_П)/2,$$

где S_0 — гринвичское звездное время в 0^h всемирного времени; выбирают из таблицы «Звездное время» АЕ СССР.

Таблица 9.5

Вычисление долготы

Порядок действий	Схема	Вычисления КЛ	Вычисления КП	Порядок действий	Схема	Вычисления КЛ	Вычисления КП
1	$T_{Л,\ П}$	$3^h06^m43^s$	$3^h12^m18^s$	19	ρ_0	247,1″	233,6″
2	u	+ 35	+ 35	20	γ	0,9895	0,9895
5	$UT1_{Л,\ П}$	3 07 18	3 12 53	21	B	0,9895	0,9895
7	UT1	3 10 06		27	$\sin\varphi$	0,827620	
8	ΔT	50		28	$\sin\delta_\odot$	0,349558	
9	$(ET)_h$	3,18		32	$\sin\varphi\sin\delta_\odot$	0,289301	
10	$v_{(\delta)}$	—28,9″		29	$\cos Z_{Л,\ П}$	0,223047	0,235849
10[a]	пост	$9{,}86^s$		33	$\cos Z_{Л,\ П} - \sin\varphi\times\sin\delta_\odot$	—0,066254	—0,053452
11	$v_{(E)}$	—0,12					
14	$v_{(a)}$	9,98		30	$\cos\varphi$	0,561289	
12	$\delta_{\odot T}$	+20°29′09″		31	$\cos\delta_\odot$	0,936915	
15	$v_{(\delta)}(ET)_h$	—01 32		34	$\cos\varphi\cos\delta_\odot$	0,525880	
16	$\delta_\odot$	+20 27 37		35	$\cos t'_{\odot Л,\ П}$	—0,125987	—0,101643
13	$\alpha_{\odot T}$	$8^h\ 01^m\ 58^s$		6	$UT1_{Л\ П}$	$3^h07^m18^s$	$3^h12^m53^s$
17	$v_{(a)}(ET)_h$	32		37	$UT1_{Л,\ П}{}^{\mu}$	31	32
18	$\alpha_\odot$	8 02 30		4	S_0	19 55 39	19 55 39
3	$Z'_{Л.\ П}$	77°02′50″	76°17′50″	36	$t_{\odot Л,\ П}$	17 31 03	17 36 40
22	$\rho_{Л,\ П}$	04 02	03 49	38	$\alpha_\odot$	8 02 30	8 02 30
25	ΔZ_p	09	09	39	$\lambda_{Л,\ П}$	2 30 05	2 30 06
26	$Z_{Л,\ П}$	77 06 43	76 21 30	40	λ	$2^h30^m06^s$	
23	$Z'_{ср}$	76 40					
24	$\sin Z'$	0,97					

9.3 ПРИБЛИЖЕННЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АЗИМУТА

9.3.1. Определение астрономического азимута по часовому углу Полярной

Для определения азимута направления на земной предмет по часовому углу Полярной с погрешностью не более $\pm 30''$ используют высокоточные астрономические теодолиты, перечисленные в разделе 10. Методика наблюдений с применением других теодолитов высокой и средней точности здесь не описывается.

Пределы применения способа от 5 до 70° с. ш.

В качестве часов можно использовать средние и звездные хронометры, а также любые часы с центральной секундной стрелкой или с табло, имеющие колебания суточного хода не более 15^s. Поправка часов должна быть известна с погрешностью не более $\pm 1^m$. Она может быть определена из приема радиосигналов времени или из астрономических наблюдений. В первом случае должна быть известна долгота пункта с погрешностью не грубее $+0{,}5^m$.

Широта пункта должна быть известна с погрешностью, не превышающей 5′. Перед наблюдениями теодолит устанавливают на столбе, тщательно центрируют, так как сторона, азимут которой определяется, обычно невелика. Выполняют обычные поверки и юстировки теодолита. Особое внимание при этом обращается на соблюдение взаимной перпендикулярности горизонтальной оси вращения теодолита и его вертикальной оси.

Теодолит горизонтируют. Определяют по отсчетам на земной предмет коллимационную ошибку. Она не должна превышать 30″.

Для отыскания Полярной удобно использовать «Таблицы высот и азимутов Полярной» АЕ СССР. В них по аргументу s (местное звездное время) и φ (приближенная широта) находят высоту звезды h или ее зенитное расстояние $Z=90-h$. Поставив на найденное зенитное расстояние трубу и зная очень приближенно направление на север, перемещением алидады по азимуту находят в поле зрения Полярную. При применении этого метода отыскания Полярной необходимо, чтобы место зенита было невелико ($MZ \leqslant 10'$). Если звезда отыскивается без помощи «Таблиц», то место зенита может быть произвольным.

В течение вечера должны быть приняты радиосигналы времени. Азимут направления определяют двумя приемами с перестановкой лимба на произвольный угол. Каждый прием наблюдают при двух положениях вертикального круга в последовательности:

1) наблюдение земного предмета КЛ;
2) наблюдение Полярной КЛ;
3) наблюдение Полярной КП;
4) наблюдение земного предмета КП.

Можно начинать наблюдения и при КП в последовательности КП; КП; КЛ; КЛ.

При наблюдении объекта (земной предмет или звезда) точно наводят вертикальной нитью на объект, после чего отсчитывают горизонтальный круг (*МЛ* или *МП*). Наведение на Полярную сопровождается отсчетами времени по часам $T_л$ и $T_п$. Во время наблюдений пузырек цилиндрического накладного или алидадного уровня должен находиться близ середины ампулы.

Запись производится в журнале (табл. 9.6).

Таблица 96

Журнал наблюдений

φ 55°24′ λ $2^h17{,}3^m$ Дата 12/13 апреля 1980 г.

Прием I

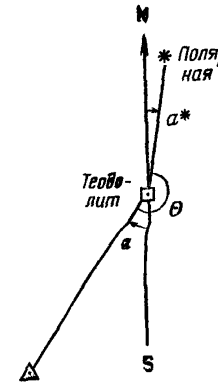
Объект	Круг	Время T	Горизонтальный круг *МЛ*, *МП*
Мира	КЛ		214°14′18″
Полярная	КЛ	$10^h16^m56^s$	2 43 14
Полярная	КП	10 18 35	182 44 50
Мира	КП		34 15 04
		M	214°14′41″
$2C = 46''$		*M**	2 44 2
		Q	211 30 39

Таблица 9.7

Вычисление азимута

Прием I

Порядок действий	Схема	Вычисления
3	α	$2^h10{,}9^m$
2	u	−3,6
1	$T_{ср}$	10 17,8
5	$\alpha - u$	2 14,5
6	t	8 3,3
7	t°	120,82
4	δ	89°10′24″
8	Δ''	2976″
9	$\operatorname{tg}\varphi$	1,450
11	$\sin t$	0,859
12	δt	+3707″
13	δt°	1,030°
14	$t + \delta t$	121,850°
10	$\sec\varphi$	1,761
15	$\sin(t + \delta t)$	0 849
16	a_*	4449″
17	a_*	1°14′09″
18	Q	211°30′39″
19	a	32°41′48″



Вычисления можно выполнять по различным формулам; например

$$a_* = \Delta'' \sec\varphi \sin(t + \delta t);$$

$$\delta_t = \Delta'' \operatorname{tg}\varphi \sin t;$$

$$\Delta'' = 90° - \delta;$$

$$t = T_{ср} - (\alpha - u);$$

$$Q = M - M^*;$$

$$a = a_* \pm 180° + Q.$$

Здесь a_* отсчитывается от точки севера, a — от точки юга.

Вычисления размещают в схеме (табл. 9.7).

Удобно часовой угол выражать в градусной мере

$$t^\circ = 15t^h.$$

Поправку часов вычисляют по принятым радиосигналам так же, как указано в табл. 9.1.

Из двух приемов берут среднее. Допустимое расхождение между приемами 40″.

9.3.2. Определение азимута направления по зенитному расстоянию Солнца

Для приближенного, с погрешностью не более 1,5′, определения азимута направления по зенитному расстоянию Солнца используют те же приборы, что и для приближенного определения широты и долготы (см. 9.1.2).

Широта пункта должна быть известна с погрешностью менее 1′.

В данном разделе принят счет азимута от точки юга к западу от 0 до 360°.

9.3.2.1. Подготовка к измерениям. Выполняют действия, рассмотренные в 9.1.2.1.

9.3.2.2. Производство измерений. При определении азимута выгодно наблюдать при часовом угле Солнца $t_\odot \approx 6^h$. Для соблюдения этого условия на практике достаточно выполнять измерения в период нахождения Солнца вблизи первого вертикала так же, как и при определении долготы (см. 9.2.2). Измерения производят при двух положениях теодолита (КП и КЛ) и при двух положениях изображения Солнца.

Начальные положения выбирают произвольно и, начав, например с КЛ, выполняют измерения в следующем порядке:

1) визируют вертикальной нитью сетки нитей на земной предмет и отсчитывают по лимбу горизонтального круга МЛ;

2) устанавливают пузырек уровня при алидаде вертикального круга теодолита на середину;

3) визируют левым верхним квадрантом сетки нитей на изображение Солнца (рис. 9.1), и в момент касания нитей сетки изображения Солнца подают сигнал помощнику для отсчитывания показания часов $T_{л1}$;

4) отсчитывают по лимбам вертикального $МЛ_1^в$ и горизонтального $МЛ_1$ кругов;

5) визируют правым нижним квадрантом сетки нитей на изображение Солнца (рис. 9.2) и получают отсчет по часам $T_{л2}$, по лимбам вертикального $МЛ_2^в$ и горизонтального $МЛ_2$ кругов;

6) переводят трубу через зенит;

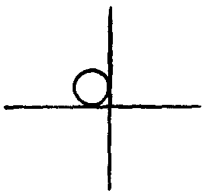


Рис. 9.1. Положение Солнца в момент наблюдения

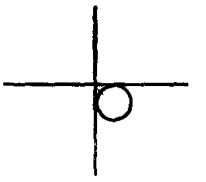


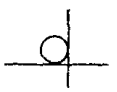
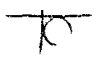
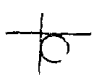
Рис. 9.2. Положение Солнца в момент наблюдения

7) производят действия, описанные в пунктах 2—5, и получают показания часов $T_{п1}$, $T_{п2}$ в моменты визирования на Солнце и отсчеты по лимбам вертикального $МП_1^в$, $МП_2^в$ и горизонтального $МП_1$, $МП_2$ кругов;

Таблица 9.8

Журнал измерений

Дата *21 июля 1980 г.* Часы *палубные* Поправка часов $u = +0^h00^m35^s$ Место зенита $MZ = 359°58'30''$ Широта $\varphi = 55°51{,}3'$ Температура воздуха $t = +13$ Атмосферное давление $b = 1003$ гПа Измерения производились утром

Схема измерения	Объект	Показания часов T	Отсчеты по лимбу		Зенитное расстояние Солнца
			вертикальный круг	горизонтальный круг	
			КЛ		
	ЗП			290°53′01″	
	Солнце 1	$3^h05^m18^s$	282°39′52″	250 00 17	
	Солнце 2	08 08	283 11 28	251 20 31	
		3 06 43	282 55 40		77°02′50″
			КП		
	Солнце 3	$3^h11^m02^s$	76°32′55″	71°05′59″	
	Солнце 4	13 34	75 59 45	72 26 40	
		3 12 18	76 16 20		76°17′50″
	ЗП			110 53 35	

8) производят действия, приведенные в пункте 1, и получают отсчет $МП$ по лимбу горизонтального круга.

Результаты измерений записывают в журнал измерений (табл. 9.8).

9.3.2.3. Вычисление азимута. 1. Вычисляют показания часов $T_\odot$ в средний момент визирования на Солнце в приеме

$$T_\odot = \frac{1}{4}(T_{Л1} + T_{Л2} + T_{П1} + T_{П2}).$$

2. Вычисляют средние в полуприемах отсчеты по вертикальному кругу $МЛ^в$, $МП^в$.

$$МЛ^в = (МЛ_1^в + МЛ_2^в)/2;$$

$$МП^в = (МП_1^в + МП_2^в)/2$$

и по формулам, соответствующим применяемому теодолиту, с известным MZ вычисляют зенитное расстояние Солнца $Z'_Л$, $Z'_П$ в средние моменты измерений в полуприемах.

Вычисления по пунктам 1, 2 выполняют в журнале измерений, а последующие в ведомости (табл. 9.9).

Таблица 9.9

Вычисление азимута

Порядок действий	Схема	Вычисления	Порядок действий	Схема	Вычисления
1	φ	55°51′18″	27	$\sin\varphi$	0,827620
2	$T_\odot$	$3^h09^m30^s$	28	$\cos Z$	0,229455
3	u	+ 35	32	$\sin\varphi\cos Z$	0,189902
12	UT1	$3^h10^m05^s$	29	$\sin\delta_\odot$	0,349558
13	ΔT	50	33	$\sin\varphi\cos Z - \sin\delta_\odot$	—0,159656
14	$(ET)_h$	$3{,}18^h$	30	$\cos\varphi$	0,561289
15	v_δ	—28,9″	31	$\sin Z$	0,973067
16	$\delta_{\odot T}$	+20°29′09″	34	$\cos\varphi\sin Z$	0,546172
17	$v_{(\delta)}(ET)_h$	—01 32	35	$\cos a'$	—0,292318
18	$\delta_\odot$	+ 20 27 37	36	a'	73°00′12″
4	$Z'_Л$	77°02′50″	6	$МЛ$	290 53 01
5	$Z'_П$	76 17 50	7	$МП \pm 180'$	290 53 35
19	Z'	76 40 20	8	$МЛ_1$	250 00 17
23	ρ	03 55	9	$МЛ_2$	251 20 31
25	ΔZ_p	09	10	$МП_1 \pm 180°$	251 05 59
26	Z	76 44 06	11	$МП_2 \pm 180°$	252 26 40
24	$\sin Z'$	0,97	38	$\frac{1}{2}(МЛ + МП \pm \pm 180°)$	290 53 18
20	ρ_0	240,1″	39	$\frac{1}{4}(МЛ_1 + МЛ_2 + МП_1 + МП_2 \pm \pm 360°)$	251 13 22
21	γ	0,9895			
22	B	0,9895	40	Q	39 39 56
			37	$a_\odot$	253 00 12
			41	a	292°40,1′

3. Вычисляют эфемеридное время $(ET)_n$ в средний момент измерений по формулам

$$UT1 = T_{\odot} + u; \quad (ET)_n = UT1 + \Delta T,$$

где ΔT — предварительная поправка за переход к эфемеридному времени — из АЕ СССР.

4. Вычисляют видимое склонение Солнца $\delta_{\odot}$ на средний момент измерений в приеме по формуле, приведенной в пункте 5 (см. 9.1.2.3).

5. Вычисляют среднее зенитное расстояние Солнца Z на средний момент измерений в приёме

$$Z' = (Z'_{\text{Л}} + Z'_{\text{П}})/2; \quad Z = Z' + \rho + \Delta Z_{\text{р}},$$

где ρ — истинная рефракция, а $\Delta Z_{\text{р}}$ — поправка за параллакс Солнца, которые вычисляют согласно пункту 6 (см. 9.1.2.3).

6. Вычисляют азимут Солнца $a_{\odot}$ на средний момент измерений в приеме по формуле

$$\cos a' = \frac{\sin\varphi \cos Z - \sin\delta_{\odot}}{\cos\varphi \sin Z},$$

используя табл. 9.10.

Таблица 9.10

Знак $\cos a'$	Утро	Вечер
+	$a_{\odot} = 360° - a'$	$a_{\odot} = a'$
−	$a_{\odot} = 180° + a'$	$a_{\odot} = 180° - a'$

7. Вычисляют угол Q между направлением на земной предмет и направлением на Солнце в средний момент измерений в приеме

$$Q = (МЛ + МП \pm 180°)/2 - (МЛ_1 + МЛ_2 + МП_1 + МП_2 \pm 360°)/4.$$

8 Вычисляют азимут направления на земной предмет

$$a = a_{\odot} + Q.$$

10. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

10.1. АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ТЕОДОЛИТЫ

Для точных астрономических определений широт, долгот и азимутов применяются астрономические теодолиты АУ 2/10, Вильд Т4 и ДКМ3-А, основные технические характеристики которых приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Характеристика			Теодолит		
			АУ 2/10	Вильд Т4	ДКМ3 А
Зрительная труба	Диаметр входного отверстия, мм		55	60	72
	Фокусное расстояние объектива, мм		450	600	510
	Увеличение, крат		45,56	65	27,45
	Цена деления окулярного микрометра, ″		1,1	1,5	1,0
	Наименьшее расстояние визирования, м		5	100	19
Горизонтальный круг	Диаметр круга, мм		220	250	100
	Цена деления круга		5′	2′	10′
	Отсчетное устройство	Тип	Микроскоп микрометр	Оптический микрометр с плоскопараллельными пластинками	
		Цена деления	2″	0,1″	0,5″
Вертикальный круг	Диаметр круга, мм		135	145	100
	Цена деления круга		5′	4′	10′
	Отсчетное устройство	Тип	Микроскоп верньер	Оптический микрометр с плоскопараллельными пластинками	
		Цена деления	10″	0.2″	0,5″
Цена деления уровней	При алидаде горизонтального круга		—	—	10″
	При алидаде вертикального круга		6—10″	Контактный 2—3″	Контактный 10″
	Накладного		2—3″	1″	2—3″
	Талькоттовского		1,2—1,6″	1—2″	2—3″
Масса теодолита без футляра, кг			37	50	14,0

10.1.1. Астрономический универсальный теодолит АУ 2/10

Астрономический универсальный теодолит АУ 2/10 был разработан в 30-х годах и в настоящее время выпускается заводом ЭОМЗ ЦНИИГАиК в комплекте ПАО-1.

Зрительная труба теодолита (рис. 10.1, 10.2) центральная, ломаная, состоит из просветленного объектива, с ней прямоугольной призмы и окуляра микрометра. Разрешающая способность трубы 2,5″, угол поля зрения 55′. Фокусировка трубы осуществляется перемещением тубуса микрометра в полости горизонтальной оси. Подсветка поля зрения в ночное время производится осветителем, который устанавливается в розетку подставки трубы напротив торца лампового конца горизонтальной оси.

Теодолит АУ 2/10 снабжен (рис. 10.3, 10.4) двумя микрометрами — контактным и окулярным. Цена оборота винтов микрометров около 115″. Шкала головки микрометрического винта содержит 100 делений, с оцифровкой через каждые 10 делений. Контактный цилиндр имеет пять основных и один опознавательный контакты. Все нити сеток микрометров паутиновые. Счет оборотов винтов микрометров ведется по выступам и углублениям гребенки, расположенной на стойке неподвижной сетки нитей. Переход от азимутальных к зенитальным методам астрономических определений осуществляется разворотом коробки микрометра относительно тубуса. Перемещение каретки микрометра производится ручками привода, вращение оси которого с помощью двух шестерен передается на микрометрический винт, ввинчивающийся в гайку каретки. Каретка движется по направляющим на трении скольжения. Измерительный расход каретки составляет ±12′ от нуль-пункта.

Установка трубы на эфемеридное зенитное расстояние с погрешностью ±1′ производится по вертикальному кругу, снабженному двумя микроскопами, укрепленными на алидаде вертикального круга. Для горизонтирования алидады используется уровень. Точное измерение положения трубы по зенитному расстоянию выполняется по показаниям талькоттовского уровня. Рама с уровнем при помощи винта может скрепляться с горизонтальной осью или с подставкой горизонтальной оси. Для выполнения последней операции служит откидная вилка. Приведение пузырька талькоттовского уровня на середину ампулы осуществляется элевационным винтом. Для измерения наклона горизонтальной оси применяется накладной уровень, ножки которого устанавливаются на рабочие сечения цапф.

Горизонтальная ось теодолита свободная, цапфы открытые. Расстояние между рабочими сечениями цапф 252 мм. Цапфы лежат в лагерах, фасеты которых имеют цилиндрическую форму. Разгрузка оси выполняется при помощи ложных подпружиненных лагер с опорными роликами. Неправильности фигур цапф астрономического универсального инструмента АУ 2/10, как правило, не превышают 1 мкм.

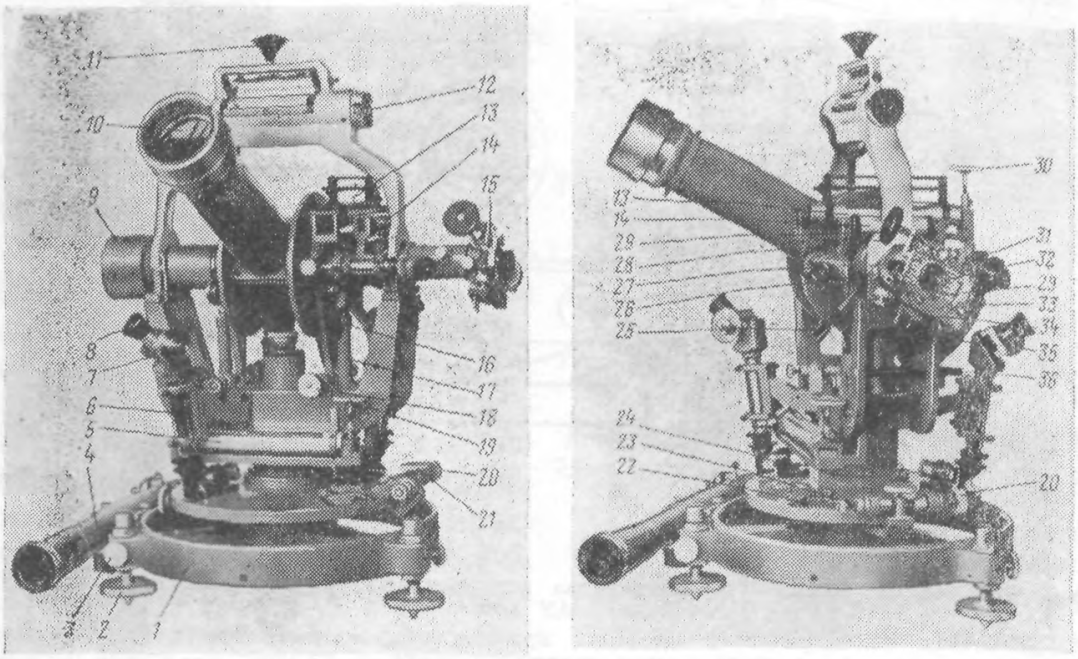


Рис. 10.1. Астрономический теодолит АУ 2/10. Вид со стороны объектива трубы:

1 — подставка; *2* — подъемный винт; *3* — закрепительный винт подъемного винта; *4* — поверительная труба; *5* — уровень при алидаде горизонтального круга; *6* — кронштейн микроскопа-микрометра; *7* — головка винта микроскопа-микрометра; *8* — окуляр микроскопа-микрометра; *9* — противовес горизонтальной оси; *10* — объектив зрительной трубы; *11* — накладной уровень горизонтальной оси; *12* — исправительные винты накладного уровня; *13* — ампула талькоттовского уровня; *14* — ампула уровня вертикального круга; *15* — контактный микрометр; *16* — вертикальный круг; *17* — стойка разгрузочного устройства горизонтальной оси; *18* — наводящий винт трубы; *19* — элевационный винт уровня алидады горизонтального круга; *20* — наводящий винт алидады горизонтального круга; *21* — закрепительный винт алидады горизонтального круга

Рис 10.2. Астрономический теодолит АУ 2/10.

Вид со стороны окулярного конца горизонтальной оси:

22 — окно для отсчета по горизонтальному кругу-искателю; *23* — контрпружина наводящего винта; *24* — патрон с лампой для подсветки горизонтального круга; *25* — винт для крепления рамы талькоттовского уровня к горизонтальной оси; *26* — юстировочный винт микрометра; *27* — окуляр микроскопа-микрометра вертикального круга; *28* — приводная ручка винта контактного микрометра; *29* — закрепительный винт коробки контактного микрометра; *30* — элевационный винт талькоттовского уровня; *31* — шкала головки винта контактного микрометра; *32* — окуляр зрительной трубы; *33* — кожух контактного устройства микрометра; *34* — вилка контактного микрометра; *35* — юстировочный винт; *36* — ограничительная вилка рамы талькоттовского уровня

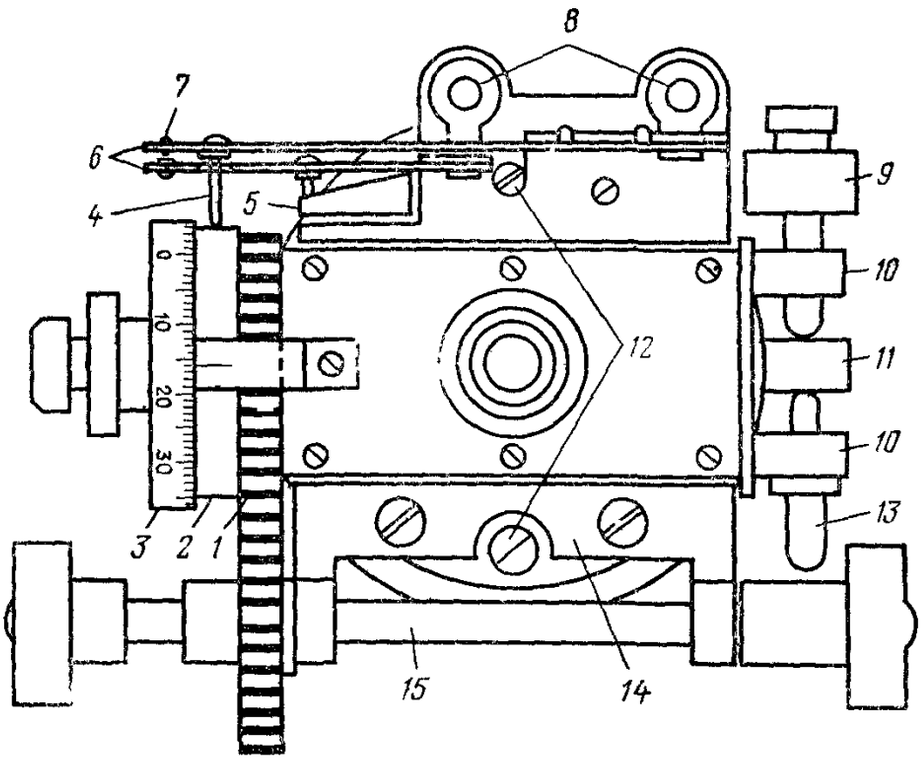


Рис. 10.3. Схема контактного микрометра астрономического универсального теодолита АУ 2/10

1 — кольцевая цилиндрическая шестерня привода микрометрического винта, *2* — контактный цилиндр, *3* — головка микрометрического винта со шкалой; *4* — штифт подвижной контактной пластины, *5* — регулировочный диск, *6* — контактные пластины, *7* — контакты, *8* — разъем для подключения контактного микрометра к регистрирующему устройству, *9* — винт для приведения подвижной нити микрометра в вертикальное положение, *10* — стойки, *11* — водильце, *12* — винты крепления микрометра к тубусу, *13* — патрон с пружиной, *14* — держатель оси маховичков; *15* — ось привода микрометрического винта

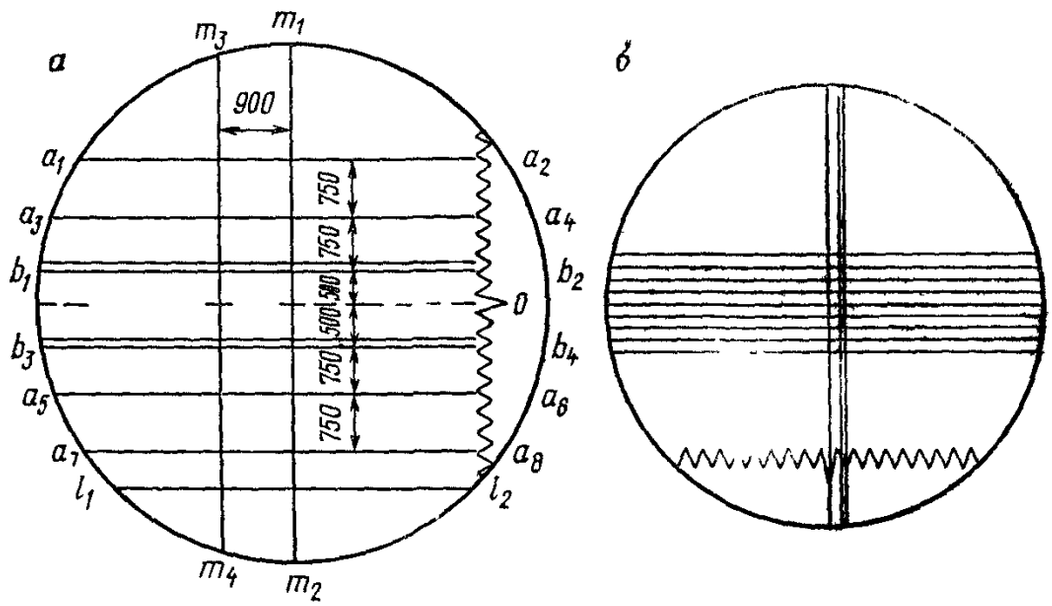


Рис. 10.4. Сетки нитей АУ 2/10:
а — контактного микрометра; *б* — окулярного микрометра

Вертикальная ось теодолита (рис. 10 5) коническая, регулируемая, с шаровой поверхностью в верхней части, на которую через промежуточную подушку передается усилие винта, регулирующего вращение алидады горизонтального круга. На уступе вертикальной оси свободно лежит горизонтальный круг, имеющий, кроме основного кольца делений, дополнительную градусную шкалу для приближенной установки алидады на нужное направление. Для отсчетов по кругу служат два микроскопа-микрометра, на каретках которых натянуты два паутиновых биссектора.

Точное наведение трубы теодолита на объект визирования выполняется с помощью наводящих винтов, расход которых составляет ±2° от среднего положения. К нижней части основания теодолита крепится поверительная труба, фокусное расстояние которой равно 360 мм, а цена оборота винта микрометра составляет 150″.

Для переноски и транспортировки теодолит укладывается в два ящика с брезентовыми чехлами Масса теодолита в ящиках 72 кг

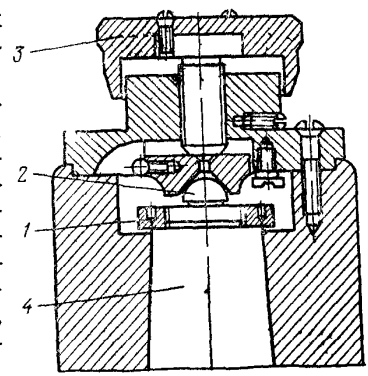


Рис. 10 5. **Регулировочный конец вертикальной оси АУ 2/10**

1 — ограничительная гайка, *2* — шаровая опора, *3* — регулировочный грибок, *4* — вертикальная ось

В комплект теодолита, выпускаемый заводом, входят: маркопечатающий хронограф ХПМ-3, тамбур для хронографической ленты, прибор для расшифровки хронограмм Фотоэлектрическая установка, методика наблюдений с которой дана в разд. 7, в комплект теодолита не входит, она была изготовлена в нескольких экземплярах.

Многолетняя практика показала, что визуальные астрономические определения с теодолитом АУ 2/10 выполняются со следующими средними квадратическими ошибками единицы веса:

определение широты по способу Талькотта ±0,75″;

определение поправки хронометра по способу Цингера или Деллена $\pm 0{,}040^s \sec \varphi$,

определение астрономического азимута по часовому углу Полярной $\pm 0{,}75'' \sec \varphi$

Наличие поверительной трубы в комплекте теодолита позволяет применять его для определения азимутов как с поверхности земли, так и со столиков сигналов.

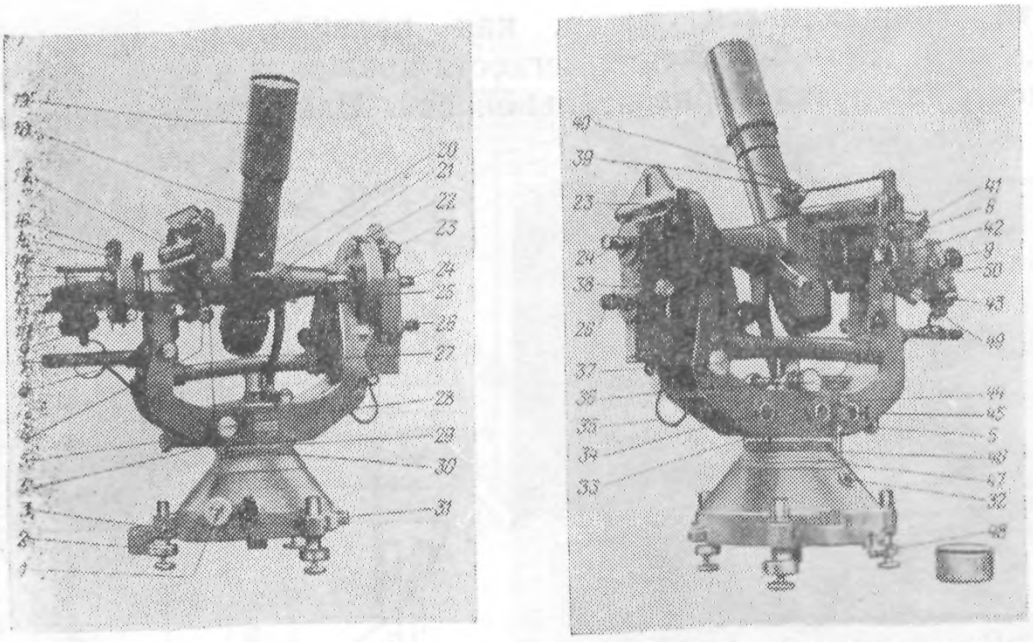


Рис. 10.6. Теодолит Вильд Т4. Вид со стороны наводящего винта горизонтального круга:

1 — винт для перестановки горизонтального круга; *2* — подъемные винты; *3* — закрепительные винты подъемных винтов; *4* — винт для скрепления кронштейна талькоттовских уровней с горизонтальной осью; *5* — закрепительный винт алидады горизонтального круга; *6* — винт для крепления рамы талькоттовских уровней к кронштейну; *7* — окулярное колено оптического микрометра горизонтального круга; *8* — головка винта оптического микрометра горизонтального круга; *9* — приводная ручка винта контактного микрометра; *10* — установочный винт алидады круга-искателя; *11* — токопередающая шина горизонтальной оси; *12* — контактный микрометр; *13* — юстировочный винт сетки нитей контактного микрометра; *14* — микроскоп вертикального круга-искателя; *15* — патрон с лампой для подсветки вертикального круга-искателя; *16* — уровень при алидаде вертикального круга-искателя; *17* — ампулы талькоттовского уровня; *18* — зрительная труба; *19* — бленда; *20* — головка оси зеркала освещения поля зрения трубы; *21* — винты крышки люка юстировочных винтов для исправления вертикальной коллимации; *22* — защитная крышка винта перестановки вертикального круга; *23* — контактный уровень при алидаде вертикального круга; *24* — патрон с лампой для подсветки вертикального круга; *25* — разгрузочное устройство горизонтальной оси; *26* — окуляр оптического микрометра вертикального круга; *27* — подвесной уровень; *28* — наводящий винт алидады горизонтального круга; *29* — арретирующее кольцо для разгрузки вертикальной оси во время транспортировки; *30* — токопередающие шины вертикальной оси; *31* — круглый уровень для приближенного горизонтирования теодолита

Рис. 10.7. Теодолит Вильд Т4. Вид со стороны наводящего винта трубы:

32 — выключатель подсветки горизонтального круга; *33* — выключатель подсветки поля зрения трубы; *34* — выключатель подсветки вертикального круга; *35* — соединительный провод; *36* — наводящий винт зрительной трубы; *37* — элевационный винт алидады вертикального круга; *38* — головка винта оптического микрометра вертикального круга; *39* — патрон с лампой для подсветки поля зрения трубы; *40* — головка винта с диафрагмами для изменения освещенности поля зрения трубы; *41* — элевационный винт уровней Талькотта; *42* — закрепительный винт зрительной трубы; *43* — головка винта микрометра со шкалой; *44* — сигнальная лампа для установки алидады горизонтального круга на заданный отсчет; *45* — выключатель подсветки вертикального круга-искателя; *46* — индекс горизонтального круга-искателя; *47* — горизонтальный круг-искатель; *48* — патрон с лампой для подсветки горизонтального круга; *49* — юстировочный винт подставки трубы; *50* — крышка люка с юстировочными винтами сетки нитей микрометра

Вертикальная ось теодолита (рис. 10.13) цилиндрическая, с трением качения в верхней ее части. На время транспортировки разгрузка оси производится арретирующим устройством. Горизонтальная ось теодолита (рис. 10.14) имеет симметричную форму. Расстояние между рабочими сечениями цапф 330 мм. Неправильности фигур цапф и внешней поверх-

10.1.2. Астрономический теодолит Вильд Т4

Теодолит Вильд Т4, выпускаемый фирмой «Вильд», Швейцария, с середины 40-х годов, является в настоящее время наиболее распространенным прибором, применяемым для выполнения полевых астрономических определений в большинстве стран мира.

Конструктивно теодолит (рис. 10.6, 10.7) состоит из двух частей — основания с подъемными винтами и алидадой горизонтального круга; горизонтальной оси с главной зрительной трубой, микрометром и вертикальным кругом.

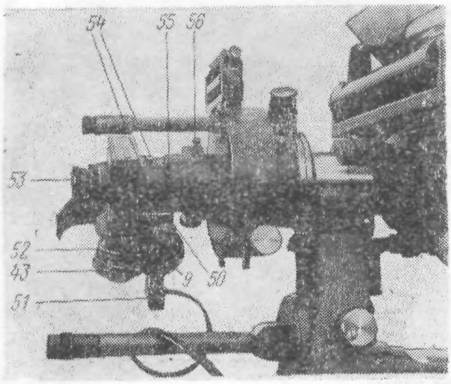
Главная труба теодолита — центральная, ломаная. Ее оптическая система включает в себя объектив с просветленной оптикой, поворотное плоское зеркало и окуляр. Изображение предмета в поле зрения окуляра прямое в направлении право — лево и обратное в направлении верх — низ.

Контактный микрометр (рис. 10.8) вставляется в полость горизонтальной оси, имеющей продольный паз для направляющей планки тубуса. Фокусировка трубы осуществляется продольным перемещением тубуса в оси, а переход от азимутальных к зенитальным способам астрономических определений — разворотом тубуса с микрометром в полости оси. К корпусу микрометра внутри коробки жестко крепится цилиндрическая стойка с неподвижной (рис. 10.9) сеткой нитей. Стеклянная пластинка с подвижной нитью и окуляром микрометра укреплены на каретке.

Благодаря совместному движению подвижной нити и окуляра наблюдатель всегда видит объект визирования в центре поля зрения. Контактный цилиндр микрометра содержит 10 основных и один опознавательный контакты. Шкала головки винта разделена на 100 делений, с оцифровкой через каждые 10 делений. Цена оборота винта микрометра около 150″. Измерительный расход каретки составляет ±15′ от нуль-пункта. Перемещение каретки по направляющим осуществляется ручками привода, вращение оси которого через систему конических и цилиндрических шестерен передается на микрометрический винт.

Стеклянные горизонтальный и вертикальный круги теодолита имеют (рис. 10.10) автономные оптические системы отсчета. Откидной окулярный конец тубуса оптического микрометра горизонтального круга расположен под коробкой контактного микрометра, на подставке горизонтальной оси. Основание вертикального круга теодолита скреплено с горизонтальной осью, а алидада с оптическим микрометром и уровнем свободно вращается вокруг нее. Вертикальный круг, так же как и горизонтальный, снабжен устройством для перестановки. Вид поля зрения оптических микрометров, а также вертикального круга-искателя показан на рис. 10.11 и 10.12.

ности вращающихся лагер, как правило, не превышают ±0,8 мкм. Для обеспечения легкости вращения в теодолите применена разгрузка горизонтальной оси. Наводящие винты али-



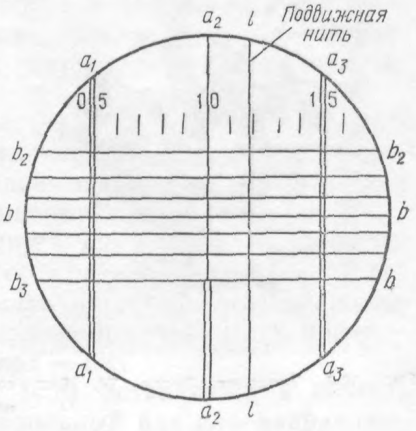


Рис. 10.8. Окулярный конец горизонтальной оси теодолита Т4:

51 — вилка с проводом для подключения контактного микрометра; *52* — контактный цилиндр; *53* — окуляр; *54* — юстировочные винты сетки нитей; *55* — юстировочный винт для фокусировки трубы; *56* — юстировочные винты тубуса

Рис. 10.9. Сетка нитей контактного микрометра теодолита Т4

дады горизонтального круга по азимуту и трубы по высоте расположены на подставках горизонтальной оси и отделены от закрепительных винтов.

Контроль за положением трубы по высоте осуществляется с помощью двух жидкостных уровней, смонтированных на общей раме. Рама может скрепляться с горизонтальной осью или с подставкой оси. Для приведения пузырьков уровня в нульпункт служит элевационный винт. Для измерения наклона алидады горизонтального круга и горизонтальной оси теодолита служит подвесной жидкостный уровень. Оправа уровня снабжена юстировочными винтами, с помощью которых производится регулировка положения ампулы в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

На основании теодолита имеются приливы, в которых закреплены втулки подъемных винтов. На внешней части основания находятся устройство для перестановки горизонтального круга, горизонтальный круг-искатель, а также выключатели освещения поля зрения трубы, горизонтального и вертикального кругов. Силовые и измерительные электрические цепи теодолита через наружные контакты и токопроводящие кольца горизонтальной и вертикальной осей выводятся к клеммам штепсельного разъема.

Комплект астрономического теодолита Вильд Т4 включает в себя четыре укладочных ящика, в которых находятся (рис. 10.15) горизонтальная ось с главной трубой, основание с али-

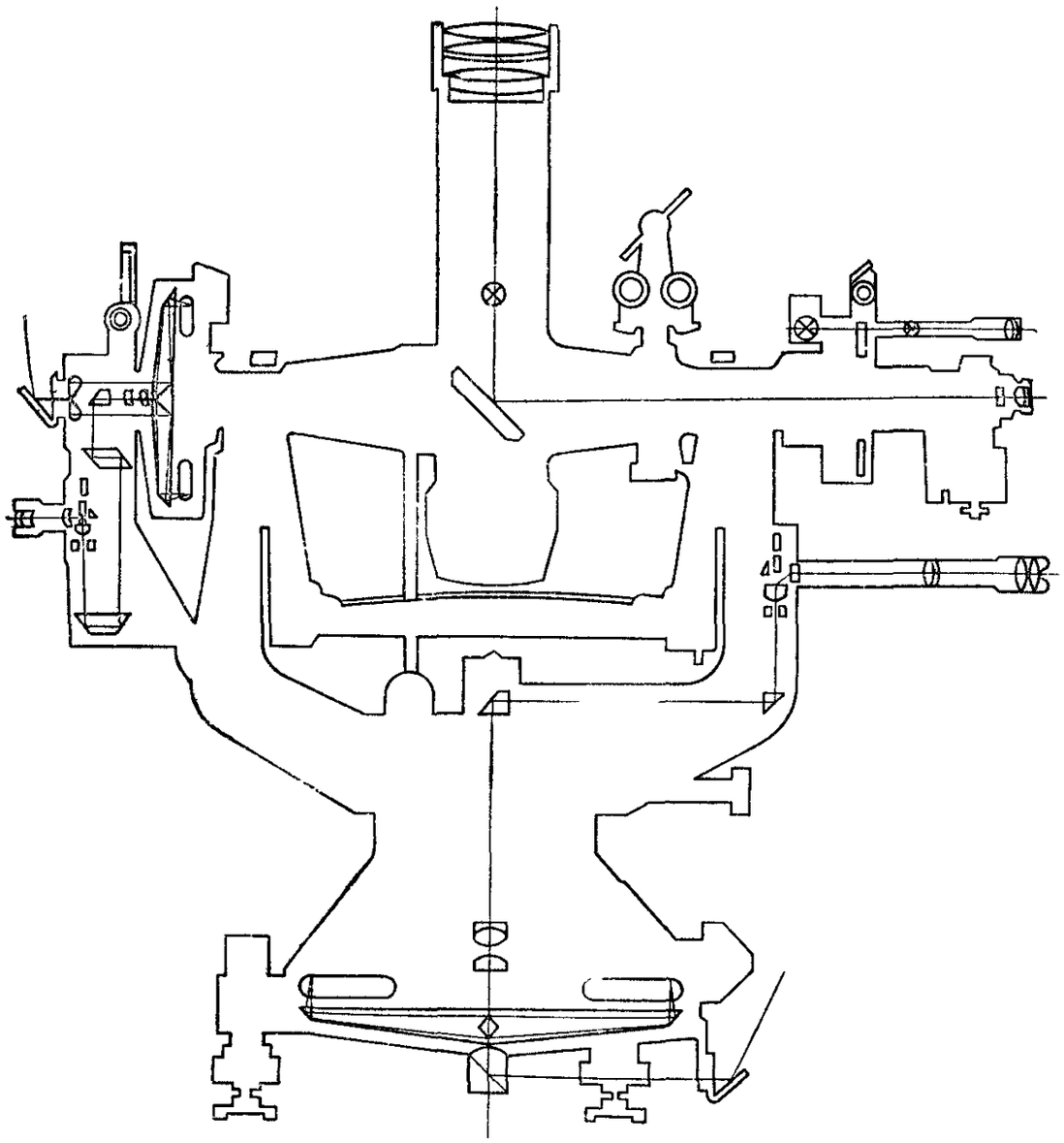


Рис. 10.10. Оптическая схема теодолита Т4

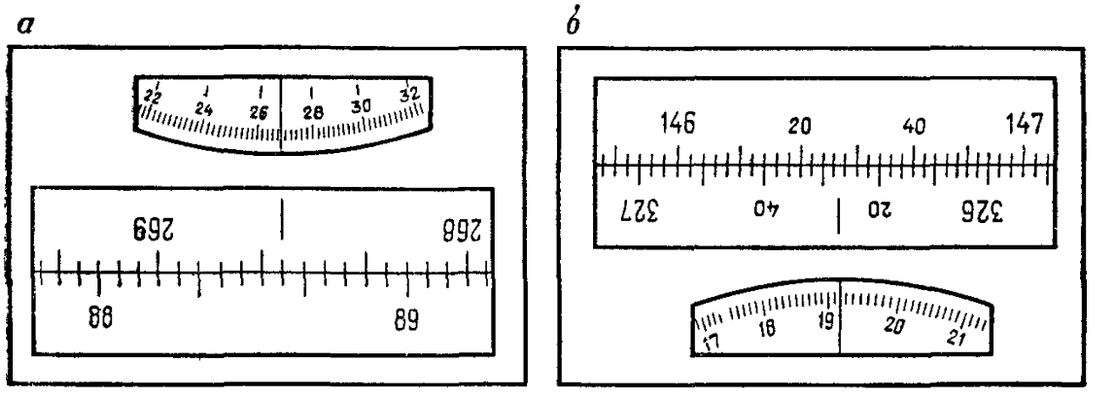


Рис. 10.11. Поле зрения оптических микрометров:
а — горизонтального круга; *б* — вертикального круга

дадой горизонтального круга, подвесной уровень, запасные детали и принадлежности.



Рис. 10.12. Поле зрения окуляра вертикального круга-искателя

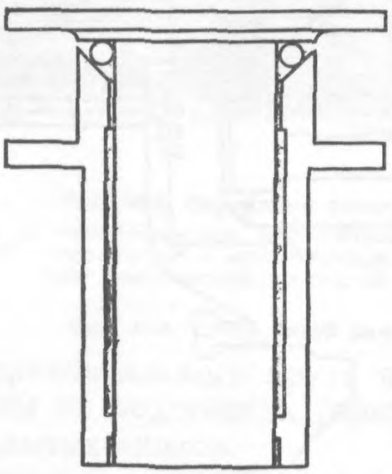


Рис. 10.13. Кинематическая схема вертикальной оси теодолита Т4

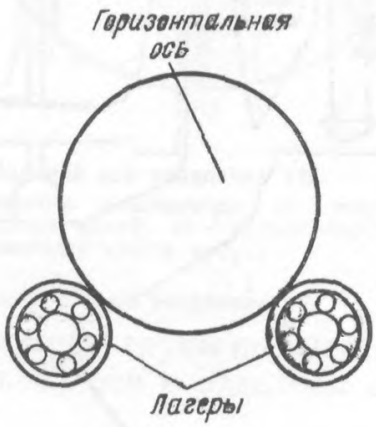


Рис. 10.14. Кинематическая схема узла вращения горизонтальной оси теодолита Т4

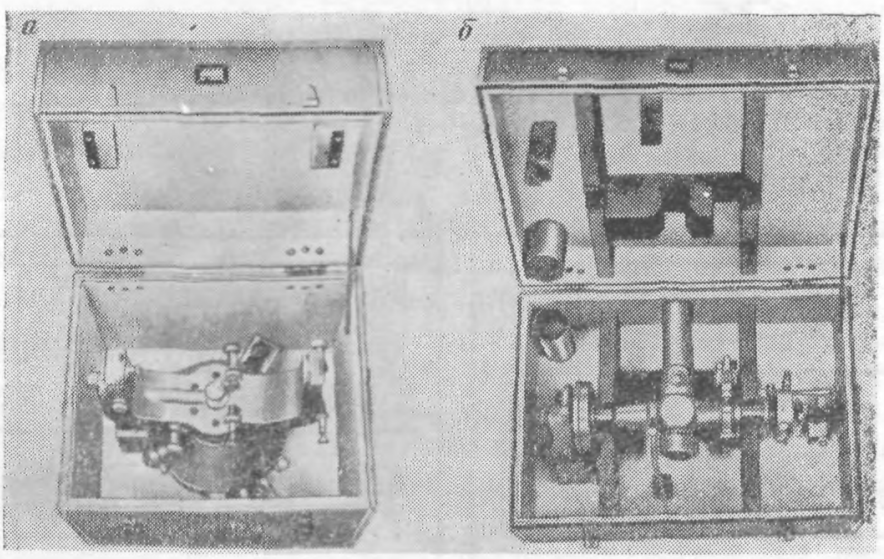


Рис. 10.15. Упаковка теодолита Т4:

а — укладочный ящик с нижней частью теодолита; *б* — укладочный ящик с горизонтальной осью и трубой

10.1.3. Астрономический теодолит ДКМ3-А

Теодолит ДКМ3-А (рис. 10.16, 10.17, 10.18), выпускаемый фирмой «Керн-Аарау», Швейцария, отличается от всех остальных приборов такого типа и точности легкостью, компактностью, оригинальным решением ряда узлов и устройств.

Главная труба теодолита — центральная, ломаная, зеркально-линзовая. Ее хорошие оптические качества позволяют производить наблюдения звезд с блеском 2,5—3,0 в дневное время. Изображение предмета в поле зрения трубы обратное в направлении право — лево и прямое в направлении верх — низ. Фокусировка трубы внутренняя.

Подсветка поля зрения в ночное время производится специальным осветителем.

Коробка окулярного, контактного микрометра крепится к тубусу винтами. Каретка микрометра — внецентренная. На оси микрометрического винта имеются перекидные шайбы с выступами, с помощью которых ограничивается расход движения каретки. Неподвижная сетка (рис. 10.19) содержит пять горизонтальных и одну вертикальную нити, а также шкалы оборотов винта и параллактических (позиционных) углов. Неподвижная сетка нитей включает одиночную нить и биссектор.

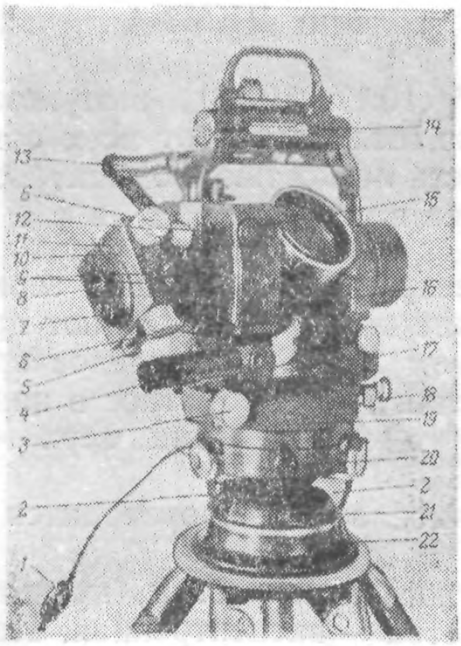
Шкала делений микрометра стеклянная, разбита на 120 делений. Окуляр для отсчета по ней находится рядом с окуляром главной трубы, на крышке коробки микрометра. Контактный механизм микрометра снабжен устройством для отключения от цилиндра с контактами. Цена оборота винта микрометра 120″, измерительный расход каретки равен ±6′ от нуль-пункта для одиночной подвижной нити и ±12′ для биссектора.

Для отсчета по кругам теодолита служит оптический микрометр, в поле зрения которого (рис. 10.20) выведены изображения шкал вертикального и горизонтального кругов, а также шкалы микрометра. Для отсчетов по кругам на изображения делений кругов наводят биссекторы шкалы микрометра. Значения градусов и минут оценивают по положению треугольной марки с индексом.

Теодолит ДКМ3-А имеет разнесенную вертикальную ось с трением качения (рис. 10.21). Горизонтальная ось теодолита (рис. 10.22) свободная, с закрытыми цапфами. Расстояние между рабочими сечениями цапф составляет около 150 мм.

Контроль за положением горизонтальной оси осуществляется по показаниям накладного уровня, ножки которого опираются на ось за пределами рабочих поверхностей цапф. Уровень на оси не переставляется.

Кроме накладного уровня, теодолит снабжен цилиндрическим жидкостным уровнем при алидаде горизонтального круга и круглым уровнем для приближенного горизонтирования. Из-



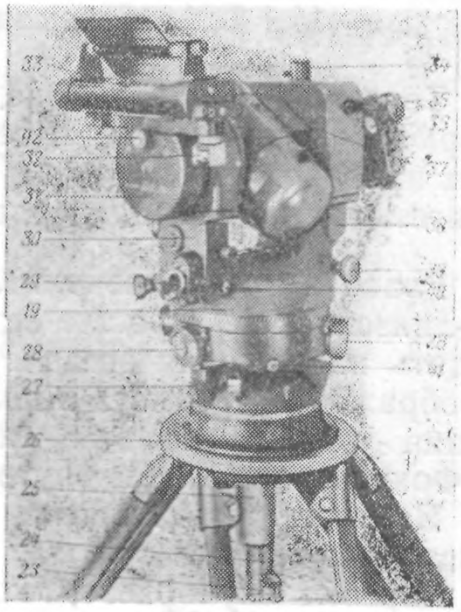


Рис. 10.16. Теодолит ДКМ3-А. Вид со стороны контактного микрометра:

1 — кабель электропитания с проходным выключателем; *2* — выступы для установки теодолита; *3* — головка винта оптического микрометра; *4* — окуляр оптического микрометра горизонтального и вертикального кругов; *5* — лампа для подсветки шкалы контактного микрометра; *6* — приводная ручка винта микрометра; *7* — окуляр для отсчета по шкале контактного микрометра; *8* — окуляр зрительной трубы; *9* — вилка контактного микрометра; *10* — корпус контактного микрометра; *11* — рычаг для отключения контактов микрометра; *12* — подсветка шкалы ампулы уровня вертикального круга; *13* — подсветка шкалы ампулы накладного уровня; *14* — накладной уровень горизонтальной оси; *15* — пробка люка с юстировочными винтами уровня вертикального круга; *16* — зрительная труба; *17* — уровень при алидаде горизонтального круга; *18* — закрепительный винт алидады горизонтального круга; *19* — алидадная часть теодолита; *20* — основание для установки теодолита; *21* — подставка; *22* — трегер сферической формы

Рис. 10. 17. Теодолит ДКМ-3А. Вид со стороны рамы с талькоттовскими уровнями:

23 — круглый уровень для приближенного горизонтирования теодолита; *24* — механический центрир; *25* — зажимная гайка; *26* — диск штатива; *27* — прижимной рычаг центрального замка; *28* — эксцентрики для точного горизонтирования теодолита; *29* — иллюминатор для подсветки горизонтального и вертикального кругов; *30, 38* — колонки с опорами для оси вращения зрительной трубы; *31* — противовес; *32* — элевационный винт талькоттовского уровня; *33* — оправы с ампулами талькоттовского уровня; *34* — контактная призма для совмещения концов пузырьков уровня вертикального круга; *35* — разъем; *36* — винт для поворота коробки микрометра на 90°; *37* — защитная крышка гнезд подсветки поля зрения трубы; *39* — винт для поворота алидады вертикального круга; *40* — оптический центрир; *41* — разъем; *42* — головка винта для скрепления талькоттовского уровня с горизонтальной осью

мерение малых углов наклона трубы производится с помощью двух талькоттовских уровней, укрепленных на общей раме. Рама с уровнями съемная и устанавливается на конец горизонтальной оси взамен противовеса.

Подъемные винты теодолита горизонтальные, с осями, снабженными резьбой переменного диаметра.

Укладка теодолита для переноски производится (рис. 10.23) на металлический поддон, закрываемый кожухом. При перевозке поддон с кожухом помещается в деревянный ящик. Отдельно от теодолита укладываются накладной и талькоттовский

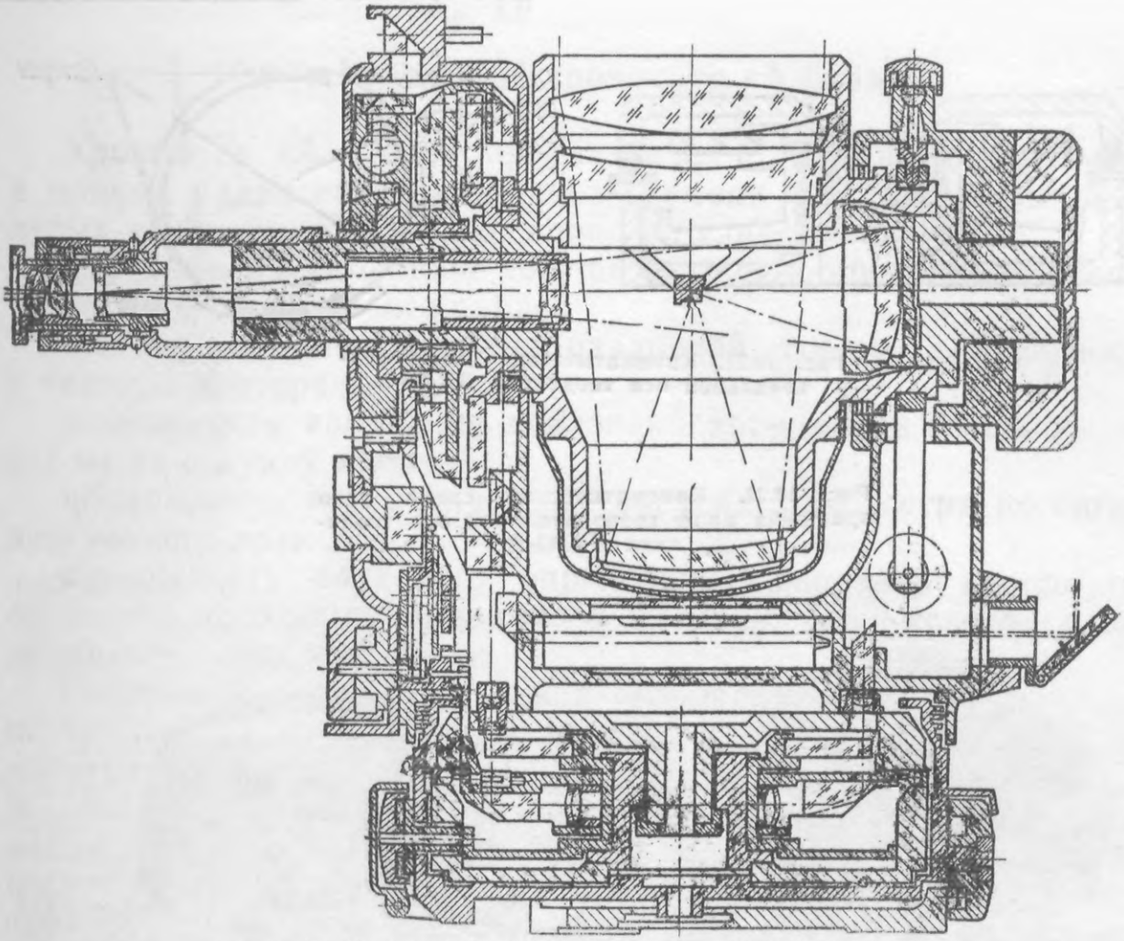
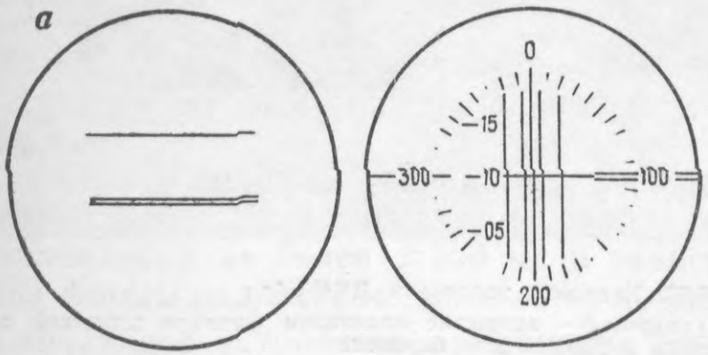


Рис. 10.18. Оптико-механическая схема теодолита ДКМ3-А



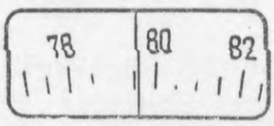
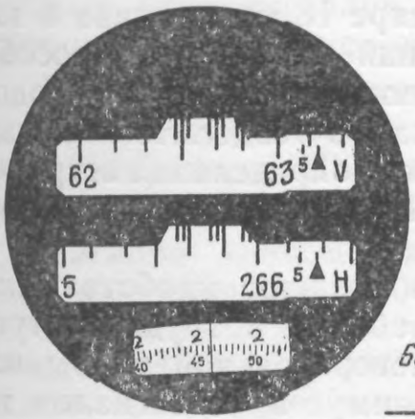


Рис. 10.19. Поле зрения контактного микрометра:
а — подвижная (слева) и неподвижная сетки нитей; *б* — отсчет по шкале микрометра



63°10′
2′46,2″
63°12′46,2″

Рис. 10.20. Поле зрения оптического микрометра с отсчетами по вертикальному (сверху), горизонтальному (в середине) кругам и шкалы (внизу) оптического микрометра

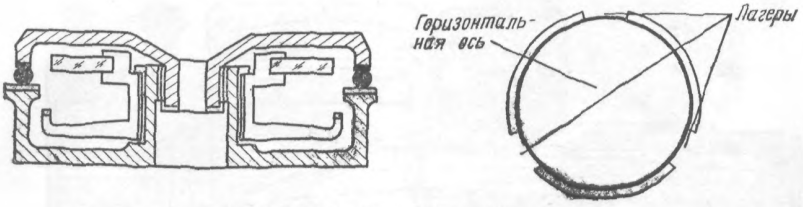


Рис. 10.21. Кинематическая схема вертикальной оси теодолита ДКМ3-А

Рис. 10.22. Кинематическая схема узла вращения цапф горизонтальной оси теодолита ДКМ3-А

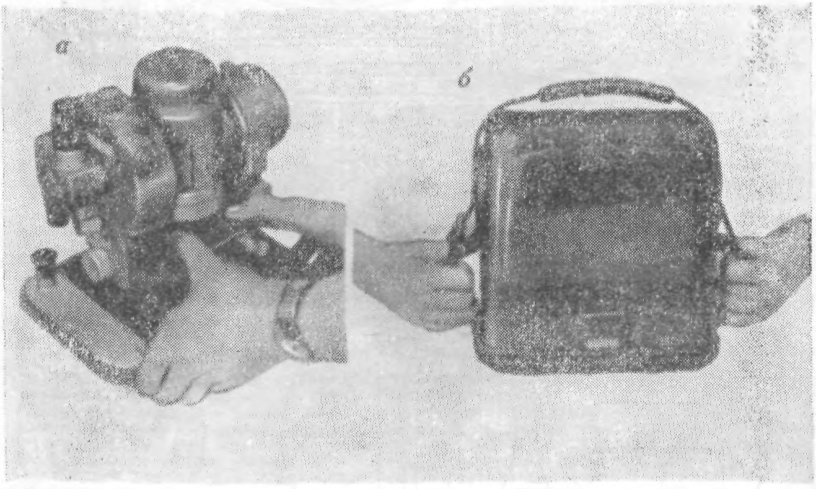


Рис. 10.23. Упаковка теодолита ДКМ3-А:
а — укладка на подставку футляра; *б* — закрытие подставки футляра крышкой с замками и ремнем для переноса

уровни, центрировочная плита, блок питания. К теодолиту придается штатив. Масса теодолита в футляре 18 кг, штатива 8 кг.

Точность астрономических определений широты по способу Талькотта и поправки хронометра по способу Цингера с теодолитом ДКМ3-А примерно такая же, как с теодолитом Вильд Т4. Средняя квадратическая погрешность определения астрономического азимута по часовому углу Полярной из одного приема $\pm 0{,}70''$ sec φ.

Компактность и легкость теодолита создают удобства для применения его на астрономических работах в труднодоступных районах. В связи с отсутствием поверительной трубы использовать теодолит для измерения азимутов с сигналов не разрешается.

10.2. ХРОНОМЕТРЫ

10.2.1. Кварцевый хронометр «Альтаир»

Хронометр «Альтаир» предназначен для хранения времени и приема радиосигналов точного времени в стационарных и полевых условиях. Кварцевый хронометр обеспечивает:

хранение и индикацию текущего координированного времени с помощью светового табло;

выдачу сигналов времени различной формы, длительности и частоты повторения;

возможность изменения показаний хронометра со скоростью ±1 мс за секунду времени;

возможность автоматического запуска хронометра по сигналам точного времени;

возможность слухового определения поправки хронометра относительно координированного времени, без использования дополнительных устройств.

Кварцевый хронометр может эксплуатироваться в диапазоне температур окружающего воздуха от −25 до +50 °С и относительной влажности до 98 % (при температуре +40 °С). В указанном диапазоне температур средняя квадратическая вариация суточного хода не превышает ±1 мс. Кварцевый хронометр имеет устройство для выдачи меандровых импульсов с периодом следования 1 с, маркированных в начале минуты импульсом продолжительностью 1,5 с. Прямоугольные импульсы предназначены для регистрации моментов наблюдений на ленту маркопечатающего хронографа ХПМ-3. Кроме меандровых импульсов, хронометр выдает секундные и десятигерцовые импульсы, а также сигналы синусоидальной формы с частотой 1000 Гц и 100 кГц.

Хронометр снабжен устройством для автоматического запуска синхронно с радиосигналами точного времени. Погрешность синхронизации не более ±100 мс и зависит в основном от качества формы радиосигналов точного времени.

Сличающее устройство хронометра предназначено для сравнения шкалы времени хронометра со шкалой времени принимаемых радиосигналов и обеспечивает определение поправки хронометра на слух с погрешностью 1—2 мс.

Для фазирования секундных сигналов (плавного изменения показаний хронометра) в хронометр введены два вспомогательных генератора. Погрешность фазирования относительно эталонных секундных сигналов не более ±10 мс.

Питание хронометра осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц или от внешнего источника питания постоянного тока напряжением 24±2,4 В с отводом от 12 В. Имеется внутренний источник питания постоянного тока напряжением 24 В (батарея из 16 элементов типа «373»), обеспечивающий хранение фазы и работу стрелочного

циферблата в течение 12 ч. Потребляемая мощность при питании хронометра от внешнего источника постоянного тока в режиме разогрева термостата не превышает 11 Вт, а средняя потребляемая мощность в установившемся режиме при положительной температуре окружающего воздуха 5 Вт.

Габариты хронометра 360×250×190 мм, масса 12 кг. Хронометр укладывается в металлический футляр, имеющий скобы

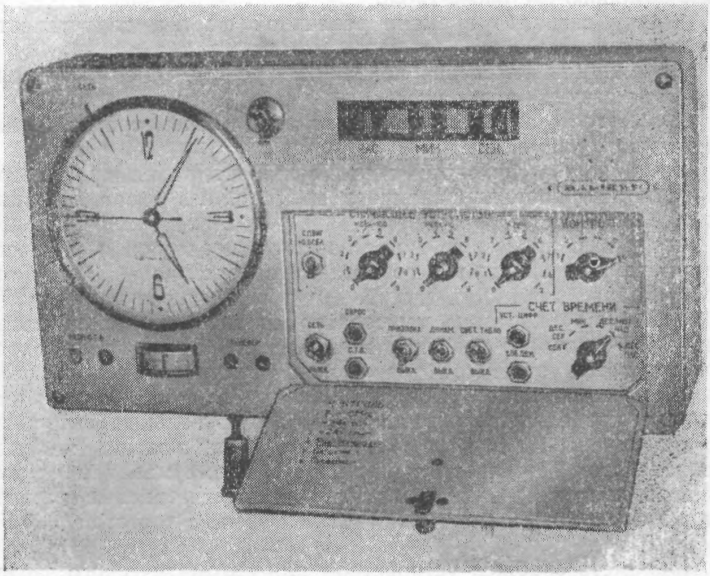


Рис. 10.24. Кварцевый хронометр «Альтаир»

для заплечных ремней. Для транспортировки любым видом транспорта хронометр, помещенный в металлический футляр, упаковывают в деревянный транспортировочный ящик.

Общий вид лицевой панели кварцевого хронометра «Альтаир» показан на рис. 10.24. На задней панели хронометра, в нижней части корпуса, расположены:

тумблер «аккум» включения внешнего аккумулятора;

розетка «аккум» разъема для подключения этого аккумулятора;

тумблер «5 МГц» для переключения кварцевых генераторов;

розетка «5 МГц» разъема для подключения внешнего генератора (закрыта защитным колпачком);

пять розеток выходных сигналов хронометра;

розетка «вх» разъема для подачи в схему хронометра секундных сигналов точного времени, промодулированных часто-

той 128 кГц (подаются с выхода усилителя промежуточной частоты радиоприемника «Астра» при автоматической привязке хронометра к шкале радиосигналов точного времени);

розетка «ХПМ-3» разъема для подключения к хронометру маркопечатающего хронографа;

розетка «220В» разъема для подключения хронометра к сети переменного тока;

клемма для заземления корпуса хронометра;

предохранитель на 0,5 А;

розетка «ЦПМ» разъема для подключения к хронометру малогабаритной цифропечатающей машины МПУ8-3.

Подготовка хронометра к работе производится в следующем порядке. Тумблер «привязка» на передней панели устанавливают в положение «выкл». Тумблер «5 МГц» на задней панели устанавливают в положение «внутр». После переключения названных тумблеров их закрывают защитными колпачками. Тумблер «аккум» на задней панели устанавливают в положение «выкл». Хронометр подготовлен к работе от сети переменного тока. К разъему «220 В» на задней панели подключают кабель питания хронометра от сети. Вилку кабеля вставляют в розетку сети Включают тумблер «сеть», после чего должна загореться индикаторная лампочка и начнут работать стрелочный циферблат и световое табло.

При питании хронометра от внешнего источника постоянного тока напряжением 24 В с отводом от 12 В к разъему «аккум» на задней панели подключают аккумулятор и включают тумблер «аккум».

После того как на схему хронометра подано питание, необходимо произвести проверку работоспособности хронометра. Для этого переключатель «контроль» устанавливают в положение «1» и проверяют работу опорного генератора: стрелка индикаторного прибора должна отклониться на 25—30 делений.

Переводят переключатель «контроль» в положение «2» и проверяют выпрямленное напряжение 24 В при работе от сети переменного тока: стрелка должна отклониться на 35—45 делений.

Устанавливают переключатель в положение «3», контролируя напряжение 24 В при питании хронометра от внешнего источника питания (аккумулятора): стрелка индикаторного прибора должна отклониться на 35—45 делений.

В четвертом положении переключателя контролируют работу термостата: в момент включения хронометра стрелка должна отклониться на 35—45 делений, а через 30—40 мин после включения стрелка должна периодически отклоняться от 2,5 до 12—14 делений и обратно.

Положения «5» и «6» переключателя «контроль» служат для плавного изменения показаний хронометра со скоростью 1 мс за сскунду времени. В полевых условиях надобности в такой коррекции показаний хронометра не возникает.

При нажатии кнопки «сброс» стрелочный циферблат должен прекратить работу, а на световом табло во всех разрядах должны высветиться нули. При отпускании кнопки «сброс» работа циферблата и светового табло должна восстановиться.

В полевых условиях установка точного времени с применением автоматической привязки к радиосигналам нецелесообразна и показания времени на циферблате и световом табло устанавливают вручную. Для этого к гнездам «вход с. т в» (вход сигналов точного времени) при помощи специального кабеля из комплекта прибора подключают выход «телефон» радиоприемника («Астра», Р-311 и др.). В гнезда «телефон» хронометра включают головные телефоны. Настраивают радиоприемник на избранную станцию, передающую секундные радиосигналы точного времени. Берут счет секунд радиосигналов, нажимают кнопку «сброс» и в момент передачи сигнала начала минуты или любой секунды, кратной 10-ти, отпускают кнопку. Десятые, сотые и тысячные доли секунд хронометра синхронизированы с этими долями радиосигналов времени. Приступают к установке показаний часов, минут и секунд на световом табло. Переключатель «счет времени» устанавливают в положение «дес. сек». Нажимают кнопку «уст. цифр» и держат ее нажатой до тех пор, пока в разряде десятков секунд светового табло не появится нужная цифра секунды. В момент появления цифры кнопку отпускают. Устанавливая переключатель «счет времени» в следующее положение, аналогично добиваются появления на световом табло нужных цифр остальных разрядов.

Стрелочный циферблат кварцевого хронометра целесообразно использовать для установки на нем показаний звездного времени. Для перевода стрелок циферблата служит кнопка с фиксатором, расположенная вверху и справа от циферблата. Перевод стрелок производят в следующем порядке. Снизу вверх нажимают на защелку фиксатора, после чего утапливают до упора кнопку перевода стрелок. Вращая ее в утопленном положении против хода часовой стрелки, переводят и устанавливают секундную стрелку циферблата. Установив секундную стрелку, начинают вращать кнопку по ходу часовой стрелки и переводят минутную и часовую стрелки циферблата на нужный отсчет. Отпускают кнопку. Защелку отводят вниз. Хронометр готов к работе.

При наблюдениях на полевых пунктах с целью экономии электроэнергии аккумулятора рекомендуется выключать световое табло тумблером «свет. табло» в тех случаях, когда надобность в его показаниях отсутствует. При повторном включении показания точного времени восстанавливаются. При выполнении наблюдений звезд способом глаз—ухо наблюдатель может пользоваться звуковой имитацией секунд хронометра. Для этой цели тумблером «динам» включают динамик хронометра, который воспроизводит шкалу времени. Звуковой сигнал, соответствующий секунде 60 (начало следующей минуты), удлиняется. При регистрации моментов прохождений звезд с помощью малогабаритной цифропечатающей машины МПУ8-3

начало минут звуковой индикации и показания времени на ленте совпадают с показаниями светового табло хронометра.

Поправку хронометра относительно координированного времени, задаваемого радиосигналами, определяют при помощи сличающего устройства самого хронометра. Для этого к гнездам «вход с. т. в.» подключают выход «телефон» радиоприемника. В гнезда «телефон» хронометра включают головные телефоны. Настраивают радиоприемник на избранную станцию, подающую секундные радиосигналы точного времени. Все переключатели сличающего устройства хронометра устанавливают на цифру «9». Нажимают кнопку «с. т. в.» и, последовательно переключая переключатель «МСЕК×100», фиксируют его в таком положении, когда в наушниках сигналы времени становятся неслышными. Возвращают переключатель из названного положения на одну (меньшую) цифру вправо (сигналы опять станут слышны). Аналогичным образом, действуя последовательно переключателями «МСЕК×10» и «МСЕК», устанавливают их в такое положение, когда возобновляется слышимость радиосигналов, при повороте клювиков переключателей на одно деление вправо. Отсчеты, расположенные у клювиков переключателей, соответствуют десятым, сотым и тысячным долям поправки хронометра. При определении знака поправки хронометра руководствуются следующим правилом. Если начало минуты хронометра наступает раньше начала минуты радиосигналов точного времени, то поправке хронометра придают знак минус, а дробные доли секунды будут равны непосредственному отсчету по шкалам переключателей. Если же начало минуты хронометра наступает позже начала минуты радиосигналов, то поправке хронометра придают знак плюс, а дробные доли секунды будут равны дополнению до 1,000 отсчета, взятого по шкалам переключателей сличающего устройства. Относительное расположение начала минут хронометра и радиосигналов удобно определять с помощью звукового индикатора хронометра. Для этого включают тумблер «динам» и секундные сигналы хронометра будут слышны в динамике, вмонтированном в корпус хронометра. Начало минуты хронометра будет отмечено удлиненным звуковым сигналом.

Может случиться, что секунды хронометра накладываются на секундные радиосигналы. В этом случае в головных телефонах радиосигналы будут слышны при всех положениях переключателей сличающего устройства. Для определения поправки хронометра в таких условиях служит тумблер «сдвиг+ +0,5 с». При включении этого тумблера (верхнее положение) радиосигналы не будут слышны в головных телефонах от 0,0 до 0,5 каждой секунды, независимо от положения переключателей сличающего устройства, а при положениях переключателей на отметки 6—9 радиосигналы будут хорошо прослушиваться, и поправку хронометра можно легко определить по изложенной методике.

10.2.2. Морской хронометр 6МХ

Морской хронометр 6МХ предназначен для хранения шкалы времени в стационарных и полевых условиях и рекомендуется для использования в практике точных астрономо-геодезических работ в тех случаях, когда астроном по тем или иным причинам не может взять с собой в поле кварцевый хронометр.

Корпус морского хронометра укреплен на карданном подвесе в деревянном ящике. В верхней части корпуса находится циферблат (рис. 10.25) с часовой, минутной и секундной стрелками, который закрыт защитным стеклом. Оправа этого стекла навинчивается на корпус хронометра. К основанию циферблата крепится механизм хронометра, включающий в себя двигатель пружинного типа, передаточный механизм, балансир, счетчик и контактное устройство с выходом в виде двух клемм и подключенными к ним проводами с вилкой. Внизу корпуса имеется отверстие для завода двигателя с помощью ключа, входящего в комплект хронометра.

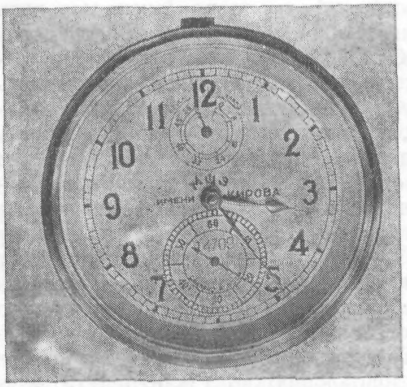


Рис. 10.25. Морской хронометр «6МХ»

Точностные показатели морского хронометра более чем на порядок уступают точностным показателям кварцевых хронометров, но и они могут быть реализованы лишь в том случае, если при эксплуатации хронометра соблюдаются необходимые меры предосторожности. Нельзя переворачивать хронометр вниз циферблатом. При переноске хронометр следует оберегать от ударов и толчков, а также от резких поворотов, так как последние могут привести к увеличению амплитуды колебаний балансира, из-за чего возможны потери полусекундных интервалов времени. Хронометр следует хранить в отапливаемом помещении, защищать от прямых лучей Солнца и резких перепадов температуры окружающего воздуха.

Пружинный двигатель хронометра заводят ежедневно в одно и то же время, за 3—4 ч до начала наблюдений, всегда до одного и того же отсчета указателя завода на циферблате. Обычно работа хронометра осуществляется в интервале 8—32 делений шкалы указателя завода. Завод двигателя выполняют в последовательности:

хронометр осторожно вынимают из ящика, удерживают его

в одной руке циферблатом вверх, другой рукой находят отверстие в нижней части корпуса и вставляют ключ;

вращают ключ по часовой стрелке до тех пор, пока стрелка указателя завода не покажет на отсчет 8. Если хронометр до этого не работал, поворотом корпуса на 0,4—0,5 оборота дают толчок для начала колебаний балансира;

вынув ключ, вновь ставят хронометр в ящик.

Для перестановки стрелок хронометра осторожно отвинчивают оправу с защитным стеклом, насаживают ключ на четырехгранный выступ оси минутной стрелки и вращают в направлении по часовой стрелке до нужного отсчета часов и минут, обращая при этом внимание на то, чтобы показания минутной и секундной стрелок были взаимно согласованы. Категорически запрещается вращать минутную стрелку в направлении, обратном собственному ее движению, так как это ведет к поломке хронометра.

При транспортировке хронометра на короткие расстояния его переносят в руках, упакованным в ящике с мягкой обивкой. Во время переездов гужевым или автомобильным транспортом хронометр держат на коленях. Во время транспортировки хронометр не останавливают.

При записи шкалы времени, воспроизводимой контактным устройством хронометра на ленте хронографа ХПМ-3, до начала наблюдений определяют, какому положению секундной стрелки соответствует пропуск марки на ленте хронографа. Если при этом обнаружится, что пропуск марки на ленте происходит не в момент 0,0 с по циферблату хронометра, а, например, в момент 59,5 с, то при расшифровке ленты вводят соответствующую поправку (за фазу хронометра) в моменты зарегистрированных событий — в нашем случае снятые с ленты моменты должны быть уменьшены на 0,5 с. Разметку же ленты выполняют в обычном порядке, не обращая внимания на фазу, а поправку за нее вводят в средний момент наблюдений.

10.2.3 Кварцевый хронометр «Chronotome CP»

Средний кварцевый хронометр «Chronotome CP» фирмы «Patek Philippe Geneve», входящий в комплект астрономического теодолита Вильд Т4 (рис. 10.26), состоит из собственно хронометра *1* и усилителя *5* типа РОВ-12, с помощью которого производится регистрация показаний хронометра на ленту царапающего хронографа «Favag». Для индикации времени хронометр снабжен циферблатом *2* с часовой, минутной и секундной стрелками, кнопками *3*, *9*, *13* регулировки показаний времени и разъемами *4* выхода частот. Усилитель РОВ-12 крепится к корпусу хронометра четырьмя винтами и также имеет разъемы входа частот. Длительность выходных импульсов, подаваемых усилителем на хронограф, может регулироваться ручками *11* и *12*. Маркировка начала минуты (пропуск одной секундной марки) устанавливается кнопкой *7*. Для подведения питания к усилителю

12 В постоянного тока и контроля служат разъем *6*, предохранитель *10* и контрольная лампочка *8*.

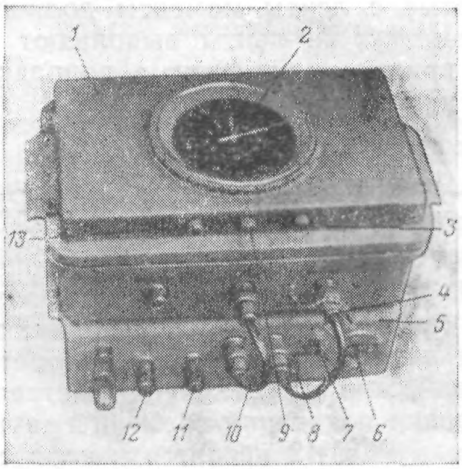
Техническая характеристика хронометра

Стабильность хода при постоянной температуре, с/сут	0,02
Максимальная вариация суточного хода при T = +20 °C	±0,05 с
Рабочий диапазон температур, °C	От —20 до +70
Питание	Внутреннее от шести элементов типа А343
Размеры, мм	245×138×100
Масса, кг	3,8
Напряжение питания усилителя РОВ-12, В	12
Продолжительность выходных импульсов	10—80 мс (f = 1 Гц)
Напряжения выходных частот при нагрузке более 1000 Ом, В	1,0
Размеры усилителя, мм	120×205×62
Масса усилителя, мм	2

При эксплуатации хронометра рекомендуется соблюдать следующие правила.

10.2.3.1. Установка или замена батарей. Необходимо вывинтить винты, отделить хронометр от усилителя РОВ-12, подстелив на стол мягкую ткань, положить на нее хронометр циферблатом вниз. Затем вывинтить винты и снять днище корпуса хронометра (рис. 10.27).

Круглогубцами снять зажимы, удерживающие элементы питания в своих гнездах, вставить или заменить элементы питания и поставить на место зажимы. Поставить на место днище,



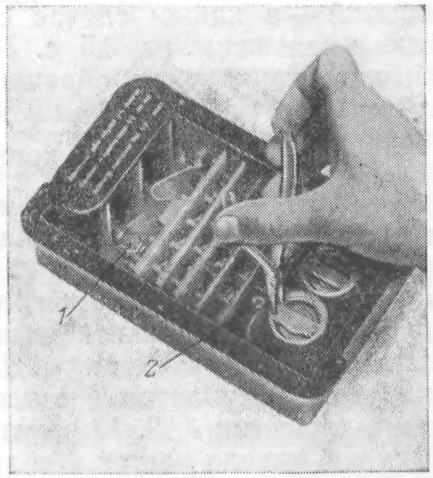


Рис. 10.26. Кварцевый хронометр «Chronotome CP»

Рис. 10.27. Днище хронометра с элементами питания:

1 — разъем кабеля, соединяющего электронную схему с механизмом перемещения стрелок циферблата; *2* — ручка потенциометра для регулировки частоты кварцевого генератора

не допуская при этом касания проводов часового механизма с платой электрической схемы.

10.2.3.2. Установка показаний хронометра. Отвинчивают крышку с защитным стеклом циферблата и нажимают кнопку *3* (см. рис. 10.26).

При помощи деревянной палочки переводят минутную стрелку и устанавливают ее (а также часовую стрелку) на нужное число часов и минут. Отпускают кнопку *3*.

Нажимают кнопку *9* и устанавливают на циферблате нужное число секунд. При этом следует помнить, что нажатие кнопки *9* в течение 1 с увеличивает показания хронометра также на 1 с. Если возникает необходимость иметь показания хронометра с погрешностью около 0,01 с, используют кнопку *13*. Нажатие на эту кнопку в течение 1 с увеличивает показания хронометра на 0,01 с.

После того как хронометр отрегулирован, циферблат вновь закрывают защитным стеклом.

10.2.3.3. В результате естественного старения кварца частота кварцевого генератора постепенно возрастает. Как следствие происходит и изменение хода хронометра. Для поддержания его в необходимых пределах предусмотрена *корректировка частоты кварцевого генератора.*

Для корректировки частоты отделяют хронометр от корпуса усилителя РОВ-12. Вскрывают корпус хронометра в порядке, указанном в правилах выполнения предыдущей поверки.

Разделяют хронометр на три части: крышку с часовым механизмом, коробку и внутреннюю часть с электронной схемой. Вращая ось подстроечного конденсатора *2* (см. рис. 10.27), устанавливают требуемую частоту кварцевого генератора. Один оборот оси подстроечного конденсатора по часовой стрелке приводит к изменению суточного хода хронометра на —0,15 с, а один оборот против часовой стрелки — к изменению суточного хода на +0,15 с.

Выполнив корректировку, собирают хронометр и выполняют исследования по определению его суточного хода. При необходимости корректировку выполняют повторно.

10.2.3.4. Регулировка выходных импульсов усилителя. С выхода усилителя РОВ-12 можно получать импульсы с частотой следования 1 и 10 Гц. Для получения, например, на выходе усилителя импульсов с частотой следования 10 Гц необходимо соединить кабелем разъемы с маркировкой «10 Гц» на корпусе хронометра и усилителя. После этого включают хронограф «Favag» и ручкой *12* (см. рис. 10.26) регулируют длительность выходных импульсов до требуемой. Закончив операцию, повторяют ее для частоты 1 Гц. При этом вращают ручку *11*.

Отрегулировав длительность для обеих частот, нажимают кнопку *7* и добиваются такого положения, чтобы пропуск минутной марки на ленте хронографа приходился на начало минуты.

10.3. ХРОНОГРАФЫ

10.3.1. Малогабаритное печатающее устройство МПУ8-3

Малогабаритное печатающее устройство МПУ8-3 предназначено для регистрации на бумажной ленте в цифровой форме моментов наблюдений звезд в системе шкалы времени кварцевого хронометра «Альтаир», а также для записи на эту ленту служебной информации, сопутствующей наблюдениям. Показания хронометра на ленте МПУ8-3 печатаются в моменты замыкания (размыкания) входной цепи устройства в единицах часов, минутах, секундах и их тысячных долях.

Техническая характеристика МПУ8-3

Число разрядов в строке, шт. . .	8
Скорость печати, строк/с	20
Время готовности устройства к печати после включения питания, с	Не более 3
Напряжение питания	24 ± 2,4 В постоянного тока
Потребляемая мощность при непрерывной работе и при скорости печати 20 строк/с	Не более 30 Вт
Масса устройства, кг	Не более 14

Печать производится на бумажную ленту шириной 25 мм. Стандартный рулон этой ленты диаметром 55 мм рассчитан на 10 тыс. строк и его хватает для регистрации результатов измерений на 4—5 полевых пунктах.

МПУ8-3 может эксплуатироваться при температуре окружающего воздуха от —10 до +50 °С. Относительная влажность допускается до 98 % при температуре не более +35 °С.

Конструктивно печатающее устройство состоит из двух блоков: собственно печатающего устройства и дистанционного пульта управления, которой может быть удален от устройства на расстояние до 15 м и соединяется с ним кабелем.

На передней панели печатающего устройства (рис. 10.28) расположены: ручка потенциометра для регулировки скорости вращения электродвигателя «М»; сигнальная лампочка «бумага» красного цвета, загорающаяся при обрыве или окончании бумажной ленты; сигнальная лампочка «готов» зеленого цвета, загорающаяся при включении устройства и его исправности; сигнальная лампочка «ГТИ» зеленого цвета, загорающаяся при готовности устройства к выдаче информации; кнопка «прогон» для холостого прогона бумажной ленты; кнопка «сброс», предназначенная для снятия сигнала «неисправность», после устранения последней или заправки бумажной ленты, когда продолжает гореть лампочка «бумага»; кнопка «ВКЛ» для включения устройства; кнопка «ВЫКЛ» для выключения устройства.

Последние две кнопки продублированы на дистанционном пульте.

С правой стороны передней панели размещены, закрытые крышкой, органы контроля работы устройства, используемые при проверке и наладке печатающего устройства МПУ8-3. При эксплуатации исправного устройства в полевых условиях используется, как правило, лишь сигнальная лампочка «М», загорающаяся в том случае, когда частота вращения электродвигателя недостаточна (например, из-за сгущения смазки на морозе).

С левой стороны передней панели расположены предохранители, а также ручка потенциометра «регулировка 5 В», используемая только при наладке и регулировке устройства.

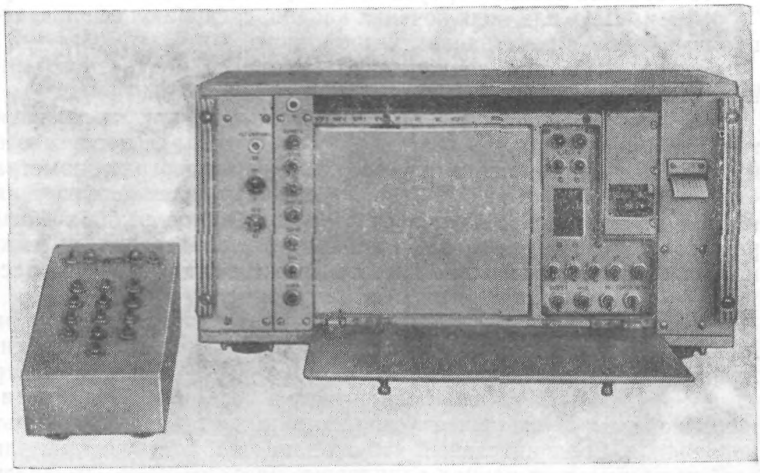


Рис. 10.28. Малогабаритное печатающее устройство МПУ8-3

На задней стенке МПУ8-3 имеются: разъем «Ш1» для подключения кабеля, соединяющего устройство с кварцевым хронометром «Альтаир»; разъем «Ш2» для подключения кабеля, соединяющего устройство с дистанционным пультом; разъем «Ш19» для подключения кабеля питания МПУ8-3.

Расположенная на правой боковой стенке корпуса откидная крышка закрывает печатающий механизм. Правила эксплуатации последнего изложены в технической документации МПУ8-3.

На верхней панели дистанционного пульта управления расположены: тумблеры выбора фазы регистрации: «РЗ» — замыканий, «РР» — размыканий цепи; если оба тумблера включены, то будут регистрироваться как замыкания, так и размыкания цепи;

сигнальная лампочка зеленого цвета «готов», загорающаяся при включении устройства и готовности его к работе;

гнезда для подключения высокочастотного кабеля от хронометра «Альтаир» на время проверки устройства (гнездо зеленого цвета — плюс, черного цвета — земля);

сигнальная лампочка белого цвета «печать», загорающаяся на время печати устройством регистрируемой информации;

тумблеры включения «ВКЛ» и выключения «ВЫКЛ» устройства;

кнопки для набора цифр от 0 до 9; после набора любых девяти цифр они автоматически отпечатываются на ленте;

кнопка конец ввода информации «КВИ», применяемая в тех случаях, когда объем набранной информации содержит менее девяти знаков, в этом случае для впечатывания информации следует нажать кнопку «КВИ».

На передней стенке корпуса пульта размещены:

разъем «Ш1» для подключения кабеля, соединяющего дистанционный пульт с печатающим устройством;

разъем «Ш2» для подключения кабеля от контактного микрометра;

тумблер для переключения рода работы: при положении тумблера «вниз» будут регистрироваться сигналы от контактного микрометра, а при положении «вверх» от кварцевого хронометра «Альтаир». Так как МПУ8-3 не имеет входа для подключения кабеля от контактного микрометра и тумблеров выбора фазы регистрации (замыкание, размыкание), то использовать его можно только с подключенным пультом, даже если устройство расположено вблизи астрономического теодолита.

Подготовку малогабаритного печатающего устройства МПУ8-3 к работе производят в такой последовательности. Соединяют кабелем печатающее устройство и кварцевый хронометр «Альтаир». В МПУ кабель подключают к разъему «Ш1». Соединяют кабелем печатающее устройство и дистанционный пульт управления. Соединительный кабель длиной 15 м, служащий для этой цели, имеет на концах одинаковые разъемы. В МПУ кабель присоединяется к разъему «Ш2», а на дистанционном пульте к разъему «Ш1». Подключают кабель от контактного микрометра к разъему «Ш2» на дистанционном пульте. Заземляют корпус МПУ8-3. Питание хронометра «Альтаир» и печатающего устройства осуществляется от общего аккумулятора. Кабель питания МПУ подключают к разъему «Ш19» на корпусе МПУ8-3. Второй конец кабеля подключают к аккумулятору, соблюдая полярность. Заправляют устройство бумажной лентой. Нажимают на кнопку «ВКЛ» на передней панели устройства или на дистанционном пульте. При этом должна загореться лампочка «готов» устройства и пульта, включиться электродвигатель, осуществиться прогон бумаги, после чего двигатель должен остановиться, если на дистанционном пульте выключены тумблеры «РЗ» и «РР». В зависимости от выбранной фазы регистрации включают один или оба названных тумблера. Выключают устройство кнопкой «ВЫКЛ». МПУ8-3 подготовлено к приему и выдаче информации.

Регистрация моментов прохождений звезд с помощью МПУ8-3 сводится к нажатию кнопки «ВКЛ» на передней панели устройства или на дистанционном пульте управления. После того как

моменты зарегистрированы, нажимают кнопку «ВЫКЛ». При необходимости наблюдатель может наносить на ленту различную информацию: номера регистрируемых звезд, их зенитное расстояние, отсчеты по уровню и т. д. Для этого, используя оцифрованные кнопки дистанционного пульта, набирают нужную информацию, после чего нажимают кнопку «КВИ». Отсчет запечатывается на ленту МПУ8-3.

В связи с тем что время готовности МПУ8-3 к работе составляет всего 3 с, устройство включают только на период регистрации моментов прохождений звезд, что позволяет довести часовой расход электроэнергии аккумулятора до величины, не превышающей 0,4—0,5 А/ч.

10.3.2. Хронограф полевой маркопечатающий ХПМ-3

Хронограф полевой маркопечатающий (рис. 10.29) предназначен для регистрации моментов наблюдения звезд с контактным микрометром в системе времени контактного хронометра 6 МХ или кварцевого хронометра «Альтаир», а также для определения поправок хронометра 6 МХ по радиосигналам точного времени. Точность регистрации моментов времени оценивается средней квадратической погрешностью $\pm 0{,}01$ с.

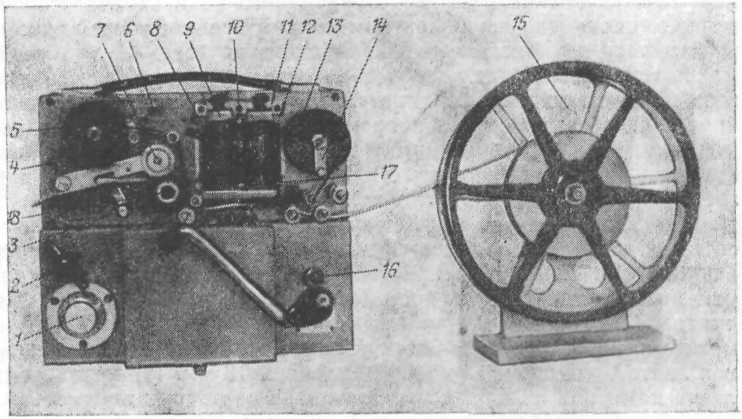


Рис. 10.29. Маркопечатающий хронограф ХПМ-3

Регистрация производится на бумажную ленту шириной 18 мм, наматываемую на кассету приставного тамбура *15*. Протягивается лента под печатающим устройством пружинным двигателем с центробежным регулятором скорости вращения ведущего валика *18*, сообщающего движение ленте. Лента прижимается валиком *7* с регулируемым давлением. Опускание и подъем прижимного валика осуществляются рукояткой *3*. Скорость движения ленты регулируется в пределах от 0 до 25 мм/с

с помощью рукоятки *1*, имеющей шкалу с условной оцифровкой. При скорости 15 мм/с хронограф нормально работает 4—5 мин. Пуск и остановка пружинного двигателя осуществляется рукояткой *2*. При этом одновременно включается (выключается) электрическое питание хронографа.

Печатающее устройство ХПМ-3 состоит из двух соленоидов *8* и *12* и трех марок *17* — одной рабочей, дающей отпечатки в виде точек, и двух опознавательных с отпечатками в виде вертикальных черточек, одна из которых отпечатывается выше (левый соленоид), а другая ниже (правый соленоид) отпечатка рабочей марки. Отрезок хронографической ленты с записями (хронограмма) меток от хронометра и контактного микрометра показан на рис. 10.30. Стальные марки укреплены на плоских пружинах, расположенных над хронографической лентой под штоками соленоидов. Срабатывание штоков соленоидов происходит под

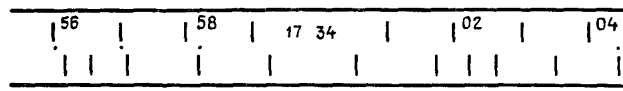


Рис. 10 30. Образец хронографической ленты ХПМ-3

действием коротких импульсов разрядного тока конденсаторов, включенных в цепь двух электромагнитных реле. Работой одного реле управляет контактный хронометр, а другого — контактный микрометр (при регистрации моментов прохождений звезд) или выходное реле радиоприемника «Астра» и импульсной приставки (при приеме радиосигналов времени). Хронограф снабжен переключателем *16*, меняющим местами подключение управляющих устройств к соленоидам. Это позволяет при наблюдении пар звезд и приема радиосигналов исключать параллакс марок.

Шток каждого соленоида может быть отрегулирован по высоте так, чтобы его удар давал на ленте четкий отпечаток марки. Регулировка соленоидов производится изменением сжатия спиральных пружин штоков посредством регулировочных гаек *9* и винтов *11*. Для получения четкой записи изображения марок между ними и хронографической лентой протянута копировальная лента от пишущей машинки шириной 13 мм. Копировальная лента намотана на кассету *13* и в процессе работы перематывается на кассету *4* со скоростью 1—2 мм/с. Обратная перемотка производится от руки вращением рукоятки *14*. Перед перемоткой рычаг *5* отводят вправо. Обе кассеты *4* и *13* имеют регулируемые тормозные устройства. Головки регулировочных винтов *6* и *10* выведены на лицевую поверхность передней панели.

Питание хронографа осуществляется от источника постоянного тока напряжением 80 В. Подключение источника тока, а также и выходов хронометра, радиоприемника «Астра», импульсной приставки ИТП-2 производится к гнездам, расположенным на задней панели хронографа. При подключении источника

необходимо соблюдать полярность, чтобы избежать пробоя электролитических конденсаторов.

Подготовку хронографа ХПМ-3 к работе выполняют в такой последовательности. Хронограф вынимают из упаковочного ящика и устанавливают на столе. В лентопротяжное устройство хронографа заправляют ленту.

Соблюдая полярность, подключают к хронографу анодную батарею БАС-80. К гнездам хронографа «хронометр» подключают вилку контактного хронометра.

Производят пробное включение хронографа, повернув рукоятку *2* по ходу часовой стрелки до упора. Действуя рукояткой *1*, регулируют скорость движения бумажной ленты. При этом добиваются, чтобы печатающиеся секундные метки от хронометра располагались на расстоянии 15—20 мм одна от другой. Выключают хронограф, повернув рукоятку *2* против хода часовой стрелки.

В гнезда хронографа «микрометр» вставляют вилку контактного микрометра, если готовятся к наблюдениям прохождений звезд, или вилку импульсной приставки ИТП-2 или радиоприемника «Астра», если осуществляют прием радиосигналов точного времени.

Производят запись хронограммы в течение требуемого интервала времени. При появлении в серии меток от хронометра пропуска одного отпечатка, соответствующего нулевой секунде, подписывают в образовавшемся промежутке отсчет часов и минут, сняв его визуально с циферблата хронометра. Уточняют, какому показанию хронометра (до 0,5 с) соответствует пропуск на ленте хронографа, поскольку некоторые хронометры в сочетании с данным экземпляром ХПМ-3 могут давать пропуск на ленте, не соответствующий 0,0 с, т. е. иметь фазу, что непременно следует учитывать при расшифровке хронограмм.

Окончив работу с хронографом, отсоединяют вилки внешних устройств.

До начала расшифровки размечают хронограмму, подписывая четные секундные метки, начинают разметку от минутного пропуска. Если используемый в комплекте аппаратуры хронометр в сочетании с ХПМ-3 имеет фазу, равную целому числу секунд, то ее удобно ввести при расшифровке ленты (например, если пропуску на ленте соответствует $1{,}0^s$ хронометра, то первую после пропуска секундную метку подписывают как вторую и т. д.). Если фаза равна $0{,}5^s$, то ее учитывают при обработке.

Отмечают выбранные рабочие отметки контактов микрометра или радиосигналов времени.

На приборе для расшифровки хронограмм (см. 10.4) размеченную хронографическую ленту протягивают в прямоугольном пазу станины ползуна измерительного прибора до тех пор, пока отметка младшей по отношению к рабочей отметке секунды не совпадет с левым визирным штрихом.

Перемещением ползуна по направляющим совмещают правую визирную нить с отметкой старшей секунды. Этой операцией устанавливается «масштаб» секунд на участке измерения.

Поворотом сектора правый визирный штрих наводят на рабочую отметку контактного микрометра (если обрабатывают результаты наблюдений звезд) или на рабочую отметку секундного радиосигнала (если обрабатывают результаты приема радиосигналов), располагающуюся между отметками младшей и старшей секунд.

Снимают до $0{,}01^s$ отсчет по шкале сектора.

Полный отсчет определяют как сумму часов, минут, подписанных на ленте, номера младшей секунды и отсчета по шкале в долях секунды.

Затем измеряют на ленте положение требуемого числа отметок контактного микрометра или отметок радиосигналов времени и получают моменты по хронометру наблюдения звезды или приема радиосигналов.

При работе с контактным микрометром теодолитов Вильд Т4 и ДКМ3-А, маркопечатающий хронометр ХПМ-3 можно использовать, если на контакты подается напряжение не выше 20 В.

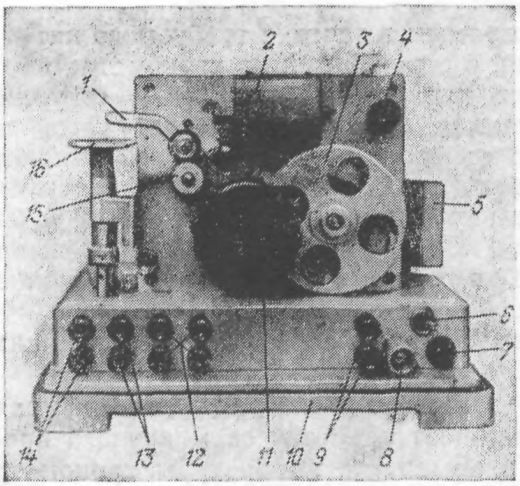


Рис. 10.31. Ленточный царапающий хронограф типа М 427 фирмы «Favag»:

1 — рычаг с роликом для прижима ленты; *2* — электромагнитное реле с царапающими штифтами; *3* — ролик с хронографической лентой; *4* — ручка пуска привода лентопротяжного механизма; *5* — пенал с запасными деталями и принадлежностями; *6* — тумблер переключения источников питания; *7* — кнопка включения лампочки контроля питания; *8* — лампочка контроля питания; *9* — клеммы для подключения внешнего источника питания; *10* — корпус хронографа; *11* — ручка завода пружины лентопротяжного механизма; *12* — резервные клеммы для подключения командных устройств; *13* — клеммы для подключения пульта управления; *14* — клеммы для подключения хронометра; *15* — транспортирующий ролик; *16* — столик для отметок на ленте хронографа

10.3.3. Ленточный царапающий хронограф типа М 427 фирмы «Favag»

Ленточный царапающий хронограф типа М 427 фирмы «Favag», входящий в комплект астрономического теодолита Т4 (Вильд), предназначен для регистрации моментов прохождений звезд и записи радиосигналов точного времени на бумажную ленту с контрастной подложкой и восковым покрытием.

Пишущая система хронографа (рис. 10.31) включает в себя два, четыре или шесть царапающих штифтов, управляемых электромагнитными реле. Ток срабатывания реле составляет 20 мА при напряжении питания 12 В. Для протяжки ленты

используется пружинный механизм с ручным заводом и тормозом-регулятором. Механизм сообщает транспортирующему ленту валику постоянную скорость вращения. В комплект хронографа входит три валика разного диаметра, обеспечивающих скорость протяжки ленты 5, 10 и 20 мм/с. Электрическая схема хронографа работает от двух источников питания. В качестве внутреннего источника используются три сухих батареи типа 3336, соединенных последовательно. Переключение с внутреннего на внешний источник питания производится с помощью тумблера, расположенного на передней панели хронографа. Запись на ленте ведется по двум каналам, каждый из которых образует свою линию записи. По одному каналу обычно записывают показания хронометра, а по второму — моменты срабатывания контактов микрометра (при наблюдениях) или моменты приема радиосигналов точного времени. Погрешность регистрации оценивается величиной $\pm 0{,}01$ с. При транспортировке хронограф закрывается крышкой.

10.4. ПРИБОРЫ ДЛЯ РАСШИФРОВКИ ХРОНОГРАММ

Под расшифровкой хронограммы понимают линейное интерполирование показаний хронометра на момент наблюдаемого явления между моментами начала двух смежных секунд, т. е. оценка положения рабочей отметки от контактного микрометра или радиосигналов времени относительно секундных меток.

Простейшим прибором для измерения хронограмм является клиновидная палетка (рис. 10.32), представляющая собой прозрачную пластину из целлулоида, плексигласа или стекла, на которую нанесены одиннадцать расходящихся прямых.

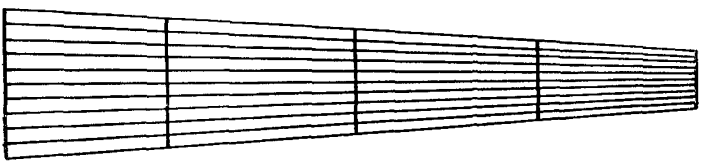


Рис. 10.32. Клиновидная палетка

Палетку накладывают на ленту так, чтобы ее основание было параллельно линии, соединяющей секундные метки на ленте. Перемещая палетку вверх — вниз, добиваются совмещения крайних штрихов с отметками двух смежных секундных меток. Пользуясь промежуточными штрихами, интерполируют на глаз положение измеряемого контакта (рабочей отметки от контактного микрометра или радиосигналов времени) в сотых долях секунды относительно младшей секундной метки.

Для измерения хронограмм используют также специальный прибор (рис. 10.33).

На основании прибора *1* укреплена ось *2*, на которой вращаются с помощью рукоятки *8* радиальный сектор *3* с застекленным окном и шкалой *7*. Шкала сектора соприкасается с

неподвижным индексом *9*. Сектор с помощью пружины прижат вправо до упора *5*, имеющего регулировочный винт *6*.

При положении сектора на упоре отсчет по шкале должен быть 10,0, что достигается с помощью регулировочного винта *6*. Шкала сектора имеет 10 оцифрованных делений, соответствующих десятым долям секунды. Каждое из оцифрованных делений поделено пополам. Сотые доли секунды отсчитываются на глаз по индексу. На стекле сектора нанесены два прямых визирных штриха, исходящих из центра вращения сектора под

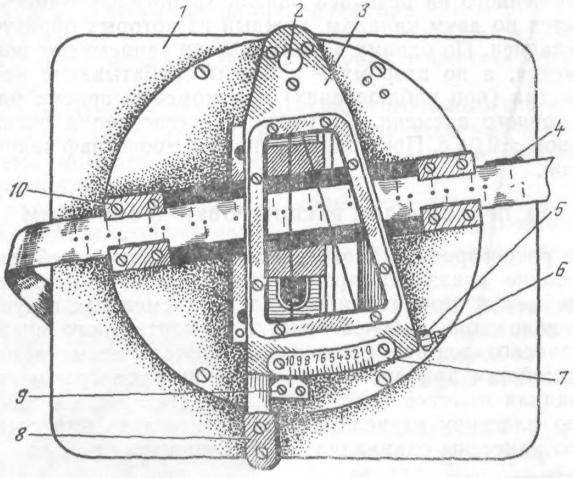


Рис. 10.33. Прибор для расшифровки хронограмм

углом 15°. Хронографическая лента для измерений пропускается в пазы станины ползуна *10*, который с помощью рукоятки *4* может перемещаться под сектором по направляющим. При отсчете 10,0 по шкале сектора ползун перемещается параллельно левому визирному штриху.

10.5. РАДИОПРИЕМНИК «АСТРА»

Радиоприемник (рис. 10.34) предназначен для приема радиосигналов точного времени в стационарных и полевых условиях в диапазонах радиоволн, указанных в табл. 10.2.

Радиоприемник имеет три выхода:

от усилителя промежуточной частоты 128 кГц с регулировкой напряжения от 0 до 1,5 В, на нагрузке 3000±300 Ом (выход ПЧ); этот выход используется при приеме радиосигналов точного времени на осциллограф и для автоматической привязки шкалы времени хронометра «Альтаир» к сигналам точного времени;

Таблица 10.2

Номер диапазона	Частота, кГц	Номер диапазона	Частота, кГц
1	12—150	7	5000±40
2	150—270	8	10000±40
3	270—480	9	15000±40
4	480—860	10	20000±40
5	860—1500	11	25000±40
6	2500±40		

Примечания: 1. Перестройка частоты в диапазонах 1—5 плавная. 2. Цена деления шкалы на 2-м и 3-м диапазонах 1 кГц, на остальных 2 кГц.

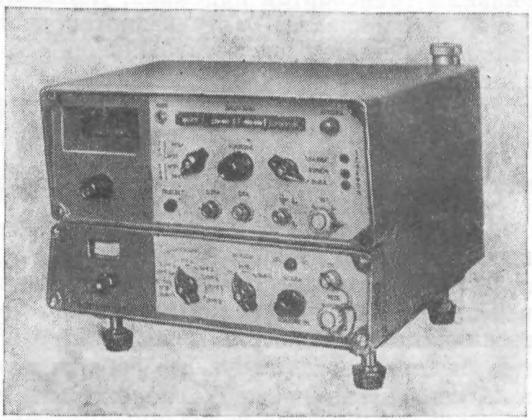


Рис. 10.34. Радиоприемник «Астра»

от усилителя низкой частоты (выход «телефон») напряжением не менее 1,5 В на головные телефоны или кварцевый хронометр «Альтаир»;

от усилителя низкой частоты через специальное развязывающее устройство, для регистрации сигналов точного времени на ленте маркопечатающего хронографа ХПМ-3.

Питание радиоприемника осуществляется от внутреннего источника питания постоянного тока (восемь элементов типа 373) напряжением 12 В, от внешнего источника (аккумулятор) постоянного тока с тем же напряжением, от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой 50 Гц, от сети переменного тока напряжением 115 В, частотой 400 Гц.

Мощность, потребляемая приемником от источников постоянного тока, не превышает 6 Вт. Изменение любого напряжения названных выше источников питания на величину ±10 % не отражается на качестве работы радиоприемника. Задержка радиосигналов в электрических цепях приемника не превышает 0,6 мс. Радиоприемник «Астра» может эксплуатироваться непрерывно в течение 8 ч при температуре окружающего воздуха от —25 до +50 °С и относительной влажности до 98 %.

Конструктивно радиоприемник выполнен в виде двух блоков — верхнего и нижнего, жестко связанных между собой. Прием радиопередач производится на одну из двух антенн. штыревую и антенну «наклонный луч». Последняя состоит из двух проводов, один из которых (вертикальный) подключается к клемме «антенна», а второй (горизонтальный) к клемме ⏚ (корпус приемника). Для переноски приемник укладывают в металлический футляр, снабженный заплечными ремнями. В футляре имеются отсеки для коммутационных кабелей и головных телефонов. При транспортировке железнодорожным, водным, авиационным или автомобильным транспортом приемник, уложенный в металлический футляр, размещается в транспортировочном ящике. В этом же ящике находятся эксплуатационная документация, комплект запасных частей и принадлежностей.

При подготовке к работе радиоприемник вынимают из транспортировочного ящика, а затем и из металлического футляра и устанавливают на рабочее место; подключают к клемме ⏚, а одну из антенн — в предназначенное для нее гнездо; в гнезда «телефон» вставляют вилку головных телефонов.

Открывают люк в верхней части корпуса и вставляют в гнезда люка батареи; если радиоприемник предполагается питать от внешнего источника, переключатель вида питания в этом люке переводят в положение, соответствующее избранному источнику питания, после чего отвинчивают колпачок разъема «Ш1» и подсоединяют к разъему штатный кабель, подключают кабель к источнику питания

Переключатель рода работ переводят в положение «калибр», а переключатель «контроль» в положение «+12 В», после чего стрелка контрольного прибора должна отклониться на 35—65 делений шкалы.

Утапливают клавишу «конвертор», переключатель «контроль» переводят в положение «гетер»; вращая переключатель диапазонов нижнего блока радиоприемника, последовательно переключают все диапазоны, при этом стрелка контрольного прибора должна отклоняться на 35—65 делений при всех положениях переключателя, за исключением положений «выкл» и «1,15».

Затем устанавливают переключатель вида регулировки усиления в положение «тлф — ару», нажимают кнопку «подсвет» — шкала частот должна осветиться.

Нажимают одну из клавиш переключателя диапазонов верхнего блока радиоприемника; вращая ручку настройки, убеждаются, что вблизи калибровочных точек шкалы (калибровочные точки обозначены на шкале специальными рисками, с точкой под ними) в телефонах слышен звук низкого тона (нулевые биения); если нулевые биения слышны не вблизи калибровоч-

ных точек, то необходимо произвести калибровку шкалы в выбранном рабочем диапазоне, для чего ручкой настройки совмещают калибровочную точку в самом начале шкалы рабочего диапазона с неподвижным индексом шкалы и, вращая ось корректора «корр», добиваются нулевых биений.

Выполняют эту же операцию для калибровочной точки, ближайшей к рабочей частоте выбранного диапазона; ось ручки «корр» необходимо вращать плавно и на небольшой угол во избежание настройки на соседнюю гармонику калибруемой частоты.

Настройка радиоприемника на передающую станцию. Одной из особенностей радиоприемника «Астра» является наличие в нем двух переключателей диапазонов, расположенных в нижнем (галетный переключатель) и верхнем (клавишный переключатель) блоках.

Для приема радиосигналов времени в 1 и 6—11 диапазонах (см. таблицу на приемнике) клавишу «конвертор» верхнего блока приемника утапливают, после чего переключатель нижнего блока устанавливают на один из перечисленных выше диапазонов (например, 5 МГц). Тумблер «полоса» переводят в положение «УП» (узкая полоса). Нажав кнопку «подсвет» и вращая ручку настройки, расположенную под шкалой, совмещают отсчет «0» по шкале с неподвижным индексом. В головных телефонах должны быть слышны сигналы, передаваемые избранной станцией (5 МГц). Регулировку усиления принимаемых сигналов производят раздельно по промежуточной частоте ручкой «усиление ПЧ» и по низкой частоте ручкой «усиление». Уровень выходного сигнала контролируют по индикатору, для чего переключатель «контроль» переводят в положение «настройка».

При приеме радиосигналов на частотах, отличающихся от основной частоты (в нашем случае 5 МГц) диапазона на ±4 кГц (5004 и 4996 кГц), ручкой настройки устанавливают отсчеты по шкале соответственно +4 и —4.

Для настройки на радиостанции, работающие во 2—5 диапазонах, переключатель диапазонов нижнего блока переводят в положение «1,15 мГц», после чего нажимают клавишу нужного диапазона в верхнем блоке приемника. При этом отсчет «0» по шкале настройки будет соответствовать частоте 1150 кГц, а отсчет «М» по шкале, соответствующий частоте f выбранной радиостанции, найдется из соотношения: $M = f - 1150$. Например, для настройки приемника на радиостанцию, работающую на частоте 1500 кГц (5-й диапазон), по шкале настройки следует установить отсчет: $M = 1500 - 1150 = +350$.

Запись радиосигналов времени на ленту хронографа ХПМ-3. К разъему «Реле» нижнего блока приемника подключают кабель, на вилке которого нанесена надпись: «ХПМ». Переводят переключатель «выходы» в положение «реле». Штепсельную вилку кабеля вставляют в гнездо «микрометр» на задней стенке хронографа ХПМ-3, соблюдая при этом полярность. Настраивают

радиоприемник на выбранную радиостанцию. Переключатель вида регулировки усиления переводят в положение «тлф – рру». Поворачивают по часовой стрелке до отказа ручку «усиление». Вращая ручку «усиление ПЧ», добиваются уверенной работы хронографа ХПМ-3. При этом стрелка индикатора радиоприемника должна отклоняться в такт с секундными сигналами от 0 до 50—70 делений.

Выход промежуточной частоты. Выход используют для приема радиосигналов точного времени с помощью осциллографа и для автоматической привязки шкалы кварцевого хронометра «Альтаир» к секундным радиосигналам точного времени. Для использования выхода промежуточной частоты переключатель «выходы» устанавливают в положение «ПЧ». Один конец штатного высокочастотного кабеля подсоединяют к разъему «ПЧ» радиоприемника, а второй конец — к осциллографу или кварцевому хронометру «Альтаир».

Замена лампочки подсветки шкалы. Для замены лампочки подсветки шкалы радиоприемника отвертывают два невыпадающих винта люка и снимают закрывающую его крышку. Вывинчивают винт, крепящий кронштейн с лампочкой и конденсором. Вынимают этот узел из окошка. Ослабив хомуты, крепящие цоколь лампочки, вращают лампочку против хода часовой стрелки и вывинчивают ее. Вворачивают исправную лампочку до упора и фиксируют ее положение винтом хомута, обнимающего цоколь. Ослабляют гайку, крепящую направляющие ламподержателя и перемещая ламподержатель по направляющим добиваются, чтобы нить накала лампочки расположилась на оси, проходящей через центр конденсора и была перпендикулярна к этой оси. Закрепляют направляющие гайкой. Устанавливают весь узел на штатное место, обеспечив на глаз параллельность установочной плоскости конденсора плоскости шкалы.

10.6. РАДИОПРИЕМНИК Р-311 С ИМПУЛЬСНОЙ ПРИСТАВКОЙ ИТП-2

Радиоприемник Р-311 предназначен для приема телеграфных и телефонных радиопередач в диапазоне от 1 до 15 МГц. Радиоприемник имеет пять поддиапазонов. Шкалы приемника оцифрованы в десятках килогерц. Радиоприемник имеет трансформаторный выход, к которому могут быть подключены одна или две пары головных низкоомных телефонов ТА-56М, и выход на внешнюю линию с сопротивлением 1500 Ом.

Питание постоянным током цепей накала радиоламп, составляющим 2,5 В, а для анодных цепей радиоламп 80 В, может быть осуществлено от вибропреобразователя ВП-3М2 и аккумулятора 2КН-24 либо от анодной батареи БАС-80 и аккумулятора 2КН-24. Аккумулятор может быть заменен батареей сухих элементов общей емкостью 15—25 А/ч.

Аккумулятор 2КН-24 обеспечивает непрерывную работу приемника в течение 12 ч при работе с вибропреобразователем

и 24 ч при работе с анодной батареей. При астрономических определениях рекомендуется использовать в качестве источника анодного тока сухую батарею БАС-80, что увеличивает время работы аккумулятора 2КН-24 и снижает помехи радиоприему.

Радиоприемник расположен в отсеке металлического футляра, имеющего также отсек для аккумулятора 2КН-24 и вибропреобразователя или анодной батареи БАС-80.

Для переноски футляр приемника имеет петли к заплечным ремням. Для транспортировки любыми видами транспорта футляр укладывают в деревянный транспортировочный ящик.

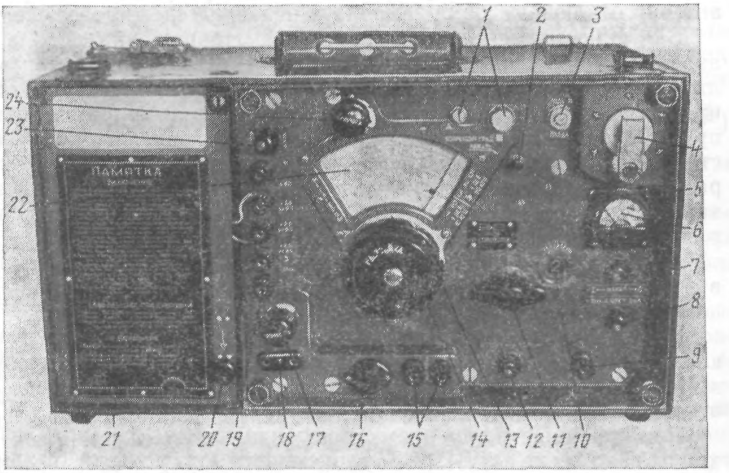


Рис. 10.35. Радиоприемник Р-311

Органы управления, контроля и коммутации расположены на передней панели радиоприемника, которая при хранении или перевозке приемника закрывается крышкой.

Радиоприемник обеспечивает нормальную работу в диапазоне температур окружающего воздуха от —40 до +50 °С при относительной влажности до 98 %.

Масса приемника в футляре с принадлежностями 21 кг, в транспортировочном ящике 38 кг.

Перед включением радиоприемника Р-311 (рис. 10.35) следует внимательно изучить настоящий раздел с прилагаемым рисунком, а также «Памятку», расположенную на внешней стороне крышки отсека для источников питания *21*, и схему подключения источников питания, расположенную на внутренней стороне крышки. Для того чтобы открыть крышку отсека, замок *20* отжимают вниз. Питание приемника от источника тока осуществляется через колодку, вставляемую в гнезда клемм колодки питания или непосредственно проводниками к этим клеммам *19*;

в последнем случае при питании от батареи БАС-80 между клеммами «+2,5 на ВП» и «+2,5 от ВП» устанавливают перемычку.

Приемник обязательно заземляют. В качестве заземления используют штырь, забиваемый во влажный грунт на глубину не менее 1 м. Проводник, имеющий сечение не менее 1 мм, подключается к клемме *9*.

Рекомендуется использовать антенну типа «наклонный луч» длиной 20—30 м, которую с помощью болта подсоединяют к креплению *4*. Для согласования выбранной антенны с входными контурами приемника на переднюю панель выведена ось триммера *3*, имеющая на торце шлиц под отвертку. Во время грозы антенну отключают от приемника и непосредственно заземляют.

Включают приемник тумблером *23*. Напряжение накала и анодное напряжение (кнопка *5* на вольтметре нажата) контролируют по вольтметру *6*. Тумблер *7* позволяет подобрать напряжение накала по показанию вольтметра: при включении приемника тумблер должен находиться в положении *I*, если же стрелка прибора находится влево за пределом голубого сектора, тумблер переключают в положение *II*. Тумблером *8* включают лампу подсветки шкалы настройки *22*; после настройки радиоприемника подсветку следует выключать.

Для защиты вибропреобразователя от коротких замыканий в анодных цепях радиоприемника установлен предохранитель *16* на величину тока 0,15 А.

Настройку приемника на заданную частоту производят переключателем диапазонов *11* с индикацией номеров поддиапазонов в иллюминаторе *10* и ручками грубой настройки *13* и плавной *14* относительно теневого визира.

При приеме сигналов времени переключатель *12* устанавливают в положение «ТЛГ». В зависимости от условий приема радиосигналов ручкой *24* устанавливают ширину полосы пропускания усилителя промежуточной частоты. Ручкой *17* подбирают напряжение выходного сигнала, гнезда *18* предназначены для подключения головного телефона ТА-56М, а клеммы *15* используют для подключения импульсной приставки.

Радиовещательная программа и сигналы поверки времени могут приниматься только в положении «ТЛФ» переключателя *12*, а сигналы времени — только в положении «ТЛГ». После установки переключателя диапазонов и шкалы настройки на заданную частоту сигналы радиостанции, работающей в телеграфном режиме, будут прослушиваться в пределах слышимого фона биений. Обнаружив, таким образом, сигнал нужной радиостанции, следует точной настройкой изменить тон биений на близкий к 1000 Гц. Триммером *3* добиваются максимальной слышимости сигнала. При наличии помех со стороны других станций или сильных шумов полосу сужают поворотом ручки *24* влево до получения желательной отстройки от помех. При сужении полосы требуется более точная подстройка тона биений ручкой *14*. При приеме станций следует учитывать, что чрезмер-

ная громкость сигнала вызывает его искажения. Изменение амплитуды сигнала производят только ручкой *17*.

Для получения наибольшей точности установки заданной частоты по шкале настройки приемника необходимо периодически производить коррекцию градуировки шкалы с помощью встроенного кварцевого калибратора. Напряжения гармоник кварцевого генератора подаются на вход приемника при нажатии кнопки *2* и могут быть приняты так же, как и обычные немодулированные радиосигналы в телеграфном режиме. На шкале приемника, кроме основных делений частоты настройки, нанесены риски калибровки через 464 или 232 кГц, соответствующие частоте гармоник кварцевого калибратора.

Коррекцию шкалы производят в два приема. Предварительную коррекцию — по двум крайним опорным точкам 4-го поддиапазона и окончательную — по двум крайним опорным точкам 5-го поддиапазона (левая обозначена знаком ↑, правая ▼).

Коррекцию в каждом из этих поддиапазонов производят в следующем порядке.

Включают приемник, устанавливают *4* или *5* диапазоны, тумблер *12* переводят в положение «ТЛГ», ручкой настройки совмещают теневой визир с крайней опорной точкой в начале шкалы *4* (*5*) диапазона.

Нажимают кнопку *2* и ручкой *14* подстраиваются на нулевые биения. Вращая ось коррекции *1*, отмеченную знаком ▲, снова совмещают теневой визир с опорной точкой на шкале. Ручкой *14* совмещают теневой визир с крайней опорной точкой в конце шкалы диапазона. Ручкой коррекции *1*, отмеченной знаком ■, настраиваются на нулевые биения; настройку на нулевые биения производят в положении триммера *3*, соответствующем наилучшей слышимости сигнала.

Проверяют вторично, совпадает ли визир с опорной точкой в начале шкалы при нулевых биениях в телефонах и в случае необходимости повторяют коррекцию. Проверяют градуировку по радиостанциям, передающим радиосигналы времени; погрешность градуировки 5-го диапазона не должна превышать 10 кГц (полделения).

Прием секундных сигналов точного времени радиоприемником Р-311 с записью на ленту хронографа ХПМ-3 осуществляют с помощью импульсной транзисторной приставки ИТП-2.

Импульсная приставка ИТП-2 представляет собой транзисторное реле с дополнительными устройствами для усиления сигнала и подавления помех. Общий вид приставки приведен на рис. 10.36.

Питание приставки осуществляется от двух источников постоянного тока: внутренней батареи типа 3336Л 4,5 В и батареи БАС-80 маркопечатающего хронографа ХПМ-3. Потребляемый ток от внутренней батареи не превышает 10 мА. Масса приставки 1,8 кг. Габариты 280×110×90 мм.

Для приема радиосигналов точного времени на хронограф ХПМ-3 с помощью импульсной приставки радиоприемника Р-311 к ИТП-2 подключают внутренний источник постоянного тока, батарею 3336Л. Отвернув две гайки на дне корпуса, вынимают приставку из ящика. Батарею вставляют в предназначенное для нее гнездо и подсоединяют провода, соблюдая полярность, обозначенную на зажимах проводов. Кабелем с двумя вилками на концах соединяют гнезда «хронограф» приставки с гнездами «микрометр» хронографа, соблюдая при этом полярность. Гнезда «приемник» приставки соединяют с «Т» (телефон) приемника Р-311. К хронографу подключают хронометр.

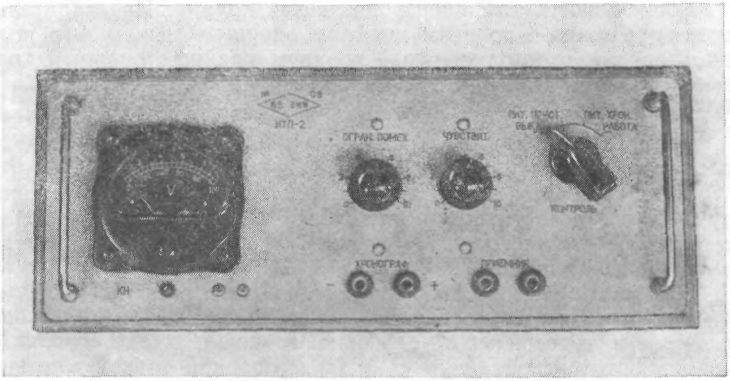


Рис. 10.36. Импульсная приставка ИТП-2

Проверяют напряжение источников питания. Для этого устанавливают переключатель («контроль») в положение «пит. приставки» и отсчитывают по верхней 10-вольтовой шкале вольтметра. Напряжение источника не должно быть меньше 3 В.

Проверяют напряжение анодной батареи маркопечатающего хронографа ХПМ-3. Для этого устанавливают переключатель «контроль» в положение «пит. хрон.» и отсчитывают по нижней 100-вольтовой шкале. Напряжение батареи хронографа не должно быть меньше 65—70 В. Переводят переключатель «контроль» в положение «работа».

Настраивают радиоприемник на выбранную радиостанцию, передающую радиосигналы точного времени. При настройке радиоприемника высоту тона звука устанавливают равной приблизительно 1000 Гц, что определяют по максимальному отклонению стрелки вольтметра приставки.

При отсутствии помех при прохождении секундных радиосигналов стрелка вольтметра должна отклоняться в такт с сигналами времени на 40—60 делений, возвращаясь в паузах на нуль.

При наличии помех их влияние ослабляют, манипулируя

ручками потенциометров «огран. помех» и «чувствит.». При вращении указанных ручек по часовой стрелке соответственно возрастают порог ограничения и коэффициент усиления.

Включают хронограф ХПМ-3 и регистрируют радиосигналы точного времени в обычном порядке. Для отметки начала серии секундных сигналов нажимают кнопку «кн», отключая тем самым выход приставки в момент минутного сигнала радиостанции.

В образовавшемся пропуске надписывают час и минуту подачи радиосигналов. В минутном пропуске от хронометра на ленте фиксируют также момент (час и минуту) по хронометру.

10.7. РАДИОПРИЕМНИК «BRAUN STATION T1000-CD»

Радиоприемник «Braun Station T1000-CD» предназначен для приема радиосигналов точного времени и прослушивания радиопередач широковещательных станций в диапазонах длинных, средних, коротких и ультракоротких волн в стационарных и

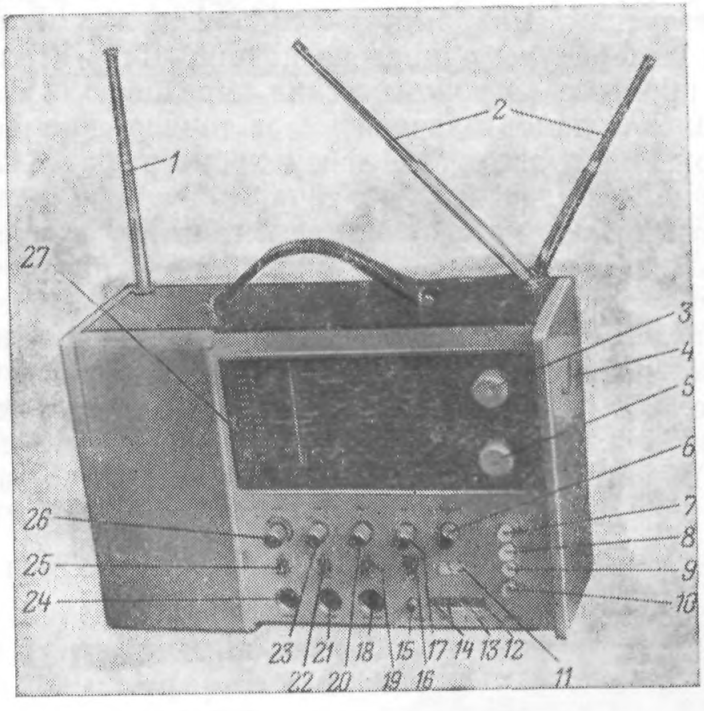


Рис. 10.37. Радиоприемник «Braun Station T1000-CD»:

1 — антенна штыревая; *2* — антенны направленные (УКВ); *3* — ручка грубой настройки; *4* — переключатель диапазонов; *5* — ручка настройки УКВ-диапазона; *6* — ручка точной настройки; *7* — кнопка включения записи на магнитофон; *8* — кнопка включения ферритовой антенны; *9* — кнопка подключения внешнего громкоговорителя к ДВ, СВ и КВ диапазонам; *10* — кнопка подключения внешнего громкоговорителя к УКВ диапазону; *11* — индикатор настройки; *12* — гнездо заземления; *13* — гнездо внешней антенны для ДВ, СВ и КВ диапазонов; *14* — гнездо внешней антенны для УКВ диапазона; *15* — ручка настройки антенны; *16* — тумблер подсветки шкалы; *17* — ручка настройки второго гетеродина; *18* — разъем для подключения магнитофона; *19* — тумблер переключения ширины полосы пропускания; *20* — выключатель и ручка настройки телеграфного режима работы; *21* — разъем для подключения наушников; *22* — тумблер переключения источников питания; *23* — ручка настройки тона; *24* — разъем для включения внешнего громкоговорителя; *25* — тумблер включения и выключения радиоприемника, *26* — ручка регулировки громкости; *27* — индикатор переключения диапазонов

полевых условиях, с записью радиосигналов на магнитофон или ленту царапающего хронографа М427 «Favag».

Радиоприемник имеет две телескопические и одну ферритовую антенны, а также гнезда для подключения внешних антенн. Питание радиоприемника осуществляется от девяти элементов типа «373» или внешнего источника. Внешний вид радиоприемника показан на рис. 10.37, с обозначениями и названиями его органов настройки и управления. Работа с радиоприемником производится по обычным правилам обслуживания радиоустройств широкого пользования.

10.8. КОМПЛЕКС АСТРОНОМИЧЕСКОГО ТЕОДОЛИТА ВИЛЬД Т4

Комплекс астрономического теодолита Вильд Т4 включает кварцевый хронометр «Chronotome» с усилителем РОВ-12 (см. 10.2.3), ленточный царапающий хронограф М427 «Favag» (см. 10.3.3), радиоприемник «Braun Station T1000-CD» (см. 10.7), а также пульт управления (рис. 10.38), с помощью которого коммутируются электрические цепи перечисленных приборов и контактного микрометра теодолита. Схема коммутации комплекса аппаратуры приведена на рис. 10.39. Пользуясь этой схемой, в процессе астрономических определений можно производить запись приемов радиосигналов точного времени и моментов прохождений звезд на ленту хронографа М427 «Favag».

Для приема радиосигналов точного времени переключатель рода работы пульта управления ставят в положение «Receiver» (приемник). Тумблером *25* (см. рис. 10.37) включают радиоприемник и настраивают на частоту принимаемой радиостанции. Манипулируя тумблерами и ручками, регулирующими настройку, звук, полосу пропускания, устраняют помехи, после чего ручкой *4* (см. рис. 10.31) включают хронограф. Записывают на ленте хронографа при скорости ее протяжки 20 мм/с не менее десяти уверенно принятых радиосигналов времени по одному каналу

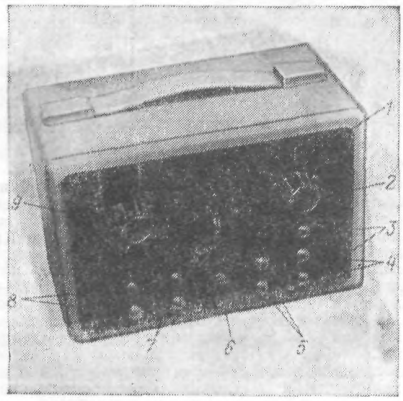


Рис. 10.38. Пульт управления комплексом измерительной аппаратуры теодолита Вильд Т4:

1 — переключатель работы (теодолит — радиоприемник); *2* — переключатель полосы пропускания; *3* — клеммы для подключения хронографа; *4* — клеммы для подключения контактного микрометра; *5* — клеммы для подключения радиоприемника; *6* — предохранитель; *7* — клеммы для подключения источника питания; *8* — клеммы для подключения головных телефонов; *9* — регулятор ширины полосы пропускания

хронографа и секундные сигналы хронометра по второму каналу. После окончания такой записи отмечают моменты подачи радиосигналов по всемирному времени и показания хронометра в эти моменты. Выключают радиоприемник и хронограф.

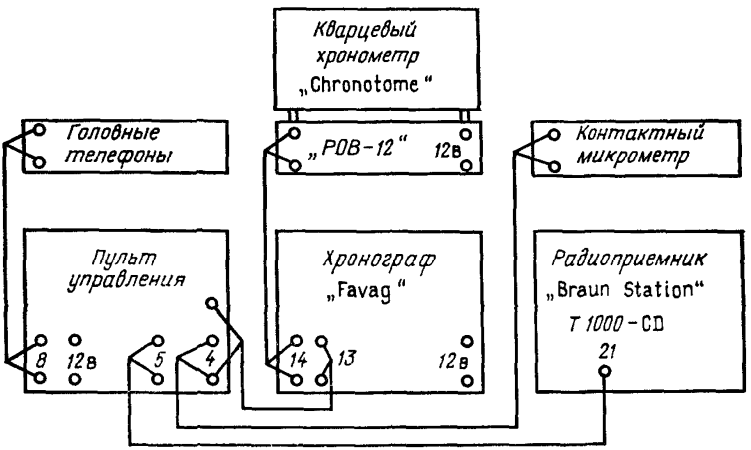


Рис. 10.39. Схема коммутации комплекса аппаратуры теодолита Вильд Т4

Запись моментов прохождений звезд, регистрируемых контактным микрометром теодолита Вильд Т4, начинают с переключения рода работы *1* (см. рис. 10.38) на пульте управления в положение «Theodolite» (теодолит). При подходе изображения звезды к подвижной нити контактного микрометра по команде наблюдателя ручкой *4* (см. рис. 10.31) включают хронограф. Записывают на его ленту секундные сигналы хронометра по одному каналу и сигналы замыкания контактов микрометра — по второму каналу. Закончив запись, выключают хронограф и отмечают на ленте показания хронометра в момент начала минуты.

10.9. ПРИБОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦАПФ

Прибор предназначен для исследования неправильностей фигур цапф контактным способом и состоит (рис. 10.40) из инструментальной платформы *1*, на которой закреплена массивная стойка *8*. По направляющим стойки при помощи штурвала *7* перемещается кронштейн *6*. С помощью микрометрического элевационного винта *5* каретка *4* с интерферометром *3*, снабженным щупом *2*, может перемещаться по вертикали для того чтобы щуп опустился на рабочее сечение цапфы. Грубая установка интерферометра по высоте осуществляется штурвалом *7*.

Астрономический теодолит, цапфы горизонтальной оси которого подлежат исследованию, заблаговременно устанавливают на инструментальную платформу прибора и горизонтируют. У астрономического теодолита АУ 2/10 снимают трубу и на ее

месте закрепляют противовес, с тем чтобы горизонтальная ось вращалась от 0 до 360°. Поверяют интерферометр: регулируют цену его деления и направление движения интерференционной картины в поле зрения микроскопа. При правильной наладке отсчеты по шкале интерферометра должны увеличиваться при поднимании щупа и уменьшаться при его опускании. Штурвалом 7 и элевационным винтом 5 приводят щуп в соприкоснозение с цапфой. Дают теодолиту отстояться в течение 2—3 ч, после чего выполняют измерения неправильностей фигур цапф. В процессе измерений соблюдают следующие требования: гори-

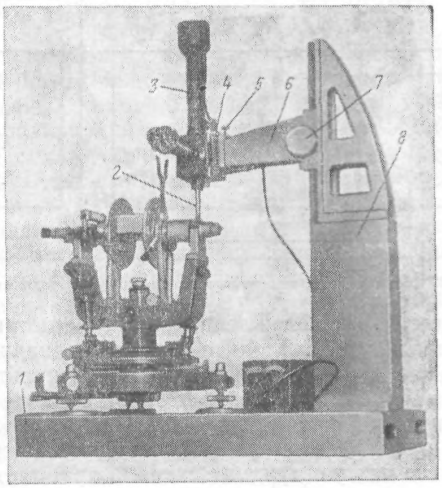


Рис. 10.40. Прибор для исследования цапф контактным способом

зонтальную ось вращают только против хода часовой стрелки, если смотреть на торец оси со стороны ее окулярного конца; положение щупа регулируют так, чтобы интерференционная картина находилась в центре поля зрения микроскопа, на удалении 5—10 делений от нуль-пункта; перед началом исследований горизонтальную ось 4—5 раз поворачивают на полный оборот и по постоянству отсчетов для одного и того же положения оси убеждаются в стабильности системы теодолит — интерферометр.

10.10. АВТОКОЛЛИМАЦИОННОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ НА БОКОВОЕ ГНУТИЕ

Автоколлимационное устройство (рис. 10.41) включает в себя объективную насадку с зеркалом и автоколлимационный окуляр.

Обойма насадки надевается на оправу объектива и фиксируется на ней винтами или зажимом. К торцу обоймы тремя вин-

тами крепится круглая металлическая пластина с зеркалом. Юстировочными винтами можно менять положение пластины и устанавливать ее так, чтобы отражающая поверхность зеркала была перпендикулярна к визирной оси трубы теодолита.

Основу автоколлимационного окуляра составляет куб с призмой, на гипотенузную грань которой нанесено полупрозрачное зеркальное покрытие. К кубу с одной стороны крепится осветитель с конденсором, а с другой стороны, перпендикулярно осветителю, тубус с микроскопом. Через переходную втулку куб

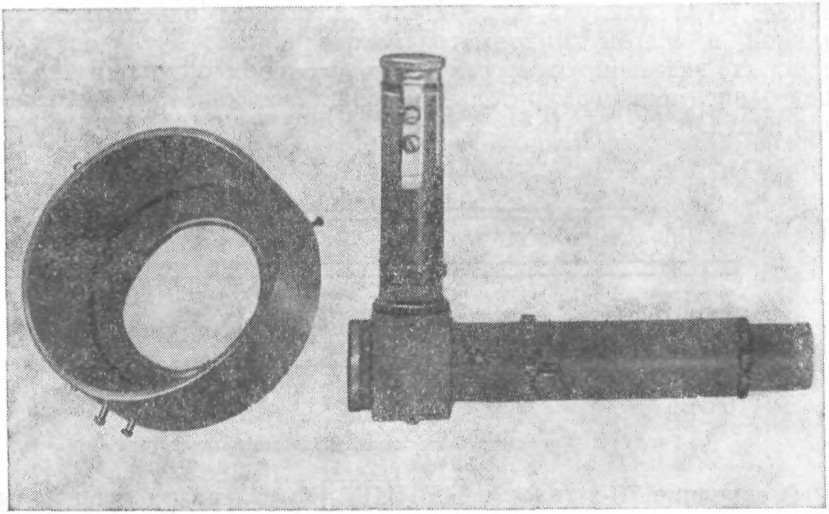


Рис. 10 41. Автоколлимационное устройство для исследования бокового гнутия

ввинчивается на место окуляра микрометра исследуемого теодолита. С помощью комплекта переходных втулок и обойм объективной насадки можно выполнять определение бокового гнутия практически у всех типов астрономических теодолитов.

Свет от электрической лампочки осветителя после прохождения линзы конденсора падает на гипотенузную грань призмы и, отразившись от нее, освещает сетку нитей микрометра. В поле зрения микроскопа наблюдатель видит прямое и отраженное от зеркала объективной насадки изображения подвижной нити. Если все оптико-механические компоненты, формирующие визирную ось трубы теодолита, сохраняют неизменное положение относительно друг друга при установке трубы на одно и то же зенитное расстояние по разные стороны от зенита, отсчеты по шкале головки винта микрометра, соответствующие совмещенным прямому и отраженному изображениям подвижной нити, будут одинаковыми. Если же названные два отсчета различаются между собой, значит визирная ось трубы испытывает несимметричные смещения. Методика исследования бокового гнутия с применением автоколлимационного устройства изложена в 11.17.

10.11. ЭКЗАМЕНАТОР

Экзаменатор предназначен для определения цены деления жидкостных и электромеханических уровней и исследования правильности их работы.

По конструктивному исполнению экзаменаторы подразделяются на простые и составные. Простой экзаменатор состоит из измерительной штанги, один конец которой шарнирно закреплен, а второй конец, снабженный микрометрическим винтом, может менять свое положение при ввинчивании (вывинчивании) этого винта. Угол наклона измерительной штанги определяется ее длиной и шагом микрометрического винта. К недостаткам простых экзаменаторов относится их громоздкость и большая зависимость измерительных свойств от качества изготовления винта.

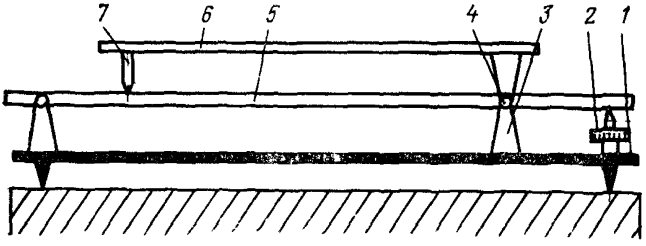


Рис. 10.42. Кинематическая схема составного экзаменатора

В середине 70-х годов в ЦНИИГАиК был разработан новый тип экзаменатора, отличительными особенностями которого по сравнению с простым являются: компактность, малая зависимость измерительных свойств от качества изготовления микрометрического винта, многодиапазонность. Кинематическая схема такого экзаменатора показана на рис. 10.42 и включает в себя подставку *1*, измерительную штангу *5*, инструментальную платформу *6* и микрометрический винт *2*. От простого экзаменатора он отличается наличием дополнительной платформы, ось вращения *4* которой лежит в лагерах кронштейна *3*, установленного на подставке, а стойка *7* опирается на подпятник измерительной штанги.

Геометрическая схема работы составного экзаменатора представлена на рис. 10.43. При ввинчивании микрометрического винта измерительная штанга повернется вокруг оси A на угол α_1. При этом первоначальная точка C касания винта со штангой переместится из точки C в точку C_1, а наконечник винта будет касаться штанги в новой точке C_1'. Подобным же образом точка B штанги переместится в точку B_1, инструментальная платформа EB развернется на угол α_2, а наконечник стойки будет касаться измерительной штанги в точке B'_1. Функциональная зависимость угла поворота инструментальной платформы EB от

конструктивных элементов экзаменатора может быть найдена по формуле

$$\alpha_2 = 180° - \left[\operatorname{arctg}\frac{N\gamma}{L_1} + \arcsin\frac{L_2}{l}\sin\left(\operatorname{arctg}\frac{N\gamma}{L_1}\right)\right].$$

Разлагая тригонометрические функции в ряд и пренебрегая членами второго порядка, приведем формулу к более простому виду

$$\alpha_2 = \frac{(L_2 - l)\,N\gamma}{lL_1}\rho,$$

где L_1 — расстояние (база) от оси вращения A измерительной штанги до точки C касания с ней наконечника микрометрического винта; L_2 — расстояние между осями A и E вращения штанги и инструментальной платформы; l — расстояние от оси E вращения платформы до точки касания B ее стойки с измерительной штангой; γ — шаг винта; N — число оборотов винта.

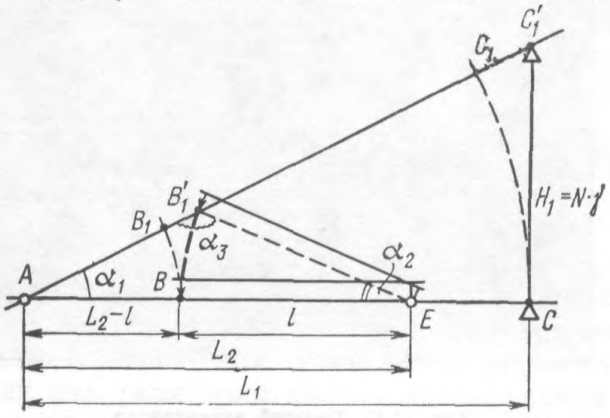


Рис. 10.43. Геометрическая схема составного экзаменатора

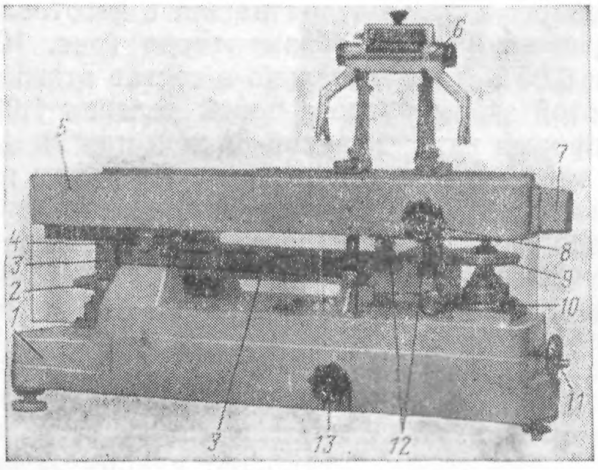


Рис. 10.44. Стационарный составной многодиапазонный экзаменатор:

1 — подставка; *2* — микрометрический винт измерительной штанги; *3* — измерительная штанга; *4* — ось вращения инструментальной платформы; *5* — инструментальная платформа; *6* — исследуемый уровень; *7* — оправа с контрольным зеркалом; *8* — штурвал для переключения диапазонов; *9* — микрометрический винт инструментальной платформы; *10* — ось вращения измерительной штанги; *11* — штурвал привода вращения микрометрического винта; *12* — диапазонные столбики; *13* — штурвал арретирующего устройства

Из последней формулы следует, что задав конструктивные параметры L_1, L_2, l и γ, можно построить составной экзаменатор такого же размера, как и простой, но с ценой оборота, в $l/(L_2-l)$ раз меньшей. При этом ошибки винта экзаменатора и их влияние на результат будут ослаблены в такое же число раз. Установив на платформе несколько стоек (диапазонных столбиков) *7*, на разных расстояниях от оси вращения *5*, можно сделать экзаменатор многодиапазонным.

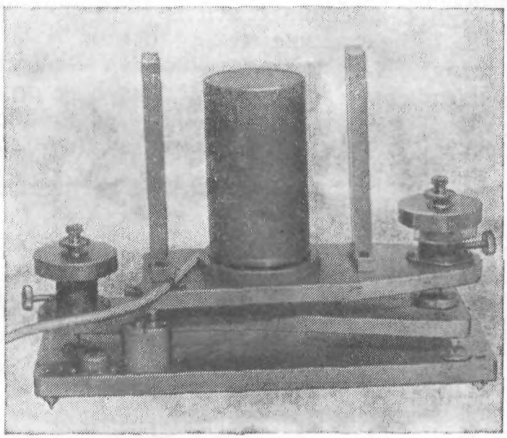


Рис. 10.45. Полевой экзаменатор

Практическое решение рассмотренная конструкция составного многодиапазонного экзаменатора нашла в изготовленном ЭОМЗ ЦНИИГАиК стационарном экзаменаторе (рис. 10.44) с ценой деления 0,2 и 0,05″. Дополнительно в состав этого экзаменатора включен простой экзаменатор с ценой деления 1,0″: инструментальная платформа изменяет свой наклон при ввинчивании (вывинчивании) микрометрического винта. При этом измерительная штанга и диапазонные столбики отключены.

Для исследования ампул уровней в экспедиционных условиях служит полевой экзаменатор (рис. 10.45), а также геодезический многодиапазонный экзаменатор ЭГЕМ с ценой деления 0,2, 0,5 и 1,0″.

10.12. ИСПЫТАТЕЛЬ ВИНТОВ

Исследование ходовых и периодических ошибок винтов микрометров производится на специальном приборе — испытателе винтов.

Испытатель (рис. 10.46) состоит из массивной металлической подставки *1*, которая оборудована микроскопом *6* установочного

микрометра *9* и стойкой *2* с кареткой *3*, во втулку которой вставляется тубус исследуемого микрометра *4*. Установочный микрометр имеет два биссектора — неподвижный и подвижный. Вращая головку винта, можно перемещать подвижный биссектор и тем самым задавать различные значения малых углов между биссекторами. С помощью винта *12* втулка *8* с микроскопом установочного микрометра перемещается в горизонтальной плоскости. Винтом *5* осуществляется изменение положения по высоте исследуемого микрометра.

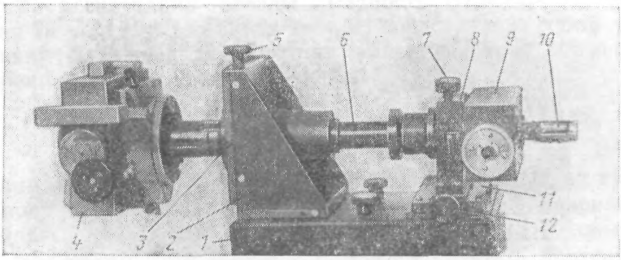


Рис. 10.46. Испытатель микрометрических винтов

Тубус микрометра, подлежащего исследованию, вставляют во втулку каретки. Включают электрическую лампу осветителя *10*. Перемещением тубуса исследуемого микрометра во втулке добиваются резкого изображения сетки нитей установочного микрометра на всех участках поля зрения исследуемого микрометра. Постоянство резкости по полю зрения регулируют вращением головок винтов *5* и *12*. Поворотом коробки установочного микрометра в стойке *8* добиваются параллельности его биссекторов подвижной нити исследуемого микрометра. Закрепление коробки производят винтом *7*. После выполнения перечисленных операций приступают к исследованиям периодических и ходовых ошибок винта в порядке и объеме, указанных в 11.13.

10.13. ПРИБОР «ИСКУССТВЕННАЯ ЗВЕЗДА»

Прибор «Искусственная звезда» (рис. 10.47) предназначен для отработки навыков наблюдателей в регистрации моментов прохождения звезды с применением контактного микрометра, способами глаз — ухо и глаз — клавиша; контроля постоянства личной разности наблюдателей; регулировки, настройки и определения времени задержки сигнала в электрических цепях фотоэлектрической установки теодолита.

Прибор работает следующим образом. Электрический двигатель, работающий от сети переменного тока, через редуктор вращает микрометрический винт. По резьбе винта движется каретка с электрической лампочкой и точечной диафрагмой. Отключение питания цепи электродвигателя при достижении кареткой край-

них положений производится автоматически. Изображение освещенной точечной диафрагмы с 50-кратным уменьшением строится в фокальной плоскости вспомогательного объектива, введение которого в конструкцию прибора позволяет во столько же раз уменьшить влияние ошибок микрометрического винта на результаты измерений. Фокальная плоскость вспомогательного объектива совмещена с фокальной плоскостью главного объектива, через который в параллельном пучке лучей изображение звезды передается в трубу астрономического теодолита. Фокусное

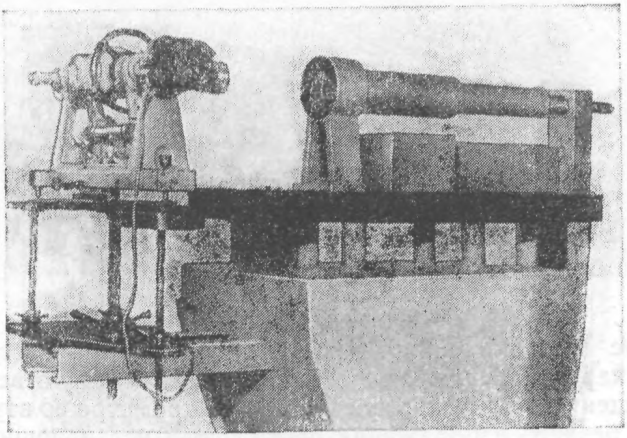


Рис. 10.47. Прибор «Искусственная звезда»

Таблица 10.3

Определение личной разности на приборе «Искусственная звезда»

Дата *14 апреля 1980 г.*
Наблюдатель *А. Исаев*

Теодолит *АУ 2/10 № 10062*
Хронометр: *кварцевый «Альтаир»*
Регистрирующее устройство МПУ8-3
Скорость движения звезды 7,8″/с
Поправка за мертвый ход винта звезды —
Поправка за мертвый ход и ширину контактов микрометра теодолита +0,13 с

Саморегистрация звезды		Регистрация звезды наблюдателем		
прямо	обратно	прямо	обратно	среднее
$47^m35{,}085^s$	$48^m34{,}306^s$	$47^m36{,}391^s$	$48^m32{,}673^s$	$48^m04{,}532^s$
48 02,500	48 06,889	38,329	30,630	04,480
$T_{зв}48^m04{,}695^s$		•	•	•
Личная разность наблюдателя:		•	•	•
$\Delta T = T_{зв} - T_н =$		51,196	17,810	04,503
		53,260	15,710	04,485

$= 48^m04{,}695^s - 48^m04{,}602^s$

$\Delta T = +0{,}093^s$

$T'_н$	48 04,489
Поправка	+0,113
$T_н$	48 04,602

расстояние главного объектива 1200 мм. Редуктор прибора позволяет изменить скорость движения звезды и устанавливать ее равной 16,1, 7,8, 3,2 секунды дуги за секунду времени.

В процессе движения каретки со звездой по винту осуществляется саморегистрация (табл. 10.3) положения каретки во времени — два раза в прямом и два раза в обратном направлениях движения каретки. Из полученных четырех отсчетов времени образуют средний $T_{зв}$ момент саморегистрации звезды в приеме. Одновременно наблюдатель, выполняющий измерения с комплектом своей аппаратуры, получает наблюденный им момент $T_н$ регистрации звезды. Разность $\Delta T = T_{зв} - T_н$, исправленная за мертвый ход винта звезды, представляет собой личную поправку наблюдателя. Средняя квадратическая погрешность измерения момента $T_{зв}$ не превышает $\pm 0{,}002$ с.

10.14. АЗИМУТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕОДОЛИТОВ

Азимутальный стенд предназначен для определения суммарной поправки астрономического теодолита, обусловленной неправильностями работы его горизонтальной оси и боковым гнутием трубы. На этом стенде можно выполнять исследования

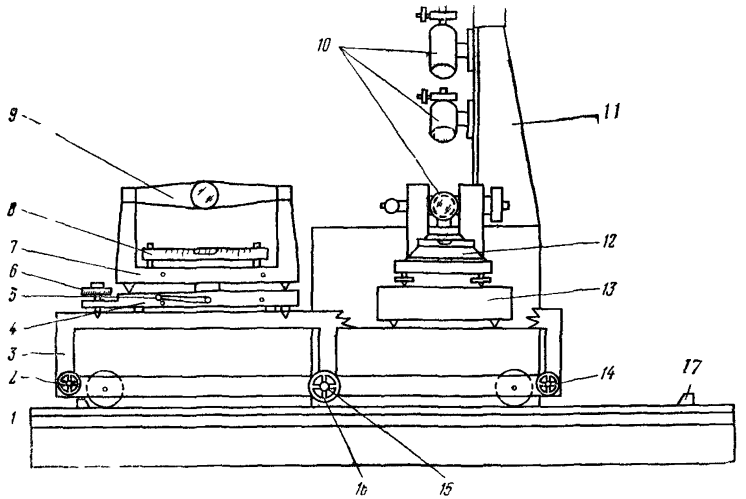


Рис. 10.48. Схема азимутального стенда

астрономических теодолитов любого типа по методике, изложенной в 11.18.

Поправка в азимут, определенный в поле, получается как разность между углом, измеренным эталонным прибором и испытуемым теодолитом. Схема азимутального стенда приводится на рис. 10.48.

Эталонный прибор представляет собой пассажный инструмент с плоским зеркалом, закрепленным на горизонтальной оси. Основными его узлами являются:

рельсовый путь *1* для перемещения тележки *3*;

основание, включающее в себя механизм перекладки подставки горизонтальной оси на 180° и устройство для горизонтирования;

подставка *7*, являющаяся опорой горизонтальной оси и несущая цилиндрический жидкостный уровень *8*, по отсчетам которого определяют наклон в процессе измерений;

горизонтальная ось длиной 650 мм *9*. Для выполнения измерений в центральной части оси закреплено зеркало. С целью уменьшения влияния систематической погрешности эталонного прибора на результаты измерения угла, в комплект азимутального стенда входят две горизонтальные оси, имеющие различную конструкцию крепления зеркал. Зеркала также разной формы: в одной оси — плоское зеркало, имеющее двустороннее покрытие, во второй — призма с зеркальным покрытием одного из катетов. Юстировочные приспособления исключают деформацию отражающей поверхности зеркала при исправлении коллимационной ошибки. Для исследования неправильностей фигур цапф эталонной оси имеется специальное приспособление, позволяющее закреплять интерферометр или пружинную головку над рабочими сечениями. В нерабочем положении инструмент покоится на рычагах подъемного механизма тележки.

Для приведения эталонного прибора в рабочее положение, вращая штурвал *14*, поднимают плиту с испытуемым теодолитом *13* на рычаги подъемного механизма тележки и, вращая штурвал *16* по часовой стрелке, передвигают тележку до ограничителя *17*; фиксируют тележку и, вращая штурвал *2*, опускают прибор на подпятники, зацементированные на столбе.

Затем выполняют поверку перпендикулярности оси цилиндрического уровня к вертикальной оси вращения и горизонтируют инструмент. Для этого, действуя винтом *6*, приводят пузырек уровня на середину, поворачивая рычаг *5* по часовой стрелке, приподнимают подставку над основанием *4*, разворачивают ее на 180° и аккуратно возвращая рычаг *5* в исходное положение, опускают подставку на основание. Если пузырек уровня уйдет от середины, то половину уклонения исправляют, действуя винтом *6*, а другую половину — юстировочными винтами уровня. Поверку повторяют до тех пор, пока уклонение пузырька от середины не будет превышать одного деления.

После горизонтирования выполняют определение и юстировку коллимационной ошибки зеркала. Эту юстировку производят, используя отсчеты окулярного микрометра горизонтального коллиматора. Коллиматор АК 0,25 оборудован автоколлимационным окуляром, который показан на рис. 10 49 и 10.50.

Подготовка азимутального стенда к работе выполняется в следующем порядке.

Основные технические характеристики АК 0,25

Фокусное расстояние объектива, мм	1000
Фокусное расстояние окуляра, мм	14
Увеличение трубы	70×
Цена оборота счетного барабана окулярного микрометра	52″

Производят фокусировку горизонтального коллиматора по отраженному изображению сетки нитей от зеркала эталонного *инструмента. Для этого, вдвигая или выдвигая окуляр, добива*ются четкого изображения сетки нитей, а затем, ослабив закрепительные винты тубуса микрометра, перемещают его в полости трубы до получения четкого изображения отраженной сетки нитей. Яркость отраженного изображения и равномерность освещения достигается вращением юстировочных винтов, расположенных над окуляром.

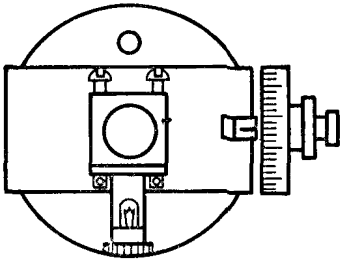


Рис. 10.49. Микрометр с автоколлимационным окуляром

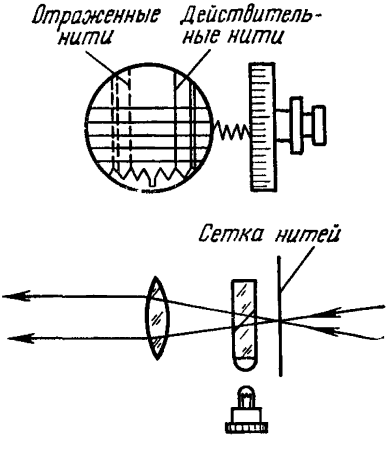


Рис. 10.50. Поле зрения микрометра и ход лучей в автоколлимационном окуляре

Определяют коллимационную ошибку зеркала эталонного прибора. Для этого совмещают действительное и отраженное изображения сетки нитей и берут отсчет M_1. Перекладывают ось на 180°, наводят зеркало на тот же коллиматор, совмещают действительное и отраженное изображения и берут отсчет M_2. Вычисляют средний отсчет $(M_2+M_1)/2$ и устанавливают шкалу окулярного микрометра на этот отсчет. При этом действительное и отраженное изображения сетки нитей разойдутся. Сведение изображений выполняют юстировочными винтами зеркала.

Устанавливают коллиматоры *10* (см. рис. 10.48), закрепленные на колонне *11* на зенитные расстояния, необходимые для определения поправки. Перемещение коллиматоров по колонке производят после открепления винтов, расположенных у объектива; после установки эти винты закрепляют.

Поднимают на подъемные рычаги тележки эталонный прибор и, освободив фиксатор *15*, вращением штурвала *16* против

часовой стрелки перемещают тележку до левого ограничителя. Выбирают соответствующую исследуемому теодолиту плиту и устанавливают ее на подъемные рычаги тележки. Вращая штурвал *14*, опускают плиту на столб и устанавливают на нее теодолит *12*, который центрируют относительно горизонтального коллиматора по выходному зрачку (выходной зрачок, рассматриваемый через лупу, должен иметь форму правильной окружности). Центр вращения теодолита вокруг вертикальной оси должен совпадать с центром вращения эталонного прибора с погрешностью не больше ±5 мм. Теодолит горизонтируют, исправляют коллимационную ошибку трубы и угол между вертикальной и горизонтальной осями (неравенство подставок), наводят на верхние коллиматоры и устанавливают их так, чтобы выходной зрачок имел форму правильной окружности.

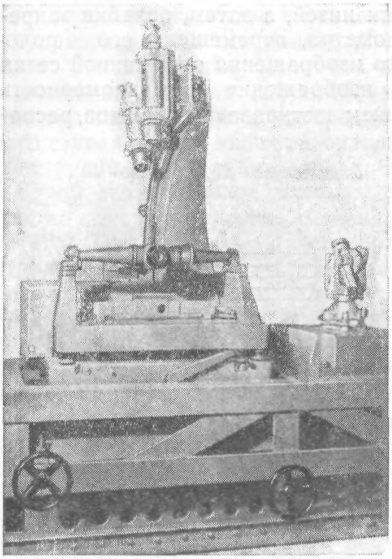


Рис. 10.51. Азимутальный стенд

Проверяют и при необходимости исправляют наклон подвижных нитей коллиматоров. При этом наводят перекрестием сетки нитей теодолита на вертикальную нить коллиматора, расположенную на 15′ выше средней горизонтальной нити, и снимают отсчет по лимбу горизонтального круга теодолита *a*. Опускают трубу теодолита на 30′ вниз, наводят на вертикальную нить коллиматора и берут отсчет *b*. Вычисляют средний отсчет $(a+b)/2$ и поворотом алидады горизонтального круга теодолита устанавливают на лимбе вычисленный отсчет. Затем, наблюдая в коллиматор, поворачивают его окулярный микрометр так, чтобы вертикальная нить совпала с перекрестием нитей теодолита. Эту поверку выполняют для горизонтального коллиматора.

Устанавливают между коллиматорами малый (не более 20″) горизонтальный угол. Установка этого угла производится по зеркалу эталонного инструмента. Установив инструмент на столб, его тщательно горизонтируют (коллимационная ошибка зеркала и неравенство подставок должны быть минимальными), устанавливают зеркало по биссектрисе угла между горизонтальным и средним коллиматорами (при этом в поле зрения

горизонтального коллиматора будет видно изображение нитей сетки среднего коллиматора) и, действуя юстировочными винтами, расположенными вблизи окуляра среднего коллиматора, совмещают нуль-пункт его гребенки с нуль-пунктом гребенки горизонтального коллиматора. Затем поворотом коробки микрометра устанавливают вертикальную нить параллельно вертикальной нити горизонтального коллиматора. Такую же операцию выполняют с верхним коллиматором.

Устанавливают на столб испытуемый теодолит и измеряют зенитные расстояния центральной горизонтальной нити коллиматоров.

Внешний вид азимутального стенда ЦНИИГАиК показан на рис. 10.51.

Эталонный угол между коллиматорами этого стенда измеряется с погрешностью $\pm 0{,}1''$, а азимутальная поправка теодолита определяется с погрешностью около $\pm 0{,}3''$.

10.15. КРУГОВАЯ ПОЗИЦИОННАЯ ШКАЛА И МЕТОДИКА ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Круговая позиционная шкала (см. рис. 10.19, *а*) используется при наблюдениях наклонных прохождений звезд, когда возникает необходимость в устранении влияния наклона подвижной нити контактного микрометра. С этой же целью в АУ 2/10 натянуты координатные нити, а в теодолите Вильд Т4 используют сетку параллельных нитей и подвижную нить. Перемещением их достигают того, что наблюдаемая звезда при своем суточном движении проходит через центр поля зрения «0» теодолита; кроме того, при правильной юстировке микрометра моменты наблюдений, регистрируемые на протяжении двух центральных оборотов винта, соответствуют попарно симметричным положениям звезды относительно центра. Выполнением этих условий влияние наклона исключается в среднем из наблюдений на симметричных контактах, иначе говоря, наблюдения каждой звезды приводятся к одной и той же точке подвижной нити микрометра, совпадающей с центром поля при положении нити в нуль-пункте.

Как при применении позиционной шкалы, так и метода координатных нитей требуются позиционные углы звезд; они нужны и при выполнении наблюдений в условиях полярного дня, когда становится необходимым знать заранее, в какой части поля зрения трубы (установленной по эфемеридным z, a) появится звезда при своем суточном движении. Для установления связи между суточным движением звезды в действительности и наблюдаемым в поле зрения трубы теодолита надо учитывать три фактора: условие счисления позиционных углов, вид изображения звезды в поле зрения (прямое, обращенное), направление вращения сетки при вращении трубы вокруг горизонтальной оси теодолита.

Если смотреть на небесную сферу так, как это имеет место при наблюдении светила, т. е. изнутри, позиционный угол его отсчитывается против хода часовой стрелки от вертикала (направление на зенит) до суточной параллели (направление, противоположное суточному движению, т. е. направление, указывающее, откуда приходит светило в данную точку суточной параллели). Для вычисления позиционного угла P служит формула

$$\cos P = \cos\varphi \sin A \sec\delta.$$

Квадрант для P выбирают на основании сочетаний знаков синуса и косинуса угла. Знак $\sin P$ определяется из выражения $(\sin\varphi - \sin\delta\cos z)$.

Изображение предмета в поле зрения трубы может быть прямое или обращенное; в теодолите ДКМЗ-А изображение прямое в вертикальной плоскости и обращенное в горизонтальной плоскости, а в теодолитах Вильд Т4, АУ 2/10 наоборот. На этом основании позиционные углы в поле зрения двух первых теодолитов следует отсчитывать от верхней части вертикальной нити по ходу движения часовой стрелки, а в двух других отсчитывать от нижней части вертикальной нити также по ходу движения часовой стрелки, чтобы отсчеты у всех упомянутых теодолитов были однообразными — от верхней части вертикальной нити по ходу движения часовой стрелки,— нужно для теодолитов Вильд Т4 и АУ 2/10 предварительно изменить на 180° вычисленные позиционные углы.

Поскольку трубы астрономических теодолитов ломаные, то всякому повороту трубы в вертикальной плоскости на некоторый угол соответствует поворот на тот же угол сетки нитей, вследствие чего в общем случае сетка устанавливается наклонно. Лишь при одной установке трубы, когда она направлена в горизонт, горизонтальные нити сетки видны расположенными горизонтально, а перпендикулярные к ним, вертикальные, видны расположенными вертикально. При таком положении трубы отличают горизонтальные и вертикальные нити и производят деление поля зрения центральными нитями — горизонтальной HH' и вертикальной ZZ' — на квадранты: 1-й квадрант справа верхний (ZoH), 2-й — справа нижний (HoZ'), 3-й — слева нижний ($Z'oH'$), 4-й — слева верхний ($H'oZ$).

Для наблюдения звезд с применением позиционной шкалы надо перейти от позиционных углов P к отсчетам по шкале $P_{ш}$, учитывая ориентировку шкалы и направление оцифровки ее делений. Если деления шкалы возрастают по ходу часовой стрелки, при положении теодолита круг лево, когда подвижная нить микрометра установлена горизонтально (для зенитных наблюдений), то нуль шкалы расположен сверху. Поэтому отсчет по шкале равен позиционному углу звезды, т. е. $P'_{ш} = P$. При положении теодолита круг право нуль шкалы расположен снизу, поэтому отсчет по шкале будет отличаться от позиционного угла на 180°, т. е. $P^{R}_{ш} = P \pm 180°$. Для азимутальных наблюдений подвижную

нить устанавливают вертикально, и в этом случае при положении теодолита круг лево нуль шкалы расположен слева, при круге право — нуль справа, поэтому $P_{ш}^{L} = P + 90°$, $P_{ш}^{R} = P - 90°$. Если шкала градовая (ДКМ3-А), то для того чтобы получить отсчет в градусах, полученные отсчеты надо умножить на число $\frac{400}{360} = 1{,}11...$ Эти показания шкалы вносятся в рабочую эфемериду.

Наблюдения звезды производят следующим путем. Устанавливают трубу теодолита по эфемеридам *z*, *a*, а подвижную нить микрометра в поле зрения трубы на расстояние 1,5 оборота винта от центра поля на той стороне, на которой появится звезда при своем суточном движении. Звезду пропускают через отсчет по шкале $P_{ш}$. Этого достигают поворотом в нужном направлении алидады горизонтального круга (при помощи наводящего винта): предварительно изображение шкалы совмещают со звездой, а затем поворачивают алидаду в противоположном направлении со скоростью, позволяющей удерживать звезду на уровне внешних концов штрихов шкалы; в момент вступления звезды на отсчет $P_{ш}$ движение алидады прекращают. Если звезду наблюдают вблизи меридиана, где зенитные расстояния светил изменяются незначительно, звезду пропускают через отсчет по шкале $P_{ш}$ путем изменения положения трубы по высоте. Далее наблюдения выполняют при неподвижной трубе.

11. ИССЛЕДОВАНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕОДОЛИТОВ И ХРОНОМЕТРОВ

11.1. ОСМОТР ТЕОДОЛИТА

Осмотру подлежат все вновь приобретенные или отремонтированные, а также возвращенные после полевых работ астрономические теодолиты.

Осмотр выполняется для выяснения возможности исследования теодолита или для определения объема ремонтных работ. Перед осмотром теодолита устанавливают наличие механических повреждений укладочных ящиков и брезентовых чехлов.

Результаты осмотра оформляют протоколом, в котором должны быть отмечены тип теодолита, заводской номер и год выпуска; дата и место проведения осмотра. Также должны быть сделаны основные выводы по следующим пунктам:

1) состояние окрашенных поверхностей теодолита;

2) наличие механических повреждений кожухов и металлических деталей;

3) состояние наружных поверхностей оптических деталей;

4) равномерность освещения и чистота поля зрения зрительной трубы;

5) качество изображения сеток нитей и шкал отсчетных приспособлений;

6) надежность резьбы закрепительных и наводящих устройств;

7) состояние юстировочных винтов;

8) плавность и легкость вращения вокруг горизонтальной и вертикальной осей (приближенно определяют правильность вращения алидады горизонтального круга);

9) отсутствие люфтов в подъемных винтах;

10) наличие и состояние частей комплекта, отсутствие повреждений укладочных гнезд;

11) состояние цилиндрических и круглых уровней, качество штрихов на шкале ампулы, качество отражающей поверхности зеркал, сохранность защитного стекла;

12) состояние разгрузочных устройств горизонтальной оси;

13) надежность закрепления тубуса окулярного микрометра в окулярном колене зрительной трубы, качество вращения микрометрического винта — отсутствие люфтов и неравномерностей при его вращении;

14) исправность электропроводки и электрических выключателей;

15) отсутствие темных пятен и следов коррозии на открытых цапфах горизонтальной оси.

Осмотр теодолита выполняют визуально. Качество работы винтов и исправность электропроводки — опробованием.

Осмотр теодолита (без составления протокола) производят после транспортировки на каждом пункте в порядке подготовки его к работе.

Если в результате исследования по пункту 8 обнаружено несоответствие требованиям, то выполняют их по полной программе.

11.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЗРИТЕЛЬНОЙ ТРУБЫ

Оптические качества главной трубы астрономического прибора проверяют по наблюдениям звезды.

Выдвигая и вдвигая окуляр, наблюдают за изображением звезды. Грушевидная форма изображения звезды свидетельствует о плохой центрировке объектива.

Об остаточном влиянии сферической аберрации можно судить по изображениям дифракционных колец звезды при перемещении окуляра из фокального во внефокальное положение. Сферическая аберрация исправлена недостаточно, если при выдвинутом окуляре внутренние дифракционные кольца ярче внешних, а при вдвинутом — слабее. Сферическая аберрация имеет место также и при обратной картине, когда при выдвинутом окуляре внутренние дифракционные кольца слабее внешних, а при вдвинутом — ярче.

Спектрально окрашенные изображения звезд свидетельствуют о наличии хроматической аберрации.

При наличии астигматизма дифракционное изображение звезды имеет вид эллипса, а при перемещении окуляра изображение из сжатого в определенном направлении превращается в вытянутое

Хороший объектив дает изображение звезды в виде яркого ядра с 1—2 дифракционными кольцами правильной формы.

Для проверки качества оптики зрительной трубы достаточно выполнить пробные наблюдения звезд, количественные же данные об аберрациях объектива могут быть получены на основании специальных исследований его в лаборатории.

11.3 ПОВЕРКИ И ЮСТИРОВКИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕОДОЛИТОВ

В задачу поверок и юстировок входит выявление отступлений от геометрических и оптико-механических требований, положенных в основу конструкции теодолита, и наиболее полное устранение этих отклонений.

Для выполнения поверок и юстировок теодолит должен быть установлен на столб или столик геодезического сигнала. Установив теодолит, его необходимо отгоризонтировать, пользуясь показаниями жидкостного уровня при алидаде горизонтального круга или накладного (подвесного). Все поверки теодолитов выполняются в последовательности, перечисленной ниже.

11.3.1. Поверки и юстировки теодолита Вильд Т4

11.3.1.1. Поверка расположения оси подвесного уровня в одной плоскости с горизонтальной осью вращения зрительной трубы.

Поворотом алидады горизонтального круга устанавливают теодолит так, чтобы ось подвесного уровня была параллельна прямой, проходящей через два подъемных винта. Этими подъемными винтами приводят пузырек уровня на середину. Наклоняют раму уровня от вертикальной плоскости, проходящей через горизонтальную ось вращения трубы. В случае смещения пузырька выполняют юстировку, действуя боковыми юстировочными винтами. После выполнения юстировки поверку повторяют, переложив уровень на 180°.

11.3.1.2. Поверка параллельности оси подвесного уровня горизонтальной оси вращения.

Поворотом алидады горизонтального круга устанавливают ось подвесного уровня по направлению одного подъемного винта, которым выводят пузырек уровня на середину. Осторожно перекладывают уровень на 180°. Если пузырек уровня отклонится не более чем на одно деление, то условие параллельности считается выполненным. В противном случае пузырек приводят на середину: на половину отклонения вертикальными юстировочными винтами уровня и на вторую половину — подъемным винтом. Поверку повторяют, добиваясь выполнения условия.

11.3.1.3. Поверка перпендикулярности горизонтальной оси вращения зрительной трубы к вертикальной оси вращения теодолита.

Вращением алидады горизонтального круга устанавливают ось подвесного уровня по направлению одного из подъемных винтов, приводят пузырек уровня этим винтом на середину. Поворачивают алидаду теодолита на 180°. Если пузырек уровня отклонился от середины, то на половину дуги отклонения его приводят юстировочными винтами подставки трубы, а на вторую половину — подъемным винтом. После юстировки поверку повторяют. Величина неравенства подставок трубы не должна превышать двух делений уровня.

11.3.1.4. Поверка перпендикулярности оси талькоттовских уровней горизонтальной оси вращения трубы.

Теодолит устанавливают на лист бумаги и получают следы A, B и C подъемных винтов. Находят центр M треугольника ABC и проводят из него прямую MK, параллельную одной из сторон треугольника. Размещают лист на астрономическом столбе, прикладывают ребро визирной линейки к линии MK и, вращая лист, наводят ребро линейки на удаленную визирную цель. В этом положении бумагу на столбе закрепляют. Исследуемый теодолит устанавливают на столб так, чтобы подъемные винты совместились с точками A, B и C, горизонтируют и наводят зрительную трубу на выбранную цель. Раму с талькоттовскими уровнями скрепляют с горизонтальной осью, после чего приводят пузырек

уровня на середину ампулы элевационным винтом. Дают пузырьку успокоиться и берут отсчеты его концов по шкале. Подъемный винт теодолита, расположенный под одним из концов горизонтальной оси, на линии, перпендикулярной к направлению на визирную цель, вывинчивают на один оборот. Если ось исследуемого уровня перпендикулярна к горизонтальной оси, пузырек уровня останется на месте. Если перпендикулярность не соблюдена, пузырек сместится из первоначального положения. В этом случае его возвращают в исходное положение боковыми исправительными винтами оправы уровня, после чего поверку повторяют. Условие перпендикулярности считается выполненным, если при ввинчивании (вывинчивании) подъемного винта на один оборот отклонение пузырька от исходного положения не превышает 0,2 деления шкалы ампулы. Аналогично поверяют уровни при алидаде горизонтального круга.

11.3.1.5. Поверка взаимного расположения пузырьков талькоттовских уровней.

Теодолит горизонтируют. Фиксируют алидады горизонтального и вертикального кругов в произвольном положении. Скрепляют раму талькоттовских уровней с горизонтальной осью.

С помощью элевационного винта талькоттовских уровней приводят пузырек дальнего от трубы уровня на середину. Если пузырек ближнего к трубе уровня отклонился от середины шкалы более чем на одно деление, его приводят на середину с помощью юстировочного винта этой ампулы.

11.3.1.6. Поверка совмещения перекрестия центральных нитей сетки с осью вращения тубуса окулярного микрометра.

При вращении тубуса микрометра в полости оси в пределах квадранта, визирная ось трубы должна сохранять неизменное положение. Перед выполнением поверки фокусируют зрительную трубу на бесконечность. В лабораторных условиях для выполнения поверки используют коллиматор, в полевых — Полярную звезду. Фокусирование зрительной трубы начинают с фокусировки окуляра, вращая который добиваются четкого изображения сетки нитей. Для фокусирования зрительной трубы ослабляют два винта с рифленой головкой, завертывают до упора винт *55* (см. рис. 10.8) на торце горизонтальной оси. Микрометр вдвигают до упора. Рассматривая удаленный предмет (сетку нитей коллиматора или Полярную), медленно вывинчивают винт *55* на торце оси до тех пор, пока не будет наблюдаться четкое изображение цели.

Если при вращении тубуса микрометра перекрестие нитей сетки не сходит с визирной цели, то условие выполнено. Если при вращении микрометра перекрестие нитей описывает окружность или ее часть, то необходимо при юстировке привести его к центру окружности. Исправление выполняется двумя парами юстировочных винтов *54*, расположенных на обойме коробки мик-

рометра. Для доступа к одному из винтов *54* необходимо снять защитную крышку. При выполнении юстировки следует иметь в виду, что ввинчиванию одного винта должно предшествовать вывинчивание противолежащего; накрест расположенные винты должны быть ослаблены. По окончании юстировки все четыре юстировочных винта должны быть умеренно затянуты и проведен контроль выполнения условия.

11.3.1.7. Поверка правильности ориентирования подвижной нити сетки окулярного микрометра в двух ортогональных положениях.

Теодолит тщательно горизонтируют. Коробку микрометра разворачивают так, чтобы подвижная нить заняла приблизительно вертикальное положение. Устанавливают подвижную нить в нульпункт (10 оборотов) и наводят трубу теодолита на визирную цель.

Микрометренным винтом поворачивают трубу вокруг горизонтальной оси на угол, равный 0°14′. Наводят подвижную нить на изображение визирной цели. Берут отсчет a по шкале микрометра, поворачивают трубу на 28′ в противоположную сторону, наводят вновь подвижную нить на визирную цель и берут отсчет b по шкале микрометра. Отклонение нити от вертикального положения вычисляется по формуле

$$\psi = 2{,}9\,|\,(a - b)\,|.$$

Если ψ больше 5′, то предварительно отвернув контргайку юстировочного винта, противоположного завинченному винту *56* (см. рис. 10.8) с рифленой головкой и действуя одновременно двумя встречными юстировочными винтами, добиваются выполнения условия. Контргайку на юстировочном винте затягивают, подвертывают винт *56* и контролируют выполнение условия.

При зенитальных методах определений подвижная нить должна занимать горизонтальное положение. Перед поверкой теодолит тщательно горизонтируют. Отвинчивают и вынимают юстировочные винты *56*. Поворачивают микрометр против часовой стрелки до упора и завинчивают юстировочный винт *56*, расположенный параллельно оси привода микрометра. Устанавливают подвижную нить вблизи неподвижной горизонтальной нити.

Определение наклона нити выполняют так же, как указано выше, но трубу разворачивают в горизонтальном направлении. Если ψ больше 5′, выполняют юстировку и повторяют поверку.

11.3.1.8. Поверка коллимационной ошибки зрительной трубы теодолита.

Перед выполнением поверки теодолит тщательно горизонтируют. Устанавливают и закрепляют окулярный микрометр как для наблюдения азимутальными методами. Наводят перекрестие центральных неподвижных нитей на выбранную в горизонте визирную цель при круге лево и круге право, беря при этом отсчеты по горизонтальному кругу. Коллимационная ошибка вычисляется по формуле $C = 0{,}5 \cdot [МЛ - (МП \pm 180°)]$.

Если коллимационная ошибка более 20″, производят юстировку. Для этого отвинчивают два винта крышки люка на кубе зрительной трубы и снимают крышку. Алидаду горизонтального круга устанавливают на отсчет (*МП*+*С*) или (*МЛ*—*С*). При этом перекрестие центральных неподвижных нитей сместится относительно изображения визирной цели. Вращением двух встречных юстировочных винтов в люке на кубе зрительной трубы разворачивают зеркало так, чтобы пересечение нитей совместилось с изображением визирной цели. Закрывают люк крышкой, завинчивают винты крепления крышки и производят контрольное определение коллимационной ошибки зрительной трубы.

11.3.1.9. Поверка места зенита основного вертикального круга.

Перед поверкой теодолит горизонтируют. Положение окулярного микрометра сохраняют таким же, как и при поверке коллимационной ошибки.

Наводят перекрестие центральных неподвижных нитей на выбранную визирную цель при круге лево (КЛ) и круге право (КП), каждый раз совмещая концы пузырька контактного уровня установочным винтом алидады вертикального круга и беря отсчеты по вертикальному кругу. Место зенита и зенитное расстояние вычисляют в соответствии с 2.7.

Для исправления MZ совмещают концы пузырька контактного уровня и при положении теодолита круг лево винтом перестановки вертикального круга устанавливают отсчет, равный *Z*. После этого поверку повторяют. Место зенита не должно превышать 30″.

11.3.1.10. Поверка места зенита вертикального круга-искателя.

Зрительную трубу теодолита закрепляют в произвольном положении. Совмещают концы пузырька контактного уровня и берут отсчет по основному кругу. На этот же отсчет устанавливают алидаду вертикального круга-искателя. Пузырек уровня при алидаде этого круга приводят на середину юстировочным винтом уровня.

11.3.1.11. Поверка правильности установки контактного цилиндра окулярного микрометра.

При установке подвижной нити на штрих 10 отсчет по шкале контактного микрометра должен быть равен 0. При этом среднее из отсчетов в моменты замыкания и размыкания цепи микрометра при прохождении среднего контакта, расположенного между двумя маркированными контактами, должно быть равно 0 (100).

Устанавливают подвижную нить микрометра на штрих 10. Если при этом отсчет по шкале равен 0, то первая часть условия выполнена. Если отсчет не равен 0, то специальным ключом ослабляют круглую гайку на головке микрометрического винта микрометра и устанавливают отсчет, равный 0. Затем завинчивают круглую гайку, не изменяя отсчета.

В цепь контактного микрометра включают регистратор. Устанавливают подвижную нить микрометра по шкале в окуляре

в положение между штрихами 9 и 10. Вращая микрометрический винт, замечают отсчеты (до 0,1 деления) по шкале при замыкании цепи микрометра средним контактом в прямом и обратном направлениях. Наблюдения повторяют несколько раз. Полусумма отсчетов в направлениях прямо и обратно должна составлять $100 \pm 0{,}5$ деления.

Если это условие не выполняется, то необходимо повернуть контактный цилиндр относительно отсчетного. Для этого тубус микрометра вынимают из полости горизонтальной оси, предварительно отвернув и вынув юстировочные винты *56* (см. рис. 10.8) с рифленой головкой, а также совместив направляющую рейку на тубусе с вырезом в полости оси. Для исключения попадания пыли горизонтальную ось и тубус закрывают пробками или тампонами из ткани. Специальным ключом открепляют круглую гайку на головке микрометрического винта микрометра, снимают головку и отсчетный цилиндр с микрометрического винта. Отвернув шесть винтов, снимают защитный кожух контактного цилиндра. Ослабляют закрепительный винт на его втулке. Устанавливают подвижную нить микрометра на штрих 10, а носик неподвижного контакта на середину среднего контакта; завинчивают закрепительный винт контактного цилиндра; надевают отсчетный цилиндр, установив отсчет 0; надевают головку и завертывают круглую гайку. Производят ранее описанную поверку положений цилиндров, начиная с отсчетного. Если условие выполняется, то снимают гайку, головку, отсчетный цилиндр, надевают защитный кожух. Производят полную сборку, после чего повторяют поверку.

11.3.2. Поверки и юстировки теодолита ДКМ3-А

11.3.2.1. Поверка перпендикулярности оси уровня при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси вращения.

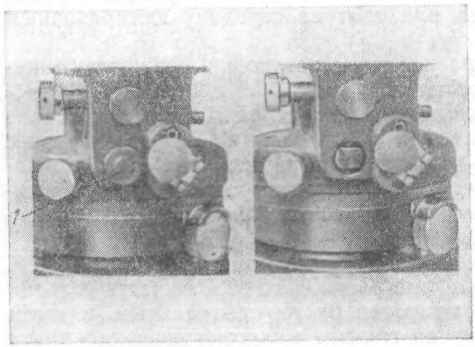


Рис. 11.1. Доступ к юстировочным винтам уровня при алидаде горизонтального круга теодолита ДКМ3-А

Поворотом алидады устанавливают теодолит так, чтобы ось уровня была параллельна прямой, проходящей через два подъемных винта. Этими винтами приводят пузырек уровня на середину. Поворачивают алидаду на 180° и берут отсчеты по концам пузырька. Если пузырек уровня отклонился от середины, то половину величины его отклонения исправляют юстировочными винтами уровня, а вторую половину — подъемными винтами. Теодолит горизонтируют и повторяют поверку. Для

доступа к юстировочным винтам отвинчивают заглушку *1* (рис. 11.1).

Величина отклонения пузырька уровня от середины после поворота алидады на 180° не должна превышать одного деления.

11.3.2.2. Поверка перпендикулярности оси накладного уровня к вертикальной оси вращения теодолита.

После выполнения поверки и юстировки, приведенной в пункте 11.3.2.1, теодолит горизонтируют по показаниям уровня при алидаде горизонтального круга с ценой деления $\tau = 10''$. В случае выполнения перпендикулярности оси накладного уровня к вертикальной оси, пузырек останется на середине ампулы. При необходимости юстировки ослабляют контргайку *2* юстировочного винта (рис. 11.2) и два боковых винта, расположенных на металлической оправе уровня со стороны нуля шкалы ампулы и, действуя винтом *1*, выводят пузырек на середину.

После этого выполняют юстировку аналогично п. 11.3.2.1. Величина отклонения пузырька уровня от середины после поворота на 180° не должна превышать 1 деления. После окончания юстировки завинчивают до упора боковые винты и контргайку *2*.

11.3.2.3. Поверка взаимного расположения пузырьков талькоттовских уровней.

Снимают противовес, для чего отвертывают три невыпадающих винта и аналогичными винтами рамы талькоттовского уровня закрепляют раму на место противовеса. Горизонтируют теодолит и фиксируют алидады горизонтального и вертикального кругов в произвольном положении закрепительными винтами.

Ослабляют контргайку юстировочного винта и боковой винт ближнего к трубе талькоттовского уровня. Закрепительным винтом жестко скрепляют раму талькоттовских уровней с горизонтальной осью.

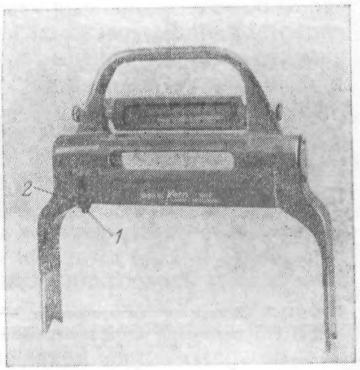


Рис. 11.2. Накладной уровень теодолита ДКМ3-А

С помощью элевационного винта *32* (см. рис. 10.17) приводят пузырек дальнего от трубы уровня на середину. Если пузырек ближнего к трубе уровня отклоняется от середины шкалы более чем на одно деление, его приводят на середину с помощью юстировочного винта этого уровня. По окончании юстировки завинчивают до упора боковой винт и контргайку юстировочного винта. Поверку повторяют. Отсчеты по пузырькам уровней должны быть согласованы в пределах одного деления.

11.3.2.4. Поверка правильности ориентирования подвижной нити окулярного микрометра в двух ортогональных положениях.

Поверку выполняют по методике, приведенной в 11.3.1.7.

1. При азимутальных методах определений подвижная нить микрометра при установке трубы в горизонте должна занимать вертикальное положение.

Перед поверкой теодолит тщательно горизонтируют, устанавливают микрометр в фиксированное положение поворотом по часовой стрелке до упора и фиксируют закрепительным винтом *36* (см. рис. 10.17). Устанавливают подвижную нить вблизи неподвижной вертикальной нити.

Отклонение нити от вертикального положения вычисляется по формуле

$$\psi = 2{,}3\,|(a - b)|.$$

Если ψ больше 5′, то ослабляют винт *36* и закрепительный винт, расположенный около головки фокусирования зрительной трубы, и, вращая ограничительный винт, добиваются, чтобы ψ было меньше 5′. По окончании юстировки завинчивают винты и повторяют поверку.

2. При зенитальных методах определений подвижная нить окулярного микрометра должна занимать горизонтальное положение.

Поверку, юстировку и вычисления выполняют аналогично.

11.3.2.5. Поверка коллимационной ошибки зрительной трубы теодолита.

Перед выполнением поверки теодолит тщательно горизонтируют. Наводят перекрестие центральных неподвижных нитей на выбранную в горизонте визирную цель при круге лево (КЛ) и круге право (КП), делая при этом отсчеты по горизонтальному кругу (МЛ и МП). Коллимационную ошибку вычисляют по формуле 11.1.

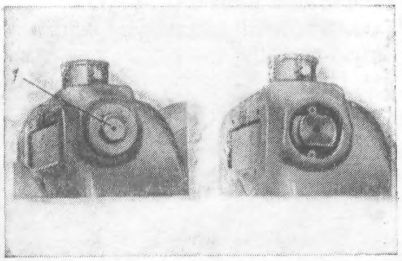


Рис. 11.3. Доступ к юстировочным винтам уровня при алидаде вертикального круга теодолита ДКМ3-А

Конструкцией теодолита не предусмотрена юстировка коллимации теодолита в полевых условиях. Допустимая величина коллимации |20″|.

11.3.2.6. Поверка места зенита вертикального круга.

Перед поверкой теодолит горизонтируют. Наводят перекрестие центральных нитей на выбранную визирную цель при круге лево (КЛ) и круге право (КП), каждый раз совмещая концы пузырька уровня при алидаде вертикального круга и делая отсчеты по вертикальному кругу.

Вычисляют зенитное расстояние Z и место зенита MZ в соответствии с 2.7.

Если MZ более 30″, отвертывают заглушку *1* (рис. 11.3) юстировочных винтов уровня при алидаде вертикального круга.

При наведении зрительной трубы теодолита на ту же визирную цель устанавливают алидаду вертикального круга на отсчет Z для круга лево или $360° - Z$ для круга право. Совмещают концы пузырька контактного уровня исправительными винтами уровня. Ввинчивают резьбовую пробку и повторяют поверку.

11.3.2.7. Поверка оптического центрира.

Поверку выполняют, вращая алидаду горизонтального круга.

Юстировка оптического центрира конструкцией теодолита ДКМ-3А не предусмотрена.

11.3.2.8. Поверка перпендикулярности осей талькоттовских уровней к горизонтальной оси вращения теодолита.

Поверка выполняется так же для теодолита Вильд Т4 одновременно для двух уровней (пункт 11.3.1.4).

11.3.3. Поверки и юстировки теодолита АУ 2/10

11.3.3.1. Поверка расположения оси накладного уровня в одной плоскости с горизонтальной осью вращения.

Выполняют по методике пункта 11.3.1.1. Исправление выполняют боковыми юстировочными винтами.

11.3.3.2. Поверка параллельности оси накладного уровня горизонтальной оси вращения трубы.

Выполняется по методике пункта 11.3.1.2. Исправление выполняют юстировочными винтами и подъемным винтом.

11.3.3.3. Поверка перпендикулярности горизонтальной оси вращения зрительной трубы к вертикальной оси вращения теодолита.

Выполняется по методике пункта 11.3.1.3. Исправление выполняют юстировочными винтами подставки трубы и на половину — подъемным винтом. Юстировку выполняют несколько раз до полного исправления неравенства подставок. Допускается неравенство подставок, вызывающее смещение пузырька уровня не более чем на одно деление.

11.3.3.4. Поверка угла между микроскопом-микрометрами.

Угол между микроскоп-микрометрами горизонтального круга должен лежать в пределах $180° \pm 10''$. Исправление угла выполняется следующим образом:

вращением микрометра микроскопа А устанавливают биссектор в нуль-пункте гребенки и, удерживая микрометрический винт от вращения, устанавливают шкалу на отсчет 0. Наводящим винтом алидады точно наводят биссектор микроскопа А на любой градусный штрих, например 0;

совмещают в микроскопе Б исправительным винтом гребенки нуль-пункт со штрихом 180°. Вращением винта микрометра Б совмещают биссектор микроскопа со штрихом 180°. Удерживая от вращения микрометрический винт, устанавливают шкалу на отсчет 0.

Проверяют выполнение условия на диаметре 90—270°.

11.3.3.5. Поверка коллимационной ошибки зрительной трубы.

Перед выполнением поверки теодолит горизонтируют, зрительную трубу фокусируют на бесконечность. Фокусировку трубы начинают с фокусировки окуляра: вдвигая или выдвигая окуляр

добиваются, чтобы нити в поле зрения трубы были четкими. Для фокусировки трубы отпускают закрепительный винт тубуса окулярного микрометра и перемещают тубус в полости трубы. Получив отчетливое изображение удаленной визирной цели, винт закрепляют. Ослабив винты *29* (см. рис. 10.2), поворачивают коробку микрометра, устанавливая подвижную нить в вертикальное положение. Закрепив винты *29*, устанавливают подвижную нить микрометра в нуль-пункт гребенки, а шкалу — на отсчет 0.

Наводят трубу на удаленную визирную цель, расположенную на горизонте при КЛ, берут отсчет по микроскоп-микрометрам $МЛ_А$ и $МЛ_Б$ и вычисляют направление

$$МЛ = \frac{МЛ_А + (МЛ_Б \pm 180°)}{2}.$$

Затем зрительную трубу переводят через зенит, наводят на ту же цель и снова берут отсчеты по микроскоп-микрометрам $МП_А$ и $МП_Б$ и вычисляют направление

$$МП = \frac{МП_А + (МП_Б \pm 180°)}{2}.$$

Коллимационную ошибку зрительной трубы теодолита вычисляют по формуле 11.1.

Если $С > 10''$, то производят юстировку визирного устройства. Для этого вычисляют установочный отсчет $МЛ'_А$, если теодолит наведен на визирную цель при круге лево, или $МП'_Б$ при круге право по формулам:

$$МЛ'_А = МЛ + (МП \pm 180°) - (МЛ_Б \pm 180°);$$

$$МП_А = МП + (МЛ \pm 180°) - (МП_Б \pm 180°).$$

Действуя наводящим винтом алидады горизонтального круга, устанавливают по микроскопу А отсчет $МЛ'_А$, если труба теодолита наведена на визирную цель при положении круг лево, или $МП'_А$, если при круге право. При этом подвижная нить окулярного микрометра сместится относительно изображения визирной цели. Вращением винта окулярного микрометра подвижную нить снова наводят на цель. Придерживая головку винта, чтобы он не вращался, шкалу микрометра устанавливают на 0 Затем исправительной гайкой гребенки окулярного микрометра нуль-пункт гребенки подводят к подвижной нити. После исправления коллимационной ошибки для контроля определяют ее снова.

11.3.3.6. Поверка места зенита вертикального круга

Для определения места зенита теодолит горизонтируют, выбирают удаленный земной предмет, визируют на него при двух положениях круга, каждый раз предварительно приведя установочным винтом *18* (см. рис. 10.1) пузырек уровня при алидаде вертикального круга на середину, отсчитывают по вертикальному кругу. По формуле

$$Z = (МЛ - МП) / 2$$

или ей аналогичной (см. 2.7) вычисляют зенитное расстояние визирной цели.

При наведенной зрительной трубе на ту же визирную цель устанавливают алидаду вертикального круга на отсчет Z для круга лево или $360° - Z$ — для круга право. Пузырек уровня при алидаде вертикального круга исправительными винтами при уровне переводят на середину. Поверку повторяют. Место зенита вычисляют в соответствии с 2.7.

MZ не должно превышать $30''$.

11.3.3.7. Поверка правильности установки контактного цилиндра окулярного микрометра.

При положении подвижной нити в нуль-пункте гребенки отсчет по шкале окулярного микрометра должен быть равен нулю. Если это условие не выполнено, то, удерживая подвижную нить в нуль-пункте гребенки, вращением головки со шкалой *3* (см. рис. 10.3) устанавливают его на нулевой отсчет. Исправительным винтом гребенки выводят нуль-пункт на подвижную нить сетки.

Перед определением поправок хронометра контактный микрометр регулируют так, чтобы при положении штифта, касающегося выступов цилиндра контактного микрометра на середине опознавательного контакта, подвижная нить микрометра находилась посередине между двумя парами сближенных координатных нитей.

Эта регулировка выполняется следующим образом:

1) поворачивают коробку микрометра так, чтобы подвижная нить была вертикальной. Коллимацию этой нити приводят к величине, близкой к нулю. (см. пункт 11.3.3.5), а нуль-пункт гребенки совмещают с нитью;

2) определяют расстояние между координатными парами нитей в оборотах винта контактного микрометра; для этого подвижную нить трижды наводят на биссектор каждой пары нитей, отсчитывают каждый раз по шкале микрометра. Расстояние f должно быть определено с погрешностью, не превышающей одного деления шкалы;

3) определяют отсчет НП (нуль-пункт микрометра) по шкале головки, соответствующей установке штифта на середину опознавательного контакта. Для определения нуль-пункта микрометр соединяют с регистрирующим устройством и в моменты размыкания и замыкания цепи берут отсчеты по шкале. Среднее из трех пар отсчетов принимают за величину нуль-пункта микрометра, которую нужно знать с точностью до одного деления;

4) к полученному значению нуль-пункта прибавляют или вычитают половину расстояния между биссекторами координатных нитей.

Если поставленное выше условие выполнено, то величина

$$\gamma = \text{НП} \pm \frac{1}{2} f$$

должна соответствовать отсчету по шкале микрометра при наведении подвижной нити на биссектор соответствующей пары координатных нитей. Если при этом подвижная нить не совпадает

с одним из координатных биссекторов на величину больше одного деления, то цилиндр со шкалой вместе с контактным барабаном и кольцевой цилиндрической шестерней следует повернуть на величину несовпадения. Окончательная установка достигается несколькими приближениями.

В некоторых экземплярах контактных микрометров счетный цилиндр не вращается на оси микрометренного винта. В таких микрометрах для выполнения указанной выше регулировки шкалу устанавливают на отсчет γ, затем винтом, служащим для перемещения гребенки в поле зрения трубы, совмещают соответствующую пару координатных нитей с подвижной нитью микрометра.

11.3.3.8. Поверка перпендикулярности оси талькоттовского уровня к горизонтальной оси вращения.

Выполняется так же, как для теодолита Вильд Т4.

11.3.3.9. Поверка правильности ориентирования подвижной нити окулярного микрометра в двух ортогональных положениях.

Выполняется так же, как и для теодолитов Вильд Т4 и ДКМ3-А, но отклонение подвижной нити от вертикального положения и ее наклон вычисляют по формуле $\psi = 2{,}2\,|\,(a - b)\,|$. Юстировку выполняют вращением поворотного винта для приведения подвижной нити микрометра в горизонтальное положение, открепив предварительно винты соединения микрометра и закрепив винтом приспособление.

11.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ОТСЧЕТНЫХ МИКРОСКОПОВ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ТЕОДОЛИТОВ

11.4.1. Определение погрешностей отсчетных микроскопов оптических теодолитов

Погрешности отсчетного микроскопа определяют измерением малого угла β, примерно равного 0,5′ и целое число раз укладывающегося в длине шкалы отсчетных микроскопов.

Угол β образуют с помощью коллиматора, имеющего подвижную нить и параллельную последней неподвижную. Перед началом определений теодолит и коллиматор устанавливают примерно на одной высоте. Подвижный биссектор микрометра главной трубы испытуемого теодолита (при его отсутствии биссектор образуют подвижной и неподвижной нитями) устанавливают вертикально и добиваются параллельности биссектора и нитей коллиматора. Пользуясь отсчетным микроскопом исследуемого теодолита, устанавливают на коллиматоре, перемещая подвижную нить его сетки, величину угла β. Одно направление будет задаваться неподвижной нитью, а другое подвижной.

Собственно определение погрешностей отсчетного микроскопа заключается в следующем. Наводящим винтом алидады совмещают биссектор микрометра испытуемого теодолита с левой нитью коллиматора. По шкале микроскопа устанавливают отсчет 0′00″ или чуть больше. Перестановкой горизонтального круга добиваются совмещения двух диаметрально противоположных рабочих штрихов круга. Наводящим винтом точно наводят биссектор на левое направление и дважды отсчитывают

по шкале исследуемого микроскопа. С помощью наводящего азимутального винта точно наводят теодолит на правую нить и дважды отсчитывают по шкале. На этом исследовании первого интервала шкалы отсчетного микроскопа заканчивается.

Таблица 11.1

Определение угла β

Теодолит ДКМ3-А

Прием 1

Интервал шкалы	Прямой ход		Угол	Обратный ход		Угол β	Средний угол β
	левая нить	правая нить		левая нить	правая нить		
0,0—0,5′	1,0″ 0,9 0,95	29,9″ 30,5 30,20	29,25″	0,0″ 0,2 0,10	30,1″ 30,7 30,40	30,30″	29,78″
0,5—1,0′	30,2 30,0 30,10	59,6 59,8 59,70	29,60	30,1 30,1 30,10	1′00,1″ 00,3 1 00,20	30,10	29,85
1,0—1,5	1′00,0″ 00,4 1 00,20	1′30,0″ 30,1 1 30,05	29,85	59,3 59,6 59,45	1 29,6 29,7 1 29,65	30,20	30,02
1,5—2,0	1′29,9″ 29,5 1 29,70	2 00,4 00,2 2 00,30	30,60	1′28,4″ 28,5 1 28,45	1 58,0 58,1 1 58,05	29,60	30,10
2,0—2,5	2′00,2″ 1 59,9 2 00,05	2 29,5 29,6 2 29,65	29,60	1 59,9 2 00,4 2 00,15	2 30,3 30,1 2 30,20	30,05	29,82
2,5—3,0	2′29,3″ 28,9 29,10	2 59,9 59,7 59,80	30,70	2 31,2 31,2 31,20	3 00,8 01,2 3 01,00	29,80	30,25
3,0—3,5	3′00,00″ 00,3 3 00,15	3 30,0 30,0 3 30,00	29,85	3 01,3 01,0 3 01,15	3 31,1 30,9 3 31,00	29,85	29,85
3,5—4,0	3′30,6″ 31,0 3 30,80	4 00,5 00,4 4 00,45	29,65	3 28,3 28,6 3 28,45	3 58,1 57,9 3 58,00	29,55	29,60
4,0—4,5	4′00,3″ 00,3 4 00,30	4 30,5 30,1 4 30,30	30,00	3 59,8 59,6 3 59,70	4 29,4 29,4 4 29,40	29,70	29,85
4,5—5,0	4′29,7″ 29,8 4 29,75	4 59,3 59,5 4 59,40	29,65	4 30,0 29,9 4 29,95	4 59,9 59,5 4 59,70	29,75	29,70

Следует следить за тем, чтобы в ходе исследования каждого отдельного интервала подвижный биссектор микрометра исследуемого теодолита занимал неизменное положение.

Для перехода к исследованию следующего интервала теодолит вновь приближенно наводят на левую нить и, не изменяя отсчетов по шкале микроскопа, перестановкой круга совмещают диаметрально противоположные штрихи. Затем (уже точно) наводят трубу теодолита сначала на левую, а затем на правую нить коллиматора, каждый раз производя отсчеты по шкале. Таким образом проходят всю шкалу исследуемого отсчетного микроскопа в прямом и обратном ходах. Указанные действия составляют один прием. Всего таких приемов выполняют два, причем между приемами круг переставляют на произвольный угол. Запись ведут в соответствии со схемой, приведенной в табл. 11.1.

Таблица 11.2

Вычисление средних уклонений

Номер интервала	1 прием		2 прием		$v_{ср}$
	угол	v	угол	v	
1	29,78″	+0,10″	29,98″	+0,06″	+0,08″
2	29,85	+0,03	30,05	—0,01	+0,01
3	30,02	—0,14	29,90	+0,14	0,00
4	30,10	—0,22	29,55	+0,49	+0,14
5	29,82	+0,06	30,48	—0,44	—0,19
6	30,25	—0,37	29,98	+0,06	—0,16
7	29,85	+0,03	30,10	—0,06	—0,02
8	29,60	+0,28	29,78	+0,26	+0,27
9	29,85	+0,03	30,50	—0,46	—0,22
10	29,70	+0,18	30,12	—0,08	+0,05
	29,88		30,04		

Для каждого приема вычисляют среднее значение угла и уклонения от среднего (табл. 11.2). Затем уклонения, полученные для соответствующих интервалов шкалы в первом и втором приемах, усредняют. Средние значения уклонений для теодолитов, предназначенных для астроопределений на пунктах Лапласа, не должны превышать по абсолютной величине 0,3″.

Помимо исследования изложенного выше определяют мертвый ход отсчетного микроскопа. Для этого совмещают штрихи круга дважды: вращая головку винта микроскопа сначала по часовой (ввинчивание), а затем против часовой стрелки (вывинчивание). Между отдельными установками алидаду теодолита переставляют на 15°, а шкалу микроскопа на 12″. Для каждой установки круга образуют разность отсчетов: «ввинчивание» минус «вывинчивание». Находят среднюю величину разностей, характеризующую систематическую часть мертвого хода (табл. 11.3) отсчетного микроскопа, а по уклонениям от среднего —ошибку определения мертвого хода. Отдельные уклонения не должны превышать 0,5″ по абсолютной величине, а среднее значение не должно превышать 0,15″.

Таблица 11.3

Определение мертвого хода отсчетного микроскопа
(по горизонтальному кругу)

Установка алидады	Отсчет по шкале: ввинчивание	Отсчет по шкале: вывинчивание	Разность	v	Установка алидады	Отсчет по шкале: ввинчивание	Отсчет по шкале: вывинчивание	Разность	v
0°	0,9″	0 8″	+0,1″	—0,07″	180°	2′26,3″	2′26,5″	—0,2″	+0,23″
15	12,0	12,3	—0,3	+0,33	195	37,1	37,2	—0,1	+0,13
30	25,8	25,6	+0,2	—0,17	210	48,4	48,2	+0,2	—0,17
45	38,4	38,2	+0,2	—0,17	225	3 02,7	02,7	0,0	+0,03
60	49,3	49,1	+0,2	—0,17	240	15,8	15,7	+0,1	—0,07
75	1′01,5″	01,6	—0,1	+0,13	255	27,9	28,1	—0,2	+0,23
90	14,0	14,1	—0,1	+0,13	270	39,2	39,0	+0,2	—0,17
105	23,8	23,7	+0,1	—0,07	285	48,6	48,7	—0,1	+0,13
120	37,4	37,7	—0,3	+0,33	300	4 03,1	03,1	0,0	+0,03
135	49,6	49,7	—0,1	+0,13	315	17,8	17,5	+0,3	—0,27
150	2 02,7	02,5	+0,2	—0,17	330	31,8	31,6	+0,2	—0,17
165	12,6	12,4	+0,2	—0,17	345	44,3	44,2	+0,1	—0,07
							Среднее	+0,03″	

$$M = \sqrt{\frac{[v^2]}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0{,}73}{23 \cdot 24}} = 0{,}04''$$

11.4.2. Испытание отсчетных микроскопов теодолита АУ 2/10

Для теодолита АУ 2/10 испытание отсчетных микроскопов проводят в самом начале программы исследований, поскольку дальнейшие исследования зависят от качества работы микроскопов. Полная программа испытаний каждого микроскопа включает в себя три приема. Между приемами горизонтальный круг переставляют на 120°. Каждый прием выполняется по следующей программе.

Верхнюю часть теодолита закрепляют с помощью закрепительного винта таким образом, чтобы один из штрихов горизонтального круга находился в нуль-пункте гребенки. Работая на ввинчивание, наводят вначале одним из биссекторов на левый от выбранного штрих и по головке винта получают отсчет (a), затем тем же биссектором на средний штрих, находящийся в нуль-пункте, получают отсчет (b), потом на правый и получают отсчет (c). Затем работая на вывинчивание и используя тот же биссектор, наводят на штрихи круга в обратной последовательности (соответствующим образом производят и записи снизу вверх, табл. 11.4). Далее, изменив положение головки винта на $^1/_6$ часть оборота в сторону увеличения отсчетов, наводящим винтом алидады снова вводят штрих в биссектор и повторяют наблюдения.

В каждом приеме делают по шесть установок. Обработка измерений состоит в вычислении для каждой установки средних

Определение правильности работы отсчетных микроскопов

Теодолит АУ 2/10 № 10072, микроскоп А

Таблица 11.4

Отсчет по штрихам		Разность	$b-a$ $c-b$	Отсчет по штрихам		Разность	$b-a$ $c-b$	Отсчет по штрихам		Разность	$b-a$ $c-b$
ввинчивание	вывинчивание			ввинчивание	вывинчивание			ввинчивание	вывинчивание		
1 прием 0°00′				2 прием 120°00′				3 прием 240°00′			
(*a*) 2,0^{д}	1,9^{д}			2,0^{д}	2,0^{д}			2,0^{д}	2,0^{д}		
(*b*) 2,8	2,9		+0,8^{д}	2,6	2,7		+0,6^{д}	2,0	2,0		0,0^{д}
(*c*) 2,3	2,0		—0,5	2,4	2,2		—0,2	2,2	2,0		+0,2
2,37	2,27	+0,10		2,33	2,30	+0,03		2,07	2,00	+0,07	
22,0	22,0			23,0	23,0			22,0	22,0		
23,0	23,0		+1,0	24,0	23,7		+1,0	22,4	22,3		+0,4
22,8	22,7		—0,2	23,2	23,4		—0,8	22,8	22,7		+0,4
22,60	22,57	+0,03		23,40	23,37	+0,03		22,40	22,33	+0,07	
43,5	43,3			41,9	41,8			42,4	42,1		
50,0	44,5		+1,5	42,2	42,3		+0,3	43,0	43,0		+0,6
44,6	44,2		—0,4	42,0	42,0		—0,2	42,9	43,0		—0,1
44,37	44,00	+0,37		42,03	42,03	0,00		42,77	42,70	+0,07	
01′2,0^{д}	2,0			1′4,8^{д}	4,7			1′3,0	3,0		
3,0	2,9		+1,0	10,4	10,4		+0,6	3,8	3,5		+0,8
2,7	2,4		—0,3	4,9	10,0		—0,5	3,8	4,0		0,0
2,57	2,43	+0,14		10,03	10,03	0,00		3,53	3,50	+0,03	
22,5	22,0			23,4	23,4			24,1	24,0		
23,9	23,4		+1,4	24,7	24,6		+1,3	24,4	24,6		+0,3
23,0	23,0		—0,9	24,1	24,0		—0,6	24,2	24,3		—0,2
23,13	22,80	+0,33		24,07	24,00	+0,07		24,23	24,30	—0,07	
42,9	42,4			43,0	42,2			43,0	42,8		
43,5	43,2		+0,6	43,6	43,2		+0,6	43,0	43,2		0,0
43,6	43,0		+0,1	43,0	43,0		—0,6	43,2	43,0		+0,2
43,33	42,87	+0,46		43,20	42,80	+0,40		43,07	43,00	+0,07	

Средняя разность +0,12^{д} = +0,24″

Наибольшее значение 0,92″
Наибольшее колебание 1,06″

из трех отсчетов, в получении разностей средних отсчетов «ввинчивание» минус «вывинчивание». Кроме того, для суждения о приближенной величине рена отсчетного микроскопа по столбцу «ввинчивание» образуют разности отсчетов $(b - a)$ и $(c - b)$. Средняя величина разностей, вычисленная из всех трех приемов, и является приближенным значением рена данного микроскопа, если расстояние между биссекторами не отличается от номинального, равного 4′.

Вычисляют среднее значение разностей «ввинчивание» минус «вывинчивание» по всему материалу наблюдений. Отдельные значения этих разностей и колебания их величин, взятые для всех трех приемов, не должны превосходить сотой доли оборота винта (1,2″).

Если в результате испытаний будут получены неудовлетворительные результаты, коробку микроскопа разбирают, все детали осматривают, промывают, устраняют обнаруженные дефекты, производят смазку, сборку и регулировку, после чего повторяют испытание.

11.5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕНА ОТСЧЕТНЫХ МИКРОСКОПОВ

11.5.1. Определение рена отсчетных микроскопов оптических теодолитов

Рен отсчетного микроскопа горизонтального и вертикального кругов теодолитов с двусторонним отсчетом, каковыми являются Вильд Т4 и ДКМ3-А, есть разность номинальной величины половины наименьшего деления круга и той же половины, измеренной с помощью шкалы отсчетного микроскопа. Рены нижнего и верхнего изображений круга могут различаться, поскольку пучки лучей от диаметрально противоположных краев круга достигают отсчетного микроскопа различными оптическими путями.

Измерение производят на нескольких установках алидады в соответствии с табл. 11.5.

Таблица 11.5

Установка алидады при определении рена отсчетных микроскопов

Номер установки	Прямой ход. Установка алидады (t)	Номер установки	Обратный ход. Установка алидады (t)
1	0°00′	16	22°40′
2	45 10	15	67 50
3	90 20	14	112 00
4	135 30	13	157 10
5	180 40	12	202 20
6	225 50	11	247 30
7	270 00	10	292 40
8	315 10	9	337 50

Таблица 11.6

Определение рена отсчетного микроскопа

Горизонтальный круг Теодолит Вильд Т4

$\nu = 10'$

Прямой ход						Обратный ход					
t	A_1	A_2	A_3	$A_1 - A_2$	$A_1 - A_3$	t	A_1	A_2	A_3	$A_1 - A_2$	$A_1 - A_3$
0°00′	59,3″	0,2″	0,4″			22°40′	59,4″	59,7″	59,5″		
	59,7	0,1	0,0				59,3	59,5	59,7		
	59,5	0,2	0,2	—0,7″	—0,7″		59,4	59,6	59,6	—0,2″	—0,2″
45 10	0,0	0,6	0,2			67 50	0,1	59,8	0,2		
	59,8	0,6	59,9				0,2	59,9	0,2		
	59,9	0,6	0,0	—0,7	—0,1		0,2	59,8	0,2	+0,4	0,0
90 20	0,1	59,9	0,4			112 00	59,4	59,7	59,6		
	0,2	59,7	0,2				59,3	59,8	59,6		
	0,2	59,8	0,3	+0,4	—0,1		59,4	59,8	59,6	—0,4	—0,2
135 30	59,3	0,0	59,6			157 10	0,4	0,2	0,6		
	59,4	59,7	59,5				0,3	0,2	0,4		
	59,4	59,8	59,6	—0,4	—0,2		0,4	0,2	0,5	+0,2	—0,1
180 40	59,5	0,0	0,3			202 20	59,9	0,2	0,1		
	59,5	0,4	0,2				0,1	0,4	0,0		
	59,5	0,2	0,2	—0,7	—0,7		0,0	0,3	0,0	—0,3	0,0
225 50	0,0	59,8	0,0			247 30	0,1	0,4	0,2		
	0,1	0,1	0,2				0,2	0,3	0,3		
	0,0	0,0	0,1	0,0	—0,1		0,2	0,4	0,2	—0,2	0,0
270 00	59,7	0,1	59,8			292 40	59,8	0,1	0,2		
	59,9	59,8	59,8				59,9	0,1	0,0		
	59,8	0,0	59,8	—0,2	0,0		59,8	0,1	0,1	—0,3	—0,3
315 10	59,9	59,9	0,1			337 50	0,0	59,8	0,1		
	59,7	0,0	0,0				0,1	59,8	0,1		
	59,8	0,0	0,0	—0,2	—0,2		0,0	59,8	0,1	+0,2	—0,1

$\text{run}_в = -0,19''$ $\text{run}_н = -0,19''$ $\text{run} = -0,19''$ $\Delta = 0,00'' = \text{run}_в - \text{run}_н$

Определяют рен следующим образом. По шкале микроскопа устанавливают отсчет 0,0. Наводящим винтом алидады приближенно совмещают диаметрально противоположные штрихи t и $(t + 180°)$. После этого производят точные отсчеты по шкале микроскопа, совмещая следующие пары штрихов:

$$t \text{ и } (t + 180°) — \text{отсчет } A_1,$$
$$(t — \nu) \text{ и } (t + 180°) — \text{отсчет } A_2,$$
$$t \text{ и } (t + 180° — \nu) — \text{отсчет } A_3.$$

Каждый из отсчетов состоит из двух наведений. Записывают при этом только секунды (табл. 11.6).

Вычисляют рен верхнего $\text{run}_в$ и нижнего $\text{run}_н$ изображений

$$\text{run}_в = \frac{1}{16}\sum(A_1 — A_2); \quad \text{run}_н = \frac{1}{16}\sum(A_1 — A_3).$$

Величины $$\text{run} = \frac{\text{run}_в + \text{run}_н}{2} \text{ и } (\text{run}_В — \text{run}_н)$$

не должны превышать 0,5″.

Если величина рена превышает допуск, то в соответствующие отсчеты по кругу вводят поправку за рен по формуле

$$\Delta M''_{\text{run}} = \frac{2\,\text{run}''}{\nu'} A',$$

где A' — отсчет по шкале микроскопа в минутах:

$$\frac{2\,\text{run}}{\nu} = \text{const}.$$

Пример. Отсчет по кругу $M = 29°47'23{,}50''$. Рен микроскопа run = +1,37. Наименьшее деление $\nu = 10'$, $A' = 2{,}4'$

$$\Delta M_{\text{run}} = \frac{2 \cdot 1{,}37''}{10}\ 2{,}4 = +0{,}66'';$$

исправленный отсчет = 29°47′24,16″.

При больших величинах рена удобнее не вводить поправки, а отъюстировать оптическую отсчетную систему. Эта работа может быть выполнена механиком.

11.5.2. Определение рена отсчетных микроскопов теодолита АУ 2/10

Как и в оптических теодолитах, разность между номинальным значением наименьшего деления круга АУ 2/10 (5′) и его величиной, измеренной с помощью отсчетной головки винта микроскопа, называется реном (run) отсчетного микроскопа.

Измерение расстояния между наименьшими смежными делениями круга в делениях отсчетной головки винта производится с помощью двух пар нитей, поэтому в начале определяют разность между фактическим и номинальным (2 оборота = 4′) расстояниями между биссекторами нитей σ.

Определение σ выполняют двумя приемами, каждый из которых включает в себя 12 установок. Выбрав любой четкий штрих лимба, делают по три наведения, работая на ввинчивание, сначала правым биссектором, затем левым. Переместив биссекторы примерно на 20″ (10 делений) по отсчетам головки в сторону увеличения, наводящим винтом алидады вновь вводят штрих в биссектор и повторяют наблюдения.

При переходе ко второму приему алидаду перемещают на произвольный угол. Пример определения σ приведен в табл. 11.7.

Таблица 11 7

Определение σ, микроскоп А

Теодолит АУ 2/10 № 300

Прием 1, штрих 40°20′

Отсчеты по головке винта		σ (правый минус левый)	Отсчеты по головке винта		σ (правый минус левый)	Отсчеты по головке винта		σ (правый минус левый)
Биссектор			Биссектор			Биссектор		
правый	левый		правый	левый		правый	левый	
4,0′	4,0′		24,0′	23,4′		41,4′	41,0′	
4,2	4,0		24,0	23,2		41,2	41,0	
4,0	4,0		24,0	23,2		41,2	41,0	
4,07	4,00	+0,07′	24,00	23,27	+0,73′	41,27	41,00	+0,27′
23,4	23,2		44,0	43,8		3,0	3,0	
23,0	23,2		44,0	43,6		3,0	2,8	
23,0	23,3		43,8	43,4		3,0	3,0	
23,13	23,23	—0,10	43,93	43,60	+0,33	3,00	2,93	+0,07
43,4	43,0		2,1	2,0		22,2	22,0	
43,4	43,0		2,5	2,0		22,2	22,0	
43,6	43,0		2,2	2,0		22,3	22,0	
43,47	43,00	+0,47	2,27	2,00	+0,27	22,23	22,00	+0,23
2,2	2,0		23,2	23,0		50,3	50,0	
2,2	2,0		22,8	22,4		50,2	50,1	
2,3	2,2		22,6	22,8		50,3	50,0	
2,23	2,07	+0,16	22,87	22,73	+0,14	50,27	50,03	+0,24

$\sigma_{ср} = +0{,}24'$ Среднее из двух приемов $= +0{,}22' = +0{,}44''$

После этого определяют $\rho = b - a$, где a — отсчет по головке винта при наведении левым биссектором на младший по отношению к нуль-пункту штрих; b — отсчет при наведении правым биссектором на старший штрих. Измерения ρ производят одним приемом в прямом и обратном ходах на 24 установках алидады в соответствии с табл. 11.8. В прямом ходе между отдельными установками головку винта переставляют на 20″ в сторону увеличения отсчетов, в обратном — в сторону уменьшения.

Пример определения ρ приведен в табл. 11.9.

Если величина рена микроскопа превышает 1″ или сумма ренов по двум микроскопам превосходит 0,5″, то в отсчеты по кругу вводят поправки за рен по формуле

$$\Delta M''_{run} = \frac{run''}{5'}\left(\frac{a+b}{2} - 2{,}5'\right),$$

где $(a + b)/2$ — расстояние нуль-пунета от младшего штриха, выраженное в минутах.

Таблица 11.8

Установки алидады и головки винта микроскопа при измерении ρ

Теодолит АУ 2/10

Прямой ход			Обратный ход		
номер установки	установка алидады	установка головки винта	номер установки	установка алидады	установка головки винт
1	0°00′	0″	24	15°01′	0″
2	30 05	20	23	45 06	20
3	60 10	40	22	75 11	40
4	90 16	0	21	105 17	0
5	120 21	20	20	135 22	20
6	150 26	40	19	165 27	40
7	180 32	0	18	195 33	0
8	210 37	20	17	225 38	20
9	240 42	40	16	255 43	40
10	270 48	0	15	285 49	0
11	300 53	20	14	315 54	20
12	330 58	40	13	345 59	40

Пример. Отсчет по кругу $M = 5°13'11{,}60''$ (микроскоп A). run микроскопа $A = -1{,}47''$; $(a + в)/2 = 3'11{,}60''$

$$\Delta M_{\text{run}} = \frac{-1{,}47}{5}(3{,}2' - 2{,}5') = -0{,}21'',$$

$$M + \Delta M_{\text{run}} = 5°13'11{,}39''.$$

Если величина рена микроскопа превышает установленные допуски, то чтобы не вводить поправок в отсчеты по кругу, поступают следующим образом.

Ослабляют винт, стягивающий нижнюю обойму микроскопа, так чтобы объективная трубка могла перемещаться на трении. Трубку вдвигают, если рен микроскопа отрицательный, и выдвигают, если рен положительный, при этом изображения штрихов окажутся нерезкими. Ослабив винт, стягивающий верхнюю обойку микроскопа, перемещают весь микроскоп вниз, если рен микроскопа отрицательный, и вверх, если рен положительный, добиваясь резкого изображения штрихов и параллельности сетки нитей штрихам лимба.

Слегка закрепив микроскоп в обоймах, снова определяют рен на нескольких установках и убедившись в достаточности произведенных исправлений, окончательно закрепляют обоймы и определяют рен по полной программе.

Для контроля постоянства рена рекомендуется на каждом астропункте определять разности (b-a) при отсчетах по кругу 0^0, $90^0 16'$, $180^0 32'$, $270^0 48'$. При изменении средних значений этих разностей, полученных для обоих микроскопов более чем на 0,5″ по сравнению с предыдущими исследованиями, определяют рен по полной программе.

Таблица 11

Определение ρ, микроскоп А

Прямой ход				Обратный ход			
Отсчет в нульпункте	a	b	$\rho = b - a$	Отсчет в нульпункте	a	b	$\rho = b - a$
0°00′	0,7′	1,9′		15°01′	2,6′	1,0′	
	0,4	1,5			2,5	1,4	
	1,0	2,1			2,4	1,2	
	0,70	1,83	+1,13′		2,50	1,20	—1,30′
30 05	20,7	20,4		45 06	21,7	20,9	
	21,1	21,1			21,6	20,7	
	20,9	20,7			21,7	21,27	
	20,90	20,73	—0,17		21,67	20,8	—0,80
60 10	40,9	40,4		75 11	42,0	43,2	
	41,2	40,1			42,0	43,2	
	40,8	40,2			42,0	43,03	
	40,97	40,23	—0,74		42,00	43,1	+1,13
90 16	1,7	1,4		105 17	0,9	0,8	
	1,4	1,4			1,1	1,0	
	1,5	1,4			1,2	1,20	
	1,53	1,40	—0,13		1,07	1,0	—0,07
120 21	21,2	20,7		135 22	21,7	21,2	
	22,0	20,8			21,6	21,4	
	21,6	20,7			21,4	21,43	
	21,60	20,73	—0,87		21,57	21,3	—0,24
150 26	43,4	42,1		165 27	42,1	42,0	
	43,4	42,0			42,1	42,1	
	43,8	41,6			42,1	42,17	
	43,53	41,90	—1,63		42,10	42,0″	—0,03
180° 32′	0,6″	0,4″		195° 33′	0,8″	0,9	
	0,9	0,2			1,0	1,1	
	1,0	0,4			1,1	1,0	
	0,83	0,33	—0,50″		0,97	1,00	+0,03″
210 37	20,7	21,1		225 38	23,7	23,0	
	20,6	20,6			23,6	23,0	
	20,7	20,9			23,5	23,0	
	20,67	20,87	+0,20		23,60	23,00	—0,60
240 42	41,2	40,6		255 43	44,1	44,0	
	41,2	40,7			43,7	43,7	
	41,3	40,9			43,9	44,0	
	41,23	40,73	—0,50		43,90	43,90	0,00
270 48	0,9	1,2		285 49	3,5	3,6	
	0,9	1,3			3,7	3,7	
	0,7	1,0			3,5	3,4	
	0,83	1,17	+0,34		3,57	3,57	0,00
300 53	20,6	21,3		315 54	21,2	21,6	
	20,9	21,5			21,4	21,5	
	21,2	21,4			21,4	21,4	
	20,90	21,40	+0,50		21,33	21,50	+0,17
330 58	41,2	41,0		345 59	40,9	40,8	
	41,2	41,1			40,9	41,2	
	41,2	41,1			40,9	41,2	
	41,20	41,07	—0,13		40,90	41,03	+0,13
	Среднее $\rho = -0,21'$				Среднее $\rho =$		$-0,13'$

Среднее ρ из прямого и обратного ходов $= -0,17' = -0,34''$

Гип микроскопа $A = \rho - \sigma = -0,34'' - 0,44'' = -0,78''$

11 6 ИСПЫТАНИЕ ПРАВИЛЬНОСТИ ВРАЩЕНИЯ АЛИДАДЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КРУГА (ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА АЛИДАДЫ)

11.6.1. Исследование эксцентриситета алидады оптических теодолитов

11.6.1.1. Перед началом испытания производят тщательную выверку используемого уровня (накладного, подвесного, или алидадного) и горизонтирование теодолита.

11.6.1.2. Исследование эксцентриситета алидады выполняют в полном соответствии с 11.7.1.2, с той лишь разницей, что здесь горизонтальный круг неподвижен, а алидада перемещается от одной установки к другой через 30°.

Для испытания правильности вращения алидады горизонтального круга вокруг вертикальной оси делают два оборота сначала в прямом (по часовой стрелке), затем в обратном ходах (против часовой стрелки). Запись и обработку ведут в специальной ведомости (табл. 11.10).

Таблица 11.10

Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга

Теодолит Вильд Т4

Установка алидады	Прямой ход				Обратный ход			
	отсчет уровня	t	t'	$v = t - t'$	отсчет уровня	t	t'	$v = t - t'$
0°	6,0	41,4″	42,5″	—1,1″	6,5	40,8″	41,1″	—0,3″
30	6,2	39,0	42,1	—3,1	6,9	39,6	40,7	—1,1
60	6,4	36,2	40,4	—4,2	6,9	41,7	47,2	—5,5
90	6,3	34,2	38,1	—3,9	6,9	44,1	47,6	—3,5
120	6,0	35,8	36,7	—0,9	6,5	45,2	45,4	—0,2
150	5,8	37,8	37,0	+0,8	6,1	44,6	41,9	+2,7
180	5,3	43,5	38,9	+4,6	5,9	42,4	36,8	+5,6
210	5,2	55,9	45,9	+10,0	5,7	52,3	43,1	+9,2
240	5,0	55,0	45,0	+10,0	5,9	43,1	33,8	+9,3
270	5,0	46,0	38,1	+7,9	6,0	48,5	39,1	+9,4
300	5,3	53,0	46,6	+6,4	6,2	37,3	31,6	+5,7
330	5,7	34,1	31,2	+2,9	6,5	29,6	27,9	+1,7
0	6,0	30,9	31,6	—0,7	7,0	24,4	25,1	—0,7
30	6,3	29,4	32,3	—2,9	6,9	23,2	27,2	—4,0
60	6,3	27,2	31,2	—4,0	6,6	23,4	29,0	—5,6
90	6,2	23,0	26,2	—3,2	6,3	27,4	31,9	—4,5
120	5,9	21,9	22,2	—0,3	6,0	44,4	46,9	—2,5
150	5,3	23,0	20,4	+2,6	5,9	47,8	46,1	+1,7
180	5,1	30,0	25,0	+5,0	5,3	43,1	38,2	+4,9
210	5,0	41,1	31,1	+10,0	5,0	37,0	28,8	+8,2
240	5,0	45,4	33,4	+12,0	5,0	38,1	29,1	+9,0
270	5,0	47,1	37,7	+9,4	5,0	45,8	38,2	+7,6
300	5,2	53,8	46,1	+7,7	5,2	48,8	42,6	+6,2
330	6,0	40,1	38,8	+1,3	5,8	39,9	38,6	+3,1

Алидаду при исследовании в прямом и обратном ходах вращают строго только в нужном направлении и при переводе ее через нужный штрих не возвращают обратно, а отсчитывают по кругу в том месте, где остановилась алидада.

При каждой установке алидады отсчитывают по одному из концов пузырька используемого уровня.

11 6.1.3. Для каждой установки алидады вычисляют

$$v = t - t',$$

колебания отдельных значений v не должны превышать 40″. По полученным значениям v, отдельно для прямого и обратного ходов строят график, по оси абсцисс которого откладывают отсчеты круга, а по оси ординат соответствующие им v.

Чтобы вычислить элементы эксцентриситета алидады, усредняют v, полученные для первого и второго оборотов. Ординаты плавной кривой и элементы эксцентриситета вычисляют по формулам, приведенным в 11.7.1.3.

По уклонениям измеренных значений v от плавной кривой (которые не должны превышать 10″) и колебаниям показаний уровня (которые не должны превышать 2 делений) для соответ-

Таблица 11 11

Вычисление элементов эксцентриситета алидады и ординат плавной кривой

Теодолит Вильд Т4

Установка алидады A	Наблюденные v				$v_{ср}$	sin A	cos A	v sin A	v cos A	v
	прямой ход		обратный ход							
0°	−1,1″	−0,7″	−0,7″	−0,3″	−0,7″	0,00	+1,00	0,0″	−0,7″	−0,9″
30	−3,0	−2,8	−3,9	−1,0	−2,8	+0,50	+0,87	−1,4	−2,4	−3,6
60	−4,2	−4,0	−5,6	−5,5	−4,8	+0,87	+0,50	−4,2	−2,4	−4,7
90	−3,9	−3,2	−4,5	−3,5	−3,8	+1,00	0,00	−3,8	0,0	−3,8
120	−0,9	−0,3	−2,5	−0,2	−1,0	+0,87	−0,50	−0,9	+0,5	−1,3
150	+0,8	+2,6	+1,7	+2,7	+2,0	+0,50	−0,87	+1,0	−1,7	+2,3
180	+4,6	+5,0	+4,9	+5,6	+5,0	0,00	−1,00	0,0	−5,0	+5,9
210	+10,0	+10,1	+8,2	+9,2	+9,4	−0,50	−0,87	−4,7	−8,2	+8,6
240	+10,0	+12,0	+9,0	+9,3	+10,1	−0,87	−0,50	−8,8	−5,0	+9,7
270	+7,9	+9,4	+7,6	+9,4	+8,6	−1,00	0,00	−8,6	0,0	+8,8
300	+6,4	+7,7	+6,2	+5,7	+6,5	−0,87	+0,50	−5,5	+3,2	+6,3
330	+2,9	+1,3	+1,3	+1,7	+1,8	−0,50	+0,87	−0,9	+1,5	+2,7

$n = 12 \quad x = \frac{1}{6}[v \sin A] = -6{,}3 \qquad y = \frac{1}{6}[v \cos A] = -3{,}4$

$\varepsilon = \frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2} = 3{,}6'' \qquad l = \frac{\varepsilon R}{\rho}\ 1{,}6 \text{ мкм} \quad A_э = \operatorname{arctg}\frac{-[v \cos A)}{[v \sin A]} = 152°$

$\frac{1}{12}[v] = +2{,}5'' \qquad v = x \sin A + y \cos A + \frac{1}{12}[v]$

Примечание. Обозначения, принятые в табл. 11.12, рассмотрены в 11.7.

ствующих установок смежных оборотов судят о правильности вращения алидады вокруг вертикальной оси.

Пример вычисления элементов эксцентриситета алидады горизонтального круга приведен в табл. 11.11, а построение графика на рис. 11.4.

11.6.1.4. Эксцентриситет алидады вертикального круга теодолита ДКМ3-А исследуют по той же методике, не производя отсчетов по уровню.

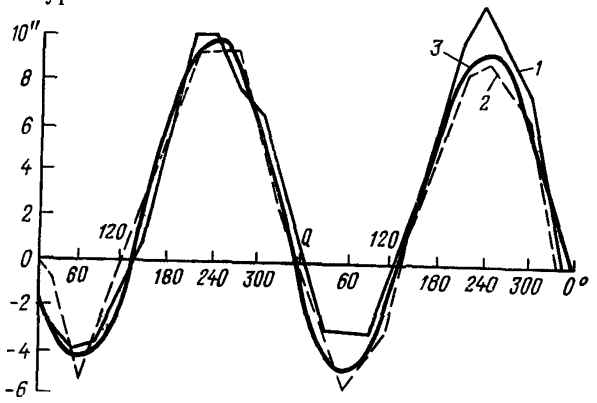


Рис 11.4. **График эксцентриситета алидады горизонтального круга:**

1 — прямой ход, *2* — обратный ход, *3* — синусоида

11.6.2. Исследование эксцентриситета алидады теодолита АУ 2/10

11.6.2.1. До начала исследований необходимо отрегулировать вращение алидады вокруг вертикальной оси, что делается по показаниям накладного уровня. Если пузырек уровня при полном обороте алидады смещается на величину, не превышающую двух делений от первоначального положения, то вращение алидады можно считать удовлетворительным. В противном случае производят регулировку алидады, для чего вывинчивают патрон с пружиной, противодействующей наводящему азимутальному винту; ослабив стопорный винт, вывинчивают на полоборота грибок и оставляют теодолит на 1,5—2 ч, в течение которых во избежание поломки теодолита запрещается вращать алидаду. По прошествии указанного времени приступают к регулировке алидады; слегка нажимая левой рукой на кожух круга в направлении вращения часовой стрелки, правой постепенно ввинчивают грибок до тех пор, пока алидада не начнет плавно вращаться без заметного трения, но и без излишней легкости. Замечают отсчет грибка по индексу и вновь вывинчивают грибок. Из трех таких наведений берут среднее, устанавливают грибок на средний отсчет и закрепляют стопор.

Таблица 11.12

Исследование эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита АУ 2/10

Прямой ход

Установка алидады	Уровень	Микроскоп А			Микроскоп Б			$v = m_A - m_Б$	Установка алидады	Уровень	Микроскоп А			Микроскоп Б			$v = m_A - m_Б$
		a	b	m_A	a	b	$m_Б$				a	b	m_A	a	b	$m_Б$	
0°	8,1	1,0	2,0	3,0″	3,1	2,3	5,4″	—2,4″	180°	8,0	4,9	10,1	10,0″	4,1	3,3	7,4″	+2,6″
30	8,5	4,0	4,9	8,9	12,2	11,1	13,3	—4,4	210	7,9	3,0	3,8	6,8	0,9	0,3	1,2	+5,6
60	8,7	3,2	3,2	6,4	11,0	10,2	11,2	—4,8	240	7,8	1,3	2,1	3,4	54,0	54,1	58,1	+5,3
90	8,9	10,0	10,0	10,0	12,1	11,2	13,3	—3,3	270	7,8	4,1	4,0	8,1	4,0	2,0	6,0	+2,1
120	8,8	4,4	10,4	9,8	10,6	4,7	10,3	—0,5	300	7,9	10,1	10,3	10,4	10,0	4,7	9,7	+0,7
150	8,1	10,0	4,8	9,8	4,2	4,8	9,0	+0,8	330	8,0	10,0	10,7	10,7	10,4	10,0	10,4	+0,3
0	8,3	10,1	11,2	11,3	11,8	11,3	13,1	—1,8	180	8,0	2,6	3,0	5,6	2,3	1,1	3,4	+2,2
30	8,7	3,9	4,9	8,8	12,0	11,3	13,3	—4,5	210	8,0	3,3	3,7	7,0	0,9	1,3	2,2	+4,8
60	9,0	10,0	10,8	10,8	13,0	12,9	15,9	—5,1	240	7,9	3,2	4,9	8,1	1,8	1,3	3,1	+5,0
90	9,0	4,8	10,8	10,6	12,1	11,9	14,0	—3,4	270	7,9	10,2	10,0	10,2	10,0	3,0	8,0	+2,2
120	9,0	4,8	10,3	10,1	12,0	4,9	11,9	—1,8	300	7,9	11,1	10,5	11,6	11,7	10,3	12,0	—0,4
150	8,9	3,3	4,2	7,5	4,0	3,9	7,9	—0,4	330	8,0	3,0	4,8	7,8	4,1	3,0	7,1	+0,7
0	8,4	4,7	11,1	10,8	11,1	11,2	12,3	—1,5	180	8,0	10,0	11,1	11,1	10,0	3,6	8,6	+2,5
30	8,8	10,1	11,9	12,0	14,6	13,0	17,6	—5,6	210	7,9	10,1	11,4	11,5	4,1	3,2	7,3	+4,2
60	9,0	10,0	10,1	10,1	12,2	12,0	14,2	—4,1	240	7,5	3,8	4,6	8,4	2,3	1,8	4,1	+4,3
90	9,0	3,9	4,1	8,0	11,2	4,3	11,5	—3,5	270	7,5	4,3	4,8	9,1	3,1	2,1	5,2	+3,9
120	8,8	2,0	2,9	4,9	3,1	2,0	5,1	—0,2	300	7,8	2,0	3,0	5,0	2,1	1,6	3,7	+1,3
150	8,2	4,1	10,2	9,3	3,9	4,1	8,0	+1,3	330	8,0	2,8	4,5	7,3	4,1	3,9	8,0	—0,7

Обратный ход

330°	8,0	4,1	10,7	9,8″	11,0	10,5	11,5″	—1,7″	150°	8,3	3,9	4,9	8,8″	3,4	3,1	6,5″	+2,3
300	7,7	2,1	2,9	5,0	3,0	3,0	6,0	—1,0	120	8,8	3,0	4,2	7,2	4,9	2,5	7,4	—0,2
270	7,6	3,9	4,2	8,1	1,8	1,4	3,2	+4,9	90	9,0	2,6	3,1	5,7	10,0	3,7	8,7	—3,0
240	7,5	4,4	10,1	9,5	3,1	2,9	6,0	+3,5	60	9,0	2,0	2,3	4,3	3,7	4,7	8,4	—4,1
210	7,8	10,4	10,0	10,4	3,4	2,1	5,5	+4,9	30	8,8	10,0	11,0	11,0	13,8	12,3	16,1	—5,1
180	8,0	10,2	10,8	11,0	3,4	3,7	7,1	+3,9	0	8,3	4,9	4,0	8,9	10,7	4,9	10,6	—1,7
330	8,0	11,2	12,7	13,9	13,0	11,0	14,0	—0,1	150	8,5	0,9	1,2	2,1	0,2	54,7	59,9	+2,2
300	8,0	11,3	12,0	13,3	11,9	10,6	12,5	+0,8	120	8,8	2,3	4,0	6,3	4,0	3,3	7,3	—1,0
270	7,8	3,9	3,9	7,8	2,9	1,4	4,3	+3,5	90	9,0	10,2	4,8	10,0	12,1	10,0	12,1	—2,1
240	7,7	3,0	4,1	7,1	1,1	1,3	2,4	+4,7	60	9,0	3,8	3,7	7,5	11,3	10,2	11,5	—4,0
210	7,9	3,2	4,6	7,8	1,2	1,7	2,9	+4,9	30	9,0	10,0	11,4	11,4	13,3	12,2	15,5	—4,1
180	8,0	3,1	3,9	7,0	2,0	1,9	3,9	+3,1	0	8,6	11,9	12,2	14,1	13,7	12,1	15,8	—1,7
330	8,1	3,0	4,6	7,6	10,1	4,1	9,2	—1,6	150	8,5	3,9	3,8	7,7	3,1	3,2	6,3	+1,4
300	7,9	10,8	12,1	12,9	11,7	11,0	12,7	+0,2	120	8,9	3,0	3,9	6,9	4,0	2,9	6,9	0,0
270	7,8	3,3	3,8	7,1	2,1	1,0	3,1	+4,0	90	9,0	11,0	11,8	12,8	12,0	12,0	14,0	—1,2
240	7,7	4,0	10,7	9,7	2,9	2,3	5,2	+4,5	60	9,0	2,0	2,9	4,9	10,1	3,7	8,8	—3,9
210	7,8	4,9	10,7	10,6	2,7	2,5	5,2	+5,4	30	9,0	4,1	10,1	9,2	12,0	11,3	13,3	—4,1
180	8,0	11,9	12,5	14,4	10,6	4,3	9,9	+4,5	0	8,4	2,8	3,7	6,5	4,9	4,0	8,9	—2,4

Если после двукратной регулировки не восстанавливается нормальное вращение верхней части теодолита, то меняют смазку вертикальной оси.

Затем устанавливают минимальный угол между микроскопами. Для этого, установив в микроскопе А биссектор в нуль-пункте, наводящим винтом алидады точно вводят в биссектор любой градусный штрих, скажем 0°. В микроскопе Б перемещают гребенку таким образом, чтобы диаметрально противоположный штрих (180°) оказался в нуль-пункте гребенки, затем вращением отсчетной головки микроскопа на оси винта устанавливают отсчет 0,0.

11.6.2.2. Испытание правильности вращения алидады горизонтального круга выполняют на протяжении трех следующих друг за другом оборотов вначале в прямом (вращение алидады по часовой стрелке), затем в обратном (вращение против часовой стрелки) ходах.

Алидаду теодолита переставляют через 30°. При каждой установке отсчитывают по обоим микроскопам и одному концу пузырька накладного уровня. Величину v вычисляют как

$$v = m_{\text{А}} - m_{\text{Б}} \pm 180°.$$

Запись измерений производят в соответствии с табл. 11.12.

11.6.2.3. Элементы эксцентриситета алидады и ординаты плавной кривой вычисляют по формулам, приведенным в 11.7.1.3. Все допуски, изложенные в 11.6.1.3 для оптических теодолитов, остаются в силе и для АУ 2/10. Пример вычисления элементов эксцентриситета алидады горизонтального круга теодолита АУ 2/10 приведен в табл. 11.13.

Таблица 11.13

Вычисление элементов эксцентриситета алидады и ординат плавной кривой

Астрономический теодолит АУ 2/10

Установка алидады А	Наблюденные v				$v_{ср}$	sin A	cos A	v sin A	v cos A	$\bar{v}$
	1 об	2 об	2 об	3 об						
	прямой ход		обратный ход							
0°	−2,4″	−1,8″	−1,7″	−2,4″	−2,1″	0,00	+1,00	0,0″	−2,1″	−2,8″
30	−4,4	−4,5	−4,1	−4,1	−4,3	+0,50	+0,87	−2,2	−3,7	−3,9
60	−4,8	−5,1	−4,0	−3,9	−4,4	+0,87	+0,50	−3,8	−2,0	−3,9
90	−3,3	−3,4	−2,1	−1,2	−2,5	+1,00	0,00	−2,5	0,0	−2,8
120	−0,5	−1,8	−1,0	0,0	−0,8	+0,87	−0,50	−0,7	+0,4	−0,8
150	+0,8	−0,4	+2,2	+1,4	+1,0	+0,50	−0,87	+0,5	−0,9	+1,4
180	+2,6	+2,2	+3,1	+4,5	+3,1	0,00	−1,00	0,0	−3,1	+3,4
210	+5,6	+4,8	+4,9	+5,4	+5,2	−0,50	−0,87	−2,6	−4,5	+4,5
240	+5,3	+5,0	+4,7	+4,5	+4,9	−0,87	−0,50	−4,3	−2,4	+4,5
270	+2,1	+2,2	+3,5	+4,0	+3,0	−1,00	0,00	−3,0	0,0	+3,4
300	+0,7	−0,4	+0,8	+0,2	+0,3	−0,87	+0,50	−0,3	+0,2	+1,4
330	+0,3	+0,7	−0,1	−1,6	−0,2	−0,50	+0,87	+0,1	−0,2	−0,8

$n = 12 \quad \frac{1}{12}[v] = +0{,}3'' \quad [v \sin A] = -18{,}8 \quad [v \cos A] = -18{,}5$

$$A_э = \operatorname{arctg} \frac{-[v \cos A]}{[v \sin A]} = 135^\circ \qquad x = \frac{1}{6}[v \sin A] = -3{,}1''$$

$$y = \frac{1}{6}[v \cos A] = -3{,}1''$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2} = 2{,}2'' \qquad l = \frac{\varepsilon R}{\rho} = 1{,}1 \text{ км}$$

$$\bar{v} = x \sin A + y \cos A + \frac{1}{12}[v]$$

График вычерчивают аналогично рис. 11.4.

11.7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КРУГА

11.7.1. Исследование эксцентриситета горизонтального круга оптических теодолитов

11.7.1.1. Линейным эксцентриситетом горизонтального круга называется расстояние от центра кольца делений круга до оси вращения его. Эксцентриситет является следствием несовпадения оси вращения круга на теодолите с осью вращения круга при разделении его на делительной машине.

11.7.1.2. Эксцентриситет горизонтального круга оптических теодолитов определяют по изменению разностей отсчетов при совмещении диаметрально противоположных штрихов круга (отсчет t) и одного из этих штрихов (верхнего) с неподвижным индексом, находящимся в поле зрения отсчетного микроскопа (отсчет t'). Для каждой установки круга получают

$$v = t - t'.$$

При закрепленной алидаде горизонтальный круг переставляют через каждые 30°, не допуская при перестановках круга обратных движений, в пределах одного оборота прямым (вращение круга по часовой стрелке) и обратным (вращением против часовой) ходами.

Запись отсчетов и обработку ведут в соответствии со схемой, приведенной в табл. 11.14.

11.7.1.3. Элементы эксцентриситета круга вычисляют по следующим формулам:

направление эксцентриситета $A_э$

$$A_э = \operatorname{arctg} \frac{-[v \cos A]}{[v \sin A]};$$

величину углового эксцентриситета

$$\varepsilon = \frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2}, \text{ где } x = \frac{1}{6}[v \sin A], \; y = \frac{1}{6}[v \cos A];$$

Таблица 11.14

Исследование эксцентриситета горизонтального круга

Теодолит Вильд Т4

Установка круга А	Отсчеты по микроскопу						$v_{ср}$	sin A	cos A	$\bar{v}$
	Прямой ход			Обратный ход						
	a	b	v	a	b	v				
0°	17,8″	19,1″	—1,3″	26,2″	27,0″	—0,8″	—1,0″	0,00	+1,00	0,0″
30	17,6	17,2	+0,4	25,6	24,0	+1,6	+1,0	+0,50	+0,87	+1,9
60	17,2	16,1	+1,1	28,0	24,2	+3,8	+2,4	+0,87	+0,50	+2,5
90	15,6	14,8	+0,8	27,0	25,5	+1,5	+1,2	+1,00	0,00	+1,6
120	33,6	33,8	—0,2	26,4	25,9	+0,5	+0,2	+0,87	—0,50	—0,4
150	29,1	31,3	—2,2	16,0	17,9	—1,9	—2,0	+0,50	—0,87	—3,2
180	34,0	38,9	—4,9	34,1	42,0	—7,9	—6,4	0,00	—1,00	—5,8
210	32,0	39,9	—7,9	30,8	39,2	—8,4	—8,2	—0,50	—0,87	—7,7
240	32,0	40,2	—8,2	30,2	40,0	—9,8	—9,0	—0,87	—0,50	—8,3
270	27,0	36,0	—9,0	33,0	40,8	—7,8	—8,4	—1,00	0,00	—7,4
300	33,2	38,2	—5,0	29,8	32,1	—2,3	—3,6	—0,87	+0,50	—5,4
330	28,0	29,6	—1,6	26,2	27,6	—1,4	—1,5	—0,50	+0,87	—2,6

$$\frac{1}{12}[v] = -2{,}9'' \qquad [v \sin A] = +27{,}2'' \qquad [v \cos A] = +17{,}6''$$

$$x = \frac{1}{6}[v \sin A] = +4{,}5'' \qquad y = \frac{1}{6}[v \cos A] = +2{,}9''$$

$$A_э = \operatorname{arctg} \frac{-[v \cos A]}{[v \sin A]} = 327° \qquad \varepsilon = \frac{1}{2}\sqrt{x^2 + y^2} = 2{,}7'' \qquad l = \frac{\varepsilon R}{\rho} = 1{,}2 \text{ мкм}$$

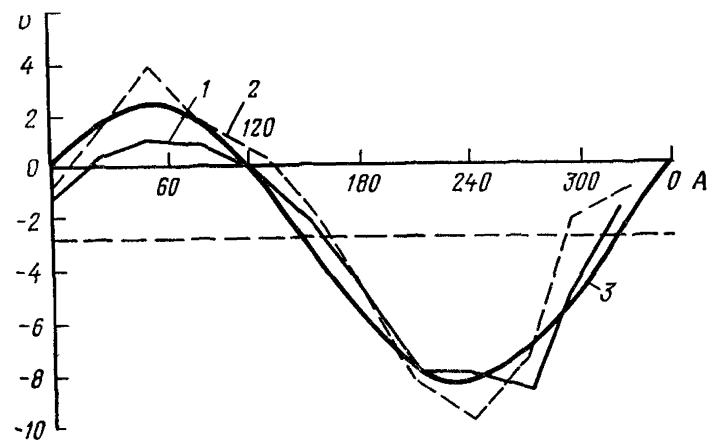


Рис. 11.5. График эксцентриситета горизонтального круга:
1 — прямой ход; *2* — обратный ход; *3* — синусоида

величину линейного эксцентриситета

$$l = \frac{\varepsilon R}{\rho},$$

где R — радиус горизонтального круга.

По величинам v (отдельно для прямого и обратного ходов) строят график, на котором вычерчивают ось симметрии. Ордината оси симметрии равна $\frac{1}{12}[v]$. На этом же графике проводят плавную кривую, ординаты которой для каждой установки круга A рассчитывают по формуле

$$\overline{v} = x \sin A + y \cos A + \frac{1}{12}[v].$$

11.7.1.4. Если удвоенная наибольшая ордината плавной кривой $2f'$, отсчитываемая от оси симметрии, превосходит $10''$, то подсчитывают совместное влияние эксцентриситета горизонтального круга и алидады на величину колебаний v при наиболее невыгодной ориентировке круга и при данной регулировке алидады, т. е. когда центр делений ($Д$) и центр вращения алидады ($А$) располагаются по разные стороны от центра вращения горизонтального круга ($К$). Делается это следующим образом.

С графика исследования эксцентриситета круга выбирают параметры плавной кривой f' и P', где f' — наибольшая ордината плавной кривой, отсчитываемая от оси симметрии; P' — абсцисса точки пересечения плавной кривой с осью симметрии, от которой значения v начинают возрастать. Подобным образом из материалов исследования алидады выбирают элементы f и P.

В избранном масштабе строят треугольник $АДК$, где $АД=f$, $ДК=f'$, $<АДК=P-P'$. Графически определяют сторону $АК=f''$ и вычисляют величину $F=f'+f''$.

Величина $2F$ и есть наибольшее значение колебания v при данной регулировке алидады. Величина $2F$ для теодолитов, предназначенных для первоклассных измерений, не должна превышать $40''$.

11.7.1.5. Аналогичным образом производят исследование эксцентриситета вертикального круга.

11.7.2. Исследование эксцентриситета горизонтального круга теодолита АУ 2/10

11.7.2.1. Для теодолита АУ 2/10 остаются в силе все положения, изложенные в пунктах 11.7.1.1—11.7.1.4, с той лишь разницей, что величину v вычисляют по формуле

$$v = m_А - m_Б \pm 180°,$$

где $m_А$ — отсчет по микроскопу А; $m_Б$ — по микроскопу Б на данной установке круга.

По результатам наблюдений строится график (рис. 11.5).

11.8. ИССЛЕДОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ ПОДСТАВКИ ТЕОДОЛИТА ПРИ ВРАЩЕНИИ АЛИДАДЫ

Смещение подставки теодолита определяют по измерению угла в 360°.

Теодолит устанавливают на бетонном или кирпичном столбе, наводят трубу после 2—3 оборотов алидады на одну и ту же цель, которой может служить длиннофокусный коллиматор. В первом приеме алидаду вращают только по ходу часовой стрелки, а во втором — только против хода часовой стрелки. Пример исследования для теодолита Вильд Т4 приведен в табл. 11.15.

Таблица 11.15

Исследование смещения подставки теодолита при вращении алидады

Теодолит Вильд Т4

Номер приема	Вращение по часов. стрелке		Вращение против часовой стрелки		Разность I—II
	отсчеты	среднее I	отсчеты	среднее II	
1	359°59′54,4″	54,40″	359°59′54,2″	54,10″	+0,30″
	54,4		54,0		
2	53,9	53,85	54,4	54,40	—0,55
	53,8		54,4		
. . .	. . . . .	. . .	. . . . .	. . .	. . . .
19	54,8	55,05	54,9	55,00	+0,05
	55,3		55,1		
20	55,6	55,60	55,5	55,75	—0,15
	55,6		56,0		
Среднее	55,02″		55,04″		—0,02″

Теодолит считается пригодным для наблюдений, если среднее значение угла из 20 приемов отклоняется от 360° не более чем на 0,1″.

11.9. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ АЛИДАДЫ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КРУГА ПРИ ПЕРЕВОДЕ ТРУБЫ ЧЕРЕЗ ЗЕНИТ

При определении поправки часов азимутальными способами без отсчетов горизонтального круга (способ Деллена, способ определения азимутальной лично-инструментальной разности), а также при определении азимута из наблюдений звезд в вертикале земного предмета непременным условием хорошего качества работ является неизменность положения верхней части теодолита при переводе трубы через зенит с зенитного расстояния одной звезды пары на зенитное расстояние другой звезды или на земной предмет. Погрешность, вызываемая азимутальным смещением алидады горизонтального круга, является, как правило, систематической и для азимутальных способов определения времени может быть подсчитана по формуле

$$\Delta u_a = \frac{M_S - M_N^*}{V_S - V_N}$$

При $M_S^* - M_N^* = 1''$ и $V_S = 15''/с$, $V_N = 0$, что имеет место при определении поправки часов (долготы) способом Деллена; $\Delta u_a = 0{,}07$ с ($\varphi = 70°$, $Z_S = 50°$).

Данная погрешность будет еще больше для способа определения азимутальной лично-инструментальной разности без отсчетов горизонтального круга (см. 6.5), так как для этого случая среднее значение знаменателя формулы $V_S - V_N$ примерно в полтора раза меньше приведенного для способа Деллена.

При определении азимута из наблюдений звезд в вертикале земного предмета величина смещения алидады горизонтального круга при переводе трубы через зенит $\Delta a_a = M^* - M$ целиком войдет в значение азимута и исказит результат.

В связи с изложенным у астрономических теодолитов, предназначенных для определения времени и азимута названными способами, исследуют устойчивость алидады горизонтального круга при переводе трубы через зенит и установке последней в новое положение. Методика исследований принимается следующей.

Трубу теодолита, установленного на столбе и тщательно отгоризонтированного, с ошибкой 1—2′ закрепляют на зенитном расстоянии Z_1. Алидаду горизонтального круга поворачивают и закрепляют на отсчете $(0 \div 5°) \pm 180°$. Дважды отсчитывают горизонтальный круг. В ведомость вычислений (табл. 11.16) записывают в столбец K_1 только значение секунд, среднее для двух взятых отсчетов.

Таблица 11.16

Теодолит Вильд Т4 12 мая 1980 г.

Номер приема	$Z_1 = 25°$			$Z_2 = 30°$			σ_c'	v
	K_1	K_4	$K1$	K_2	K_3	$K2$		
1	10,2	16,4	13,3	10,2	16,4	13,3	0,0	+0,1
2	13,8	19,0	16,4	14,0	19,2	16,6	—0,2	—1
3	14,0	9,5	11,8	14,1	9,7	11,9	—0,1	0
4	12,1	16,3	14,2	12,2	16,5	14,4	—0,2	—1
5	10,5	17,5	14,0	10,6	17,6	14,1	—0,1	0
6	15,3	11,2	13,2	15,3	11,2	13,2	0	+1
7	12,4	15,8	14,1	12,3	15,7	14,0	+0,1	+2
8	14,3	17,3	15,8	14,5	17,3	15,9	—0,1	0
9	10,6	12,0	11,3	10,8	12,2	11,5	—0,2	—1
10	12,9	17,1	15,0	13,1	17,3	15,2	—0,2	—1

$\sigma_c = -0{,}10''$, $\mu = \pm 0{,}11''$ $M_c = \pm 0{,}04''$

Не сдвигая верхней части теодолита по азимуту, осторожно переводят трубу через зенит и закрепляют на зенитном расстоянии Z_2. Дважды отсчитывают горизонтальный круг и среднее значение секунд записывают в столбец K_2 ведомости.

Переводят трубу через зенит и вновь закрепляют на зенитном расстоянии Z_2. Верхнюю часть теодолита поворачивают по ходу

часовой стрелки на 180° и устанавливают на отсчет K_2 с погрешностью не более 10″. Дважды отсчитывают горизонтальный круг, получают отсчет K_3.

Не сдвигая верхней части теодолита по азимуту, осторожно переводят трубу через зенит и закрепляют на зенитном расстоянии Z_1. Дважды отсчитывают горизонтальный круг, получают отсчет K_4.

Перечисленные действия составляют один прием. В следующем приеме установку трубы на зенитное расстояние Z_1, а в верхней части теодолита на отсчет K_1 производят заново. В остальном порядок действий сохраняется. Полное исследование включает в себя 10 приемов.

В зависимости от способа предстоящих долготных или азимутальных наблюдений зенитные расстояния Z_1 и Z_2 при определении:

поправки часов по способу Деллена принимают равными 25 и 30°;

азимутальной лично-инструментальной разности — 60 и 55°;

азимута из наблюдений звезд в вертикале земного предмета 90 и 65°

Если теодолит будет применяться для астрономических работ несколькими из перечисленных способов, исследования выполняют для каждого из них. Дополнительно названные исследования выполняют в поле перед началом работ тем или иным способом.

Результаты исследований обрабатывают в такой последовательности.

Образуют средние значения отсчетов в приемах, соответствующие положению верхней части теодолита для зенитных расстояний Z_1 и Z_2

$$K1 = (K_1 + K_4)/2;\ K2 = (K_2 + K_3)/2.$$

Вычисляют разности $\sigma_c' = K1 - K2$, представляющие собой величину смещения в приеме алидады горизонтального круга при переводе трубы через зенит.

Находят среднее значение разности σ_c из десяти приемов, равное $\sigma_c = 0{,}1 \sum \sigma_c'$.

Подсчитывают ошибки единицы веса μ и величины σ_c

$$\mu = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}};\quad M_c = \frac{\mu}{\sqrt{n}},$$

где v — уклонения отдельных значений σ_c' от среднего; $n = 10$ число исполненных приемов.

Астрономический теодолит может быть использован для наблюдений, если абсолютное значение азимутального смещения алидады горизонтального круга не превышает $\sigma_c = 0{,}2''$.

11.10. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕОДОЛИТА С ЗАКРЫТЫМИ ЦАПФАМИ НА ВЗАИМНУЮ ПЕРПЕНДИКУЛЯРНОСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ И ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОСЕЙ

К теодолитам с закрытыми цапфами относится ДКМ3-А. Определение угла i между горизонтальной и вертикальной осями в лабораторных условиях удобно выполнять на азимутальном стенде ЦНИИГАиК, в полевых условиях — по земному предмету и Полярной. Угол i определяют по измерению коллимационной ошибки C из наблюдений коллиматора с $Z = 90°$ и разностям отсчетов по горизонтальному кругу

$$C_1 = \left(\frac{МЛ_1 - МП_1}{2}\right); \quad C_2 = \left(\frac{МЛ_2 - МП_2}{2}\right),$$

получаемых при наблюдении визирных целей, закрепленных на зенитных расстояниях Z_1, Z_2. В лабораторных условиях в качестве визирных целей служат коллиматоры АК 025, расположенные в одном створе (с отклонениями не более 1°) на зенитных расстояниях $Z = 90°$; $Z_1 \geqslant 40°$; $Z \geqslant 20°$.

Наблюдения выполняют шестью приемами. Значение i вычисляют по формуле

$$i = \frac{1}{2}\left(\frac{C_1 - C \operatorname{cosec} Z_1}{\operatorname{ctg} Z_1} + \frac{C_2 - C \operatorname{cosec} Z_2}{\operatorname{ctg} Z_2}\right).$$

Для юстировки оси правый конец ее надо поднять на величину

$$x = \frac{li''}{206\,265},$$

где i — неперпендикулярность осей в секундах дуги; l — длина оси, выраженная в мм.

Юстировка ДКМ-3А конструкцией не предусмотрена.

Определение угла i по наблюдению Полярной и земному предмету выполняют по следующей методике:

1) при положении теодолита КЛ наводят на Полярную наводящим винтом алидады горизонтального круга и берут отсчет времени T_1 с точностью до 1^s и отсчет по горизонтальному кругу $МЛ_1$;

2) выполняют аналогичные наблюдения при КП, получают отсчеты T_2 и $МП$;

3) повторяют наблюдения Полярной при КЛ, получают отсчеты T_3 и $МЛ_2$.

Необходимо, чтобы наблюдения 1 и 3 велись симметрично относительно второго с точностью до 1^s. Интервал между наблюдениями желательно принимать равным 1 мин.

Таблица

Теодолит ДКМ3-А

Дата *11 июля 1979 г.* $Z = 90°00'$

$Z_1 = 54°58'$ $\operatorname{cosec} Z_1 = 1{,}221$ $\operatorname{ctg} Z_1 = 0{,}701$

$t = +25{,}0$ °C $Z_2 = 30°10'$ $\operatorname{cosec} Z_2 = 1{,}990$ $\operatorname{ctg} Z_2 = 1{,}720$

Номер приема	КЛ	КП	C	v	КЛ$_1$	КП$_1$	C_1	v_1	КЛ$_2$	КП$_2$	C_2	v_2	i_1	i_2
1	54,25″	55,60″	−0,68″	+0,45″	30,00″	31,15″	−0,58″	+0,40″	21,35″	21,80″	−0,22″	+0,33″	+0,35″	+0,66″
2	55,30	56,65	−0,68	+0,45	26,40	27,95	−0,78	+0,20	10,75	11,30	−0,28	+0,27	+0,07	+0,62
3	18,60	20,70	−1,05	+0,08	47,00	49,55	−1,28	−0,30	28,25	29,10	−0,42	+0,13	0,00	+0,97
4	43,80	46,90	−1,55	−0,42	11,40	13,90	−1,25	−0,27	52,25	54,00	−0,88	−0,33	+0,91	+1,28
5	26,90	29,30	−1,20	−0,07	56,30	58,20	−0,95	+0,03	39,10	39,85	−0,38	+0,17	+0,73	+1,17
6	18,15	21,45	−1,65	−0,52	50,40	52,50	−1,05	−0,07	37,75	40,00	−1,12	−0,57	+1,37	+1,26

$C_{ср} = -1{,}13$ $C_{1ср} = -0{,}98$ $C_{2ср} = -0{,}55$

$[v^2] = 0{,}8631$ $\left[v_1^2\right] = 0{,}3686$ $\left[v_2^2\right] = 0{,}6614$

$$i_1 = \frac{C_1 - C\operatorname{cosec} Z_1}{\operatorname{ctg} Z_1} = \frac{-0{,}98 + 1{,}13 \quad 1{,}22}{0{,}701} = +0{,}57''$$

$$i_2 = \frac{C_2 - C\operatorname{cosec} Z_2}{\operatorname{ctg} Z_2} = \frac{-0{,}55 + 1{,}13 \cdot 1{,}99}{1{,}720} = +0{,}99''$$

$$i_{ср} = 0{,}78''$$

Вычисления С по Полярной выполняют по формулам

$$МЛ = (МЛ_1 + МЛ_2)/2;$$

$$C_П = \frac{МЛ - МП \pm 180°}{2\operatorname{cosec} Z_П}.$$

Вычисление угла выполняют по формуле

$$i = \frac{C_П - C_{ЗП}}{\operatorname{ctg} Z_П}.$$

Определение коллимации по земному предмету выполняют по известной методике до и после наблюдения Полярной.

Пример определения угла i по наблюдениям в лаборатории приводится в табл. 11.17, по наблюдениям Полярной — в табл. 11.18.

Таблица 11.18

Дата 15 июля 1979 г — Теодолит **ДКМ3-А**

$\varphi = 55°51'$

$Z = 34°09'$

T_1	$17^h00^m00^s$	$МЛ_1$	1°45′36,1″
T_2	01 00	МП	181°45 52,7
T_3	02 00	$МЛ_2$	1 46 11,7

$C_{ЗП} = -1{,}20''$ $\quad МЛ = 1°45'53{,}9''$

$C_П = +0{,}35''$

$i = +1{,}05''$

11.11. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ОБОРОТА ВИНТА ОКУЛЯРНОГО МИКРОМЕТРА ГЛАВНОЙ И ПОВЕРИТЕЛЬНОЙ ТРУБ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЗЕМНОГО ПРЕДМЕТА

При определении цены оборота в полевых условиях выбирают хорошо видимый устойчивый земной предмет, удаленный на такое расстояние, чтобы можно было производить наблюдения при отфокусированной на бесконечность трубе. В лабораторных условиях земной предмет заменяют отфокусированным на бесконечность и установленным на прочном основании коллиматором.

Определение цены оборота микрометра как главной, так и поверительной трубы состоит в измерении с помощью микрометра небольшого угла, величину которого определяют и каким-либо другим способом (по отсчетам горизонтального круга исследуемого теодолита, по отсчетам горизонтального круга теодолита-коллиматора или с помощью другого микрометра, цена оборота которого известна).

Цену оборота микрометра главной трубы определяют четырьмя приемами с перестановкой горизонтального круга между приемами на 45°, а винта микрометра — на 25 делений (табл. 11.19).

Таблица 11 19

Номер приема	Установка лимба	Установка окулярного микрометра, обороты				
1	0°	8,50	9,50	10,50	11,50	12,50
2	45	8,25	9,25	10,25	11,25	12,25
3	90	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00
4	135	7,75	8,75	9,75	10,75	11,75

Каждый прием выполняется в прямом и обратном ходах (поворот алидады по ходу и против хода часовой стрелки) на четырех оборотах винта микрометра.

Рассмотрим методику определения цены оборота микрометра.

На исследуемом микрометре устанавливают нужный отсчет для первого приема, наводящим винтом алидады трубу приближенно наводят на земной предмет или выбранную вертикальную нить (биссектор) коллиматора. Затем уже точно три раза наводят подвижной нитью исследуемого микрометра на земной предмет или биссектор (нить) коллиматора, каждый раз отсчитывая по шкале головки винта. Берут отсчет по горизонтальному кругу. Затем устанавливают микрометр на следующий указанный в табл. 11.20 для этого приема отсчет и вышеуказанные действия повторяют.

До начала или после окончания исследований измеряют (до 0,1′) зенитное расстояние Z земного предмета (горизонтальной нити коллиматора).

Обработка измерений для каждого приема состоит в следующем. Для каждой установки микрометра вычисляют средние значения отсчетов по микрометру K и горизонтальному кругу M. Затем вычисляют соответствующие средние из прямого и обратного ходов, заполняя в таблице столбцы для M и K. Для удобства вычислений все отсчеты горизонтального круга можно изменить на постоянное число. Вычисляют среднее M и K и находят уклонения от средних $\Delta K_i = K - K_i$, $\Delta M_i = M - M_i$.

Вычисляют цену оборота микрометра

$$R_i' = \frac{[\Delta K_i \Delta M_i]}{[\Delta K_i^2]}; \quad R_i = R_i' \sin Z.$$

Вычисляют окончательную цену оборота микрометра по четырем приемам

$$R = \frac{[R_i]}{4}.$$

Вычисляют также ошибку определения цены оборота по формуле

$$M = \sqrt{\frac{\sum v_i^2}{12}}; \quad v_i = R_i - R.$$

Вычисленную таким образом цену оборота проверяют в случае необходимости по приближенной формуле $R = (t/F)\rho$, где t — шаг винта микрометра, F — фокусное расстояние трубы.

Для приведенного в табл. 11.20 примера $t = 0{,}35$ мм, $F = 700$ мм.

Таблица 11.20

Определение цены оборота винта микрометра главной трубы

Теодолит **ДКМ3-А** $Z = 89°36'$

Прием 1

Прямой ход		Обратный ход		K_i	ΔK_i	M_i	ΔM_i
отсчеты по микрометру K	отсчеты по кругу M	отсчеты по микрометру K	отсчеты по кругу M				
8,485	0°00′10,1″	8,535	0°00′05,3″				
486	10,3	532	05,7				
483		531					
8,4847	10,20	8,5327	05,50	8,5087	+1,9979	427,85	—196,95
9,518	359 58 28,0	9,516	359 58 28,9				
519	28,3	515	28,9				
520		513					
9,5190	28,15	9,5147	28,90	9,5168	+0,9898	328,52	—97,62
10,469	359 56 54,4	10,477	359 56 54,2				
466	54,4	478	54,0				
468		477					
10,4677	54,40	10,4773	54,10	10,4725	+0,0341	234,25	—3,35
11,491	359 55 13,0	11,515	359 55 11,5				
497	13,1	517	11,9				
491		513					
11,4930	13,05	11,5150	11,70	11,5040	—0,9974	132,38	+98,52
12,538	359 53 31,2	12,528	359 53 31,6				
533	31,2	527	31,9				
532		529					
12,5343	31,20	12,5280	31,75	12,5312	—2,0246	31,48	+199,2

Примечание. В графе M_i все отсчеты горизонтального круга уменьшены на 359°53′.

$$K = 10{,}5066 \qquad M = 230{,}90$$

$$[\Delta M \Delta K] = 992{,}234$$

$$[\Delta K^2] = 10{,}067$$

$$R_1' = 98{,}563''$$

$$R_1 = R_1' \sin Z = 98{,}561''$$

Цену оборота микрометра поверительной трубы можно определить несколькими способами. В лабораторных условиях, используя в качестве коллиматора теодолит с точно разделенным кругом, исследования и обработку проводят аналогично описанному выше для главной трубы, с той лишь разницей, что здесь переход от одной установки к другой осуществляется перемещением алидады коллиматора (при этом отсчитывают горизонтальный круг коллиматора). Отметим, что вертикальная нить коллиматора за время выполнения одного полуприема должна занимать неизменное положение.

Если коллиматор не имеет точно разделенного круга, применяют другую методику. Измеряют исследуемым микрометром поверительной трубы угол между двумя вертикальными нитями коллиматора. В полевых условиях в качестве объекта наблюдения используют две удаленные, хорошо видимые точки, имеющие примерно равные зенитные расстояния. Всего выполняют пять приемов, каждый из которых состоит из прямого и обратого ходов. Начальные установки для приемов следующие: 9,0, 9,5, 10,0, 10,5, 11,0. При каждой установке поверительной трубы биссектором (нитью) делают по три наведения на левую и правую нити коллиматора (левый и правый земной предмет).

Затем тот же угол измеряют либо с помощью горизонтального круга (шестью приемами с перестановкой круга между приемами на 30°), либо микрометром главной трубы, для чего выполняют пять приемов в прямом и обратном направлениях, делая каждый раз по три наведения на нити коллиматора (земные предметы).

Если при измерениях использовался горизонтальный круг, то следует измерить зенитное расстояние горизонтальной нити коллиматора (или точек на местности) и умножить на sin Z частное от деления значения измеренного угла в градусной мере на значение этого же угла, выраженного в оборотах винта исследуемого микрометра.

Пример определения цены деления микрометра поверительной трубы приведен в табл. 11.21.

11.12. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНЫ ОБОРОТА ВИНТА КОНТАКТНОГО МИКРОМЕТРА ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ПРОХОЖДЕНИЙ ЗВЕЗД В МЕРИДИАНЕ

Цену оборота винта контактного микрометра в полевых условиях удобнее и быстрее всего определить по наблюдениям прохождений звезд в меридиане. Для этой цели из АЕ подбираются яркие звезды со склонениями не более 65°, для которых имеются видимые места (с целью сокращения обработки). Зенитные расстояния звезд должны лежать в пределах от 0 до 40°.

Перед наблюдениями теодолит ориентируют в меридиане с погрешностью не более 2′. Наблюдения заключаются в биссецировании звезды вертикальной подвижной нитью на протяжении 10—12 центральных оборотов винта примерно симметрично относительно нуль-пункта микрометра. Изменение наклона горизонтальной оси теодолита за время наблюдения звезды считают малым и уровень не отсчитывают.

Поправка хронометра должна быть известна до $0{,}1^{m}$.

Обработку начинают с получения средних моментов регистрации звезды T для каждого i-го оборота.

Проверяют, чтобы для всех T_i выполнялось неравенство

$$|T_i - (\alpha - u)| \leqslant 3^{m}.$$

Таблица 11 21

Определение цены оборота винта микрометра поверительной трубы

Номер приема	Отсчеты по микрометру $K_п$ — Прямой ход, 1 направление	Отсчеты по микрометру $K_п$ — Прямой ход, 2 направление	Угол $\Delta K_п$	Отсчеты по микрометру $K_п$ — Обратный ход, 1 направление	Отсчеты по микрометру $K_п$ — Обратный ход, 2 направление	Угол $\Delta K_п$	Средний угол $\Delta K_п$
1	9,032 040 037	12,408 407 412	3,376 367 375 3727	12,500 498 498	9,120 128 126	3,380 370 372 3740	3,3734
2	9,541 540 536	12,912 915 918	371 375 382 3760	12,828 827 825	9,451 460 457	377 367 368 3707	3,3734
3	10,020 028 022	13,390 386 394	370 358 372 3667	13,426 426 429	10,050 048 053	376 378 376 3767	3,3717
4	10,561 560 559	13,938 933 941	377 373 382 3773	13,900 890 902	10,520 520 528	380 370 374 3747	3,3760
5	11,040 035 044	14,412 420 419	372 385 375 3773	14,500 503 509	11,126 128 135	374 375 374 3743	3,3758

Средний угол $= 3{,}3741 = \Delta K_{п.\,тр}$

Угол, измеренный микрометром главной трубы $= 480{,}74'' = \Delta K_{гл.\,тр}$

$$\frac{\Delta K_{гл.\,тр}}{\Delta K_{п.\,тр}} = R = \frac{480.74}{3{,}3741} = 142{,}48''$$

Если ориентировка теодолита выполнена с необходимой точностью, то неравенство выполняется практически всегда. Если все же для некоторых T_i неравенство не выполняется, исключают эти моменты T_i из обработки. Во всяком случае i должно быть не менее шести (оно может быть и нечетным). В противном случае проверяют ориентировку теодолита в меридиане и после исправлений выполняют повторные наблюдения.

Окончательную цену оборота микрометра получают как среднее из наблюдений не менее трех звезд, причем отдельные значения цены оборота не должны отличаться друг от друга более чем на 0,15″

Вычисления цены оборота винта микрометра производят по формулам

$$R = R_0 - \rho;\ \rho = \frac{R_0}{3600};\ R_0 = 15\cos\delta\,\frac{[(K_0 - K_i)(T_0 - T_i)]}{[(K_0 - K_i)^2]};$$

$$K_0 = \frac{1}{n}[K_i];\ T_0 = \frac{1}{n}[T_i]$$

и окончательно

$$R = 14{,}9958\cos\delta\,\frac{[(K_0 - K_i)(T_0 - T_i)]}{[(K_0 - K_i)^2]}.$$

В формулах K_i — порядковый номер оборота; ρ — поправка за астрономическую рефракцию.

В табл. 11.22 приведен пример определения цены оборота винта микрометра по прохождению звезд в меридиане.

Таблица 11.22

8/9 августа 1978 г. Астрономический теодолит ДКМ3-А
Звезда № 440 $\alpha = 18^h06^m44^s$ $\delta = 28°45'52{,}17''$, $u \sim +20^s$

$$|T_i - (\alpha - u)|_{max} < 3^m$$

K_i	T_i	$T_0 - T_i$	$K_0 - K_i$
1	$18^h06^m02{,}72^s$	+41,05	+5,5
2	10,12	+33,65	+4,5
3	17,54	+26,23	+3,5
4	25,14	+18,63	+2,5
5	32,63	+11,14	+1,5
6	40,09	+3,68	+0,5
7	47,51	−3,74	−0,5
8	54,91	−11,14	−1,5
9	07 02,37	−18,60	−2,5
10	09,95	−26,18	−3,5
11	17,41	−33,64	−4,5
12	18 07 24,81	−41,04	−5,5

$T_0 = 18^h06^m43{,}77^s$ $K_0 = 6{,}5$ $R_0 = 98{,}203''$

$R = 98{,}171''$

11.13. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ И ХОДОВЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ВИНТА МИКРОМЕТРА

11.13.1. Определение периодических погрешностей винта

Исследования выполняются по способу Ридберга. В первом приеме подвижную нить микрометра испытателя (см. 10.12) или коллиматора устанавливают по отношению к неподвижной его нити на расстоянии 3/5 оборота исследуемого винта, во втором приеме 4/5 оборота, т. е. интервалы, выраженные в делениях, будут соответственно 60 и 80 делений, если шкала головки разделена на 100 частей.

Измерения каждого интервала в отдельном приеме производятся на протяжении четырех смежных оборотов, расположенных

по два, симметрично относительно нуль-пункта (10,0об) исследуемого микрометра, следующим образом. Биссектор нитей исследуемого микрометра ставят на отсчет 8,0 оборотов. Совмещают *левую нить микроскопа испытателя с биссектором исследуемого* микрометра. При использовании коллиматора такое совмещение осуществляют при помощи азимутального наводящего винта теодолита. После указанной установки производится измерение интервала: действуя винтом исследуемого микрометра на ввинчивание, тщательно наводят по три раза на левую и правую нити прибора (коллиматора), отсчитывая по шкале микрометра. Вычислив разности отсчетов, *образуют* среднюю разность, обозначаемую *d*. Затем устанавливают биссектор исследуемого микрометра на отсчет 8 оборотов 20 делений, совмещают его с левой нитью микрометра испытателя и, произведя измерение того же интервала, получают d_{20}. Аналогично находят d_{40}, d_{60}, d_{80}. Из пяти результатов измерений интервала образуют среднее значение $d_{ср}$, отклонения от которого $d_{ср}-d_i$ и будут представлять собой исходные величины для вычисления периодических поправок на этом (девятом) обороте винта. Подобные измерения и вычисления выполняют еще на трех старших смежных оборотах винта исследуемого микрометра.

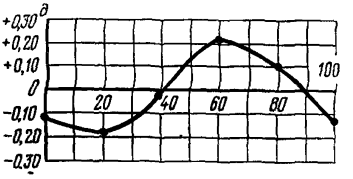


Рис. 11.6. График поправок за периодические погрешности винта микрометра

Далее переходят ко второму приему измерений, установив интервал 4/5 оборота.

Обозначим через Δ уклонения, полученные в измерениях интервала 3/5 оборота, через Δ′ — уклонения в измерениях интервала 4/5 оборота. Вычисляют средние значения Δ_i и Δ'_i по i-й установке из всех четырех оборотов, где $i = 0, 20, 40, 60, 80$; затем по ним находят периодические поправки, пользуясь формулами:

$$\sigma_0 = \frac{\Delta_{40} + \Delta'_{20} - (\Delta_0 + \Delta'_0)}{5},$$

$$\sigma_{20} = \frac{\Delta_{60} + \Delta'_{40} - (\Delta_{20} + \Delta_{20}}{5}$$

и т. д.

По полученным значениям поправок строят график (рис. 11.6) и проводят плавную кривую. Периодическая поправка винта окулярного микрометра не должна превосходить 0,2—0,3 деления шкалы микрометра.

Пример на определение периодических поправок винта окулярного микрометра главной трубы астрономического теодолита приведен в табл. 11.23.

Таблица 11.23

Исследование периодических погрешностей винта окулярного микрометра

Дата *19 апреля 1978 г.*

Теодолит Вильд Т4

Интервал 3/5 оборота

Измерение угла	d	Δ	Измерение угла	d	Δ	Измерение угла	d	Δ	Измерение угла	d	Δ	$\Delta_{ср}$
$8^{об}0{,}2^{д}60{,}0^{с}$	$59{,}8^{д}$		$9^{об}0{,}1^{д}59{,}7^{д}$	$59{,}6^{д}$		$9^{об}09{,}1^{д}58{,}5^{д}$	$59{,}4^{д}$		$10^{об}99{,}9^{д}59{,}3^{д}$	$59{,}4^{д}$		
0,3 60,0	59,7		0,1 59,8	59,7		99,0 58,7	59,7		0,0 59,1	59,1		
0,3 60,0	59,7		0,0 59,7	59,7		99,1 58,4	59,4		98,8 59,2	59,4		
	59,73	$+0{,}18^{с}$		59,67	$+0{,}15^{д}$		59,47	$+0{,}49^{д}$		59,30	$+0{,}48^{д}$	$+0{,}32^{д}$
19,8 79,8	60,0		20 0 79,6	59,6		20,2 80,0	59,8		20,2 79,8	59,6		
19,9 79,6	59,7		20,1 79,4	59,3		20,2 80,0	59,8		20,2 79,8	59,6		
19,8 79,7	59,9		20,0 79,3	59,3		20,3 80,0	59,7		20,1 79,8	59,7		
	59,87	+0,04		59,40	+0,42		59,77	+0,19		59,63	+0,15	+0,20
40,2 0,5	60,3		40,0 0,0	60,0		40,0 0,2	60,2		40,0 99,9	59,9		
40,2 0,2	60,0		40,0 99,8	59,8		40,0 0,0	60,0		40,0 99,9	59,9		
40,0 0,2	60,2		40,0 99,8	59,8		40,2 0,0	59,8		40,1 0,0	59,9		
	60,17	−0,26		59,87	−0,05		60,00	−0,04		59,90	−0,10	−0,12
60,2 20,2	60,0		60,0 20,3	60,3		60,4 21,0	60,6		60,0 20,3	60,3		
60,1 20,1	60,0		60,1 20,2	60,1		60,3 21,0	60,7		60,2 20,3	60,1		
60,0 20,1	60,1		60,0 20,1	60,1		60,3 20,9	60,6		60,6 20,1	60,1		
	60,03	−0,12		60,17	−0,35		60,63	−0,67		60,17	−0,39	−0,38
80,5 40,1	59,6		80,1 40,0	59,9		80,3 40,1	59,8		80,0 40,0	60,0		
80,3 40,0	59,7		79,9 40,0	60,1		80,1 40,1	60,0		80,0 39,9	59,9		
80,1 40,0	59,9		80,0 40,0	60,0		80,2 40,1	60,0		80,0 39,8	59,8		
	59,73	+0,18		60,0	−0,18		59,93	+0,03		59,90	−0,12	−0,02
$d_{ср} = 59{,}91$			$d_{ср} = 59{,}82$			$d_{ср} = 59{,}96$			$d_{ср} = 59{,}78$			

Интервал 4/5 оборота

Измерение угла	d_i	Δ'	Измерение угла	d_i	Δ'	Измерение угла	d_i	Δ'	Измерение угла	d_i	Δ'	$\Delta'_{ср}$
$8^{об}0,2^{д}80,9^{д}$	$80,7^{д}$		$8^{об}99,4^{д}80,0^{д}$	$80,06^{д}$		$9^{об}99,7^{д}80,1^{д}$	$80,4^{д}$		$11^{об}0,0^{д}80,1^{д}$	$80,1^{д}$		
0,1 80,8	80,7		99,4 80,1	80,7		99,9 80,2	80,3		0,0 79,0	79,9		
0,2 80,8	80,6		99,5 80,3	80,8		99,7 80,2	80,5		99,8 80,2	80,4		
	80,67	$+0,22^{д}$		80,70	+0,05′		80,40	$+0,61^{д}$		80,13	$+0,47^{д}$	$+0,34^{д}$
20,0 1,1	81,1		19,8 0,1	80,3		20,0 0,8	80,8		20,5 0,9	80,4		
20,2 1,1	80,9		19,8 0,1	80,3		20,0 0,8	80,8		20,3 0,9	80,6		
20,1 1,0	80,9		19,8 0,1	80,3		20,0 0,8	80,8		20,1 0,1	80,0		
	80,97	+0,45		80,30	+0,15		80,80	+0,01		80,33	+0,27	+0,16
40,2 21,2	81,0		40,0 20,8	80,8		40,5 21,4	80,9		40,1 21,0	80,9		
40,2 21,2	81,0		40,0 21,0	81,0		40,3 21,5	81,2		40,2 21,0	80,8		
40,3 21,0	80,7		40,0 21,0	81,0		40,4 21,6	81,2		40,2 21,0	80,8		
	80,90	−0,01		80,93	−0,18		81,10	−0,29		80,83	−0,23	−0,18
59,9 41,0	81,1		60,0 41,1	81,1		60,0 41,2	81,2		60,2 41,1	80,9		
59,9 41,0	81,1		60,2 41,1	80,9		59,9 41,2	81,3		60,2 41,2	81,0		
59,8 41,0	81,2		60,0 41,1	81,1		60,1 41,1	81,0		60,1 41,2	81,1		
	81,13	−0,24		81,03	−0,28		81,17	−0,36		81,00	−0,40	−0,32
79,8 60,6	80,8		80,1 60,9	80,8		79,9 60,6	80,7		80,8 61,5	80,7		
80,0 60,7	80,8		80,2 60,8	80,6		80,0 60,5	80,5		80,7 61,4	80,7		
79,7 60,6	80,9		80,1 61,0	80,9		79,9 60,4	80,5		80,8 61,5	80,7		
	80,80	+0,09		80,77	−0,02		80,57	+0,24		80,70	−0,10	+0,05
$d_{ср} = 80,89$			$d_{ср} = 80,75$			$d_{ср} = 80,81$			$d_{ср} = 80,60$			

Продолжение табл 11 23

Отклонения	Δ	Δ'	Формулы для $5\sigma_i$	$5\sigma_i$
Δ_0	$+0{,}32^\partial$	$+0{,}34^\partial$	$5\sigma_0 = \Delta_{40} + \Delta'_{20} - (\Delta_0 + \Delta'_0)$	$-0{,}62^\partial$
Δ_{20}	$+0{,}20$	$+0{,}16$	$5\sigma_{20} = \Delta_{60} + \Delta'_{40} - (\Delta_{20} + \Delta'_{20})$	$-0{,}92$
Δ_{40}	$-0{,}12$	$-0{,}18$	$5\sigma_{40} = \Delta_{80} + \Delta'_{60} - (\Delta_{40} + \Delta'_{40})$	$-0{,}04$
Δ_{60}	$-0{,}38$	$-0{,}32$	$5\sigma_{60} = \Delta_0 + \Delta'_{80} - (\Delta_{60} + \Delta'_{60})$	$+1{,}07$
Δ_{80}	$-0{,}02$	$+0{,}05$	$5\sigma_{80} = \Delta_{20} + \Delta'_0 - (\Delta_{80} + \Delta'_{80})$	$+0{,}51$

Периодические поправки

σ_0	σ_{20}	σ_{40}	σ_{60}	σ_{80}
$-0{,}12^\partial$	$-0{,}18^\partial$	$-0{,}01^\partial$	$+0{,}21^\partial$	$+0{,}10^\partial$

11.13.2. Исследование ходовых погрешностей винта микрометра

Винт микрометра оптического теодолита исследуется на восьми оборотах, а теодолит АУ 2/10 — на 16, расположенных симметрично относительно нуль-пункта ($10{,}0^{об}$). В каждом случае измеряется интервал в 2 оборота винта. Производится три ряда измерений четырех (восьми) интервалов в каждом ряде, указанном ниже:

I-й ряд:	6—8	8—10	10—12	12—14
II-й ряд:	5,5—7,5	7,5—9,5	9,5—11,5	11,5—13,5
III-й ряд:	6,5—8,5	8,5—10,5	10,5—12,5	12,5—14,5

При каждой установке биссектор нитей исследуемого микрометра трижды наводят ввинчиванием винта сперва на левую, а затем на правую нити микроскопа испытателя (или коллиматора). По средним из трех наведений вычисляют величину интервала d_i. По каждому ряду находят среднее значение интервала $d_{ср}$, а затем уклонения от этого среднего $\Delta d_i = d_{ср} - d_i$, которые представляют собой ходовые поправки интервалов, т. е. $\Delta d_i = \Delta_{i+2} - \Delta_i$.

Приняв поправку винта в нуль-пункте равной нулю ($\Delta_{10} = 0$), получают ходовые поправки четных оборотов по формулам:

$$\Delta_{10} = 0; \qquad \Delta_{12} = \Delta_{12} - \Delta_{10};$$
$$\Delta_8 = -(\Delta_{10} - \Delta_8); \qquad \Delta_{14} = \Delta_{12} + (\Delta_{14} + \Delta_{12}).$$
$$\Delta_6 = \Delta_8 - (\Delta_8 - \Delta_6).$$

Вычислив среднее для соответствующих оборотов из трех рядов, тем самым получают окончательные значения поправок; их

Таблица 11.24

Определение ходовых погрешностей винта контактного микрометра

Дата *20 апреля 1978 г.*
Теодолит Вильд Т4

Ряд измерения									Среднее из I, II и III
I			II			III			
Отсчеты по микрометру		$\Delta_{i+2}-\Delta_i$ Δ_i и d_i	Отсчеты по микрометру		$\Delta_{i+2}-\Delta_i$ Δ_i и d_i	Отсчеты по микрометру		$\Delta_{i+2}-\Delta_i$ Δ_i и d_i	$\Delta_{ср}$
$6^{об}4{,}0^{д}$	$8^{об}$ 3,0′	$\Delta_8-\Delta_6=+9$	$5^{об}52{,}6^{д}$	$7^{об}52{,}2^{д}$	$\Delta_8-\Delta_6=-18$	$6^{об}52{,}6^{д}$	$8^{об}52{,}3^{д}$	$\Delta_8-\Delta_6=-16$	
3,8	3,1	$\Delta_6=+6$	52,7	52,2	$\Delta_6=+33$	52,8	52,3	$\Delta_6=+36$	$\Delta_6=+0{,}25^{д}$
3,8	3,0		52,8	52,2		52,7	52,1		
$6{,}0387^{об}$	$8{,}0303^{об}$	$1{,}9916^{об}$	$5{,}5270^{об}$	$7{,}5220^{об}$	1,9950	$6{,}5270^{об}$	$8{,}5223^{об}$	1,9953	
8 5,7	10 5,0	$\Delta_{10}-\Delta_8=-15$	7 52,5	9 52,0	$\Delta_{10}-\Delta_8=-15$	8 52,1	10 51,7	$\Delta_{10}-\Delta_8=-20$	
5,7	5,1	$\Delta_8=+15$	52,4	51,9	$\Delta_8=+15$	52,0	51,7	$\Delta_8=+20$	$\Delta_8=+0{,}17$
5,7	5,2		52,5	51,8		52,2	51,6		
8,0570	10,0510	1,9940	7,5247	9 ,5190	1,9943	8,5210	5167	1,9957	$\Delta_{10}=0$
		$\Delta_{12}-\Delta_{10}=-5$	9 51,9	11 51,1	$\Delta_{12}-\Delta_{10}=+5$	10 51,8	12 51,0	$\Delta_{12}-\Delta_{10}=+20$	
10 1,2	12 0,4	$\Delta_{12}=-5$	51,7	51,1	$\Delta_{12}=+5$	51,9	51,0	$\Delta_{12}=+20$	$\Delta_{12}=+0{,}07$
1,2	0,5		51,8	51,0		51,8	51,0		
10,0120	12,0050	1,9930	9,5180	11,5107	1,9927	10,5183	12,5100	1,9917	
12 4,0	14 3,2	$\Delta_{14}-\Delta_{12}=+12$	11 50,	13 50,0	$\Delta_{14}-\Delta_{12}=+22$	12 51,0	14 50,2	$\Delta_{14}-\Delta_{12}=+17$	$\Delta_{14}=+0{,}24$
4,1	3,2	$\Delta_{14}=+7$	51,0	50,0	$\Delta_{14}=+27$	50,8	50,1	$\Delta_{14}=+37$	
4,2	3,3		50,9	50,0		50,9	50,0		
12,0410	14,0323	1,9913	11,5090	13,5000	1,9910	12,5090	14,5010	1,9920	
		$d_{ср}=1{,}9925$			$d_{ср}=1{,}9932$			$d_{ср}=1{,}9937$	

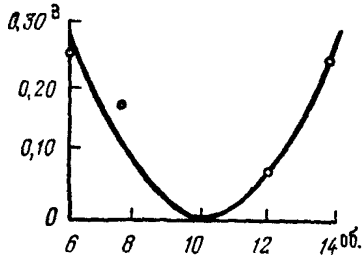


Рис. 11.7. *График поправок за ходовые погрешности винта микрометра*

наносят на график и проводят плавную кривую (рис. 11.7). Если величины ходовых погрешностей превышают 1″ на 6—8 оборотов винта, тогда в результаты первоклассных астрономических измерений вводят поправки, снятые с графика.

Пример на определение ходовых погрешностей винта микрометра астрономического теодолита приведен в табл. 11.24.

11.14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕРТВОГО ХОДА ВИНТА КОНТАКТНОГО МИКРОМЕТРА

Для определения мертвого хода Мх винта производят наведения одиночной подвижной нити микрометра на неподвижный биссектор сначала на ввинчивание винта микрометра, а затем на вывинчивание, действуя ручками привода (при ввинчивании отсчеты по шкале микрометра возрастают, при вывинчивании — убывают). При каждом наведении отсчитывают по шкале микрометра. Таких пар наведений выполняют одну вслед за другой 10 раз, что составит одну серию измерений (табл. 11.25). Всего производят две серии измерений, из них одну на верхних, другую на нижних координатных нитях (микрометр ЦНИИГАиК теодолита АУ 2/10) или пользуясь в первой серии одной, во

Таблица 11 25

Определение мертвого хода винта контактного микрометра

Дата *28 сентября 1978 г.* $t° = +11{,}2°$
Теодолит ДКМ3-А $\mu = 1{,}00″$

Номер измерения	Ввинчивание	Вывинчивание	Мх	Ввинчивание	Вывинчивание	Мх
	1-я серия			2-я серия		
1	1,9	1,8	+0,1	3,9	3,7	+0,2
2	1,8	1,8	0,0	3,8	3,7	+0,1
3	1,8	1,7	+0,1	3,8	3,6	+0,2
4	1,8	1,8	0,0	3,7	3,8	—0,1
5	1,8	1,7	+0,1	3,9	3,7	+0,2
6	1,9	1,7	+0,2	3,8	3,6	+0,2
7	1,8	1,6	+0,2	3,7	3,5	+0,2
8	1,8	1,9	—0,1	3,6	3,6	0,0
9	1,9	1,9	0,0	3,7	3,5	+0,2
10	1,9	1,8	+0,1	3,8	3,6	+0,2
		Среднее	+0,07			+0,14

Среднее из 1-й и 2-й серий $Мх = +0{,}105^д = +0{,}105″$

второй — другой подвижной нитью (микрометр оптических теодолитов). Разность отсчетов «ввинчивание минус вывинчивание» дает величину мертвого хода винта в делениях шкалы; зная цену одного деления μ мертвый ход Мх выражают в секундах дуги $(Мх)'' = \mu(Мх)^{д}$. За окончательное значение Мх принимают среднее из двух серий. Величина Мх допускается не более 0,5″.

Мертвый ход винта определяют каждый вечер наблюдений. До исполнения полевых астрономических определений мертвый ход исследуют по расширенной программе, при установках трубы теодолита на зенитные расстояния 0,45, 90° при одном круге или при двух кругам в зависимости от программы полевых работ. Если при этом будет обнаружено изменение величины мертвого хода больше чем на 0,1″, то микрометр подлежит исправлению механиком.

11.15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ШИРИНЫ КОНТАКТОВ МИКРОМЕТРА

Для измерения ширины контактов Шк составляют электрическую цепь из последовательно включенных: источника постоянного тока (напряжением 3—5 В), телефонной трубки с сопротивлением около 600 Ом и контактов микрометра. Действуя ручкой привода, медленно поворачивают винт на ввинчивание вблизи первого рабочего контакта. Вращение прекращают как только появляется щелчок, слышимый в телефон, после чего отсчитывают по шкале; затем продолжают вращение винта в том же направлении; повернув приблизительно на одно деление, когда снова появляется щелчок на другой стороне контакта, производят второй отсчет по шкале; разность отсчетов дает ширину отдельного контакта. Так поступают последовательно на каждом рабочем контакте в пределах одного оборота. По всем отсчетам серии выводят среднюю ширину контактов. Полное исследование выполняют на двух соседних центральных оборотах, т. е. производят две серии измерений. За окончательное значение Шк принимают среднее из двух серий. Умножив на цену одного деления μ шкалы, получают Шк в секундах дуги (табл. 11.26). Ширину контактов определяют на каждом полевом пункте и всякий раз после регулировки микрометра. Для совместного и единообразного учета влияния поправок за Мх и Шк определяется знак величины Шк и составляется разность МШ в виде МШ = Мх — Шк.

Для определения знака Шк микрометр подключают к хронографу так же, как и для регистрации моментов наблюдений звезд. Далее на каком-нибудь контакте берут отсчет по шкале микрометра, соответствующий срабатыванию записывающего устройства хронографа при вращении винта на ввинчивание, затем отсчет, соответствующий срабатыванию при вращении винта на вывинчивание. Момент срабатывания устанавливается

Таблица 11.26

Определение ширины контактов микрометра

Дата *28 сентября 1978 г.* $t = +12\,^{\circ}C$

Теодолит Вильд Т4 $\mu = 1{,}00''$

Номер контакта	Отсчеты		Шк	Отсчеты		Шк	Шк четные контакты
	первый край	второй край		первый край	второй край		
	10-й оборот			11-й оборот			
1	$4{,}5^{\partial}$	$5{,}4^{\partial}$	$0{,}9^{\partial}$	$4{,}6^{\partial}$	$5{,}6^{\partial}$	$1{,}0^{\partial}$	$0{,}85^{\partial}$
2	14,6	15,4	0,8	14,6	15,5	0,9	
3	24,6	25,6	1,0	24,7	25,8	1,1	
4	34,5	35,6	1,1	34,4	35,4	1,0	1,05
5	44,6	45,5	0,9	44,6	45,5	0,9	
6	54,4	55,5	1,1	54,5	55,5	1,0	1,05
7	64,5	65,5	1,0	64,5	65,6	1,1	
8	74,6	75,6	1,0	74,6	75,6	1,1	1,05
9	84,4	85,6	1,2	84,4	85,6	1,2	
10	94,1	95,1	1,0	94,2	95,2	1,0	1,00
		Среднее	1,00		Среднее	1,02	1,000

Из измерений на двух оборотах:

среднее из десяти контактов Шк $= -1{,}010^{\partial} = -1{,}010''$;

среднее из пяти четных контактов Шк $= -1{,}000^{\partial} = -1{,}000''$.

на слух или визуально. Знак Шк определяется по разности между первым и вторым отсчетами.

Перед Шк поставлен знак минус (см. табл. 11.26), так как при ввинчивании винта срабатыванию на запись на каждом контакте соответствует меньший отсчет по шкале, а при вывинчивании — больший.

Далее надо иметь в виду следующие условия. Если при обработке наблюдений на каждом обороте из двух смежных будут использованы не все десять отметок времени по контактам, а только пять (через контакт, т. е. на двух рабочих оборотах пять симметричных пар), тогда возможны два случая вывода Шк в зависимости от конструкции контактного цилиндра:

1) когда начало оборота на контактном цилиндре отмечено одним опознавательным контактом (нулевым), расположенным на середине промежутка между какими-либо двумя рабочими, тогда надлежит пользоваться значением Шк, выведенным по всем десяти контактам, так как на одном обороте войдут отметки времени по пяти нечетным, на другом — по пяти четным (симметричным) контактам;

2) когда на контактном цилиндре один из десяти контактов, принимаемый за первый и за начало оборота, расположен на середине между двумя сближенными дополнительными контактами, тогда величину Шк надлежит выводить только по пяти четным контактам.

В табл. 11.26 содержатся измерения Шк такого микрометра, контактное устройство которого отвечает условию 2, поэтому

для него в последней графе выведено еще среднее значение Шк=1,000 по пяти четным контактам.

Таким образом, по результатам измерений Мх = +0,105″ (см. табл. 11.25) и Шк (см. табл. 11.26) имеем для контактного микрометра, удовлетворяющего условию 2:

а) для случая использования на каждом обороте моментов наблюдений по десяти контактам (всего 20 моментов на 2-х оборотах)

$$МШ = Мх - Шк = +0{,}105'' - (-1{,}010'') = +1{,}115'';$$

б) для случая использования на каждом обороте 5 моментов наблюдений (через контакт, всего 10 моментов на 2-х оборотах)

$$МШ = Мх - Шк = +0{,}105'' - (-1{,}000'') = +1{,}105''.$$

11.16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ БОКОВЫХ НИТЕЙ ОТ СРЕДНЕЙ

Для определения расстояний боковых нитей от средней наблюдают в меридиане прохождение северных звезд со склонениями меньше 80° через вертикальные нити сетки. Подходящие для наблюдений звезды выбирают из АЕ, пользуясь «средними местами» звезд.

Перед наблюдениями теодолит горизонтируют и поверяют вертикальность нитей сетки.

При появлении звезды в поле зрения установку трубы по высоте корректируют так, чтобы звезда двигалась приблизительно по подвижной горизонтальной нити, установленной в нуль-пункте микрометра.

Наблюдатель берет счет хронометра и отмечает моменты T пересечения звездой каждой нити сетки (табл. 11.27). Образовав разности ΔT_i между моментами прохождения через боковые и среднюю нити, вычисляют искомые расстояния по формуле

$$f_i = 15\Delta T_i \cos\delta.$$

Таблица 11 27

Дата *7 августа 1979 г* Теодолит *АУ 2/10 № 4713*

Звезда γ Cassiopeiae

δ=60°36′12″ cos δ = 0,49085 15 cos δ = 7,3628

Счет нитей от гребенки

Номер нити	T	ΔT	f	Номер нити	T	ΔT	
1	$0^h55^m04{,}2^s$	48,9^s	360,0″	6	$56^m05{,}3$	12,2	89,8
2	16,4	36,7	270,2	7	17,6	24,5	180,4
3	28,7	24,4	179,7	8	29,9	36,8	270,9
4	40,9	12,2	89,8	9	42,1	49,0	360,8
5	53,1	—	—				

Из определений по 4—5 звездам вычисляют средние значения $f_{ср}$ для каждой нити. Удобнее всего вести счет нитей от гребенки или шкалы оборотов. Можно также первой нитью считать ту, через которую звезда в верхней кульминации проходит раньше, чем через другие при положении теодолита «окуляр W». В материалах исследования должно быть указано направление счета нитей.

11.17. ИССЛЕДОВАНИЕ БОКОВОГО ГНУТИЯ ТРУБЫ

Под боковым гнутием трубы астрономического теодолита подразумевают изменение коллимации визирной оси трубы в зависимости от зенитного расстояния. Для исследования бокового гнутия применяют автоколлимационный способ.

Применительно к астрономическим теодолитам АУ 2/10, Вильд Т4 и ДКМ3-А исследование бокового гнутия производится следующим образом. На объективном конце трубы теодолита укрепляют специальную оправу с зеркалом, а в коробке микрометра обычный окуляр заменяют автоколлимационным. Коробку микрометра ориентируют так, чтобы подвижные нити занимали вертикальное положение. Слегка открепляют винты оправы, чтобы зеркало получило небольшую свободу перемещения во всех трех плоскостях. Изменяя от руки положение зеркала относительно оправы, добиваются появления отраженного светового блика в поле зрения трубы теодолита, после чего постепенно закрепляют винты оправы, удерживая световой блик в поле зрения. Действуя юстировочными винтами, добиваются получения отраженного от подвижной нити изображения вблизи изображения действительной подвижной нити, которая должна быть предварительно установлена в нуль-пункте микрометра. После получения такой отраженной картины надежно закрепляют юстировочные винты и винты оправы, следя за тем, чтобы не деформировалась отражающая поверхность зеркала. Деформация зеркала обнаруживается по искажению (искривлению) отраженного изображения. После юстировки зеркала выдерживают паузу в 20—30 мин для того, чтобы прекратились остаточные деформации юстировочных винтов.

Перед началом исследований определяют и исправляют с погрешностью 1—2′ место зенита на вертикальном круге теодолита, после чего приступают к измерениям.

Полное исследование бокового гнутия трубы астрономического теодолита включает три серии измерений, между которыми оправа с зеркалом разворачивается по ходу часовой стрелки на угол 120°. Одна серия включает девять приемов, выполняемых на зенитных расстояниях трубы 90, 80, 70,... , 20, 10°. Каждый прием серии (например, первый, для $Z_1 = 90°$) выполняют в следующем порядке.

Трубу астрономического теодолита закрепляют на зенитном расстоянии $Z_1 = 90°$ с таким расчетом, чтобы головка винта окулярного микрометра находилась слева от наблюдателя, обращенного лицом к микрометру. Вращая винт микрометра в сторону возрастания отсчетов по его шкале, трижды вводят отраженное изображение одиночной нити сетки в действительное (прямое) изображение биссектора. Каждое наведение сопровождается отсчетом $M_{бл}$ по шкале. Переводят трубу через зенит и устанавливают на то же зенитное расстояние ($Z_1 = 90°$). При этом головка винта окулярного микрометра расположится справа от наблюдателя. Шесть раз подряд вводят отраженное изображение одиночной подвижной нити сетки в действительное изображение биссектора, сопровождая каждое наведение отсчетом $M_{бп}$ по шкале. Переводят трубу через зенит и закрепляют на зенитном расстоянии $Z_1 = 90°$. Делают три наведения и берут три отсчета $M_{бл}$ по шкале микрометра. Аналогично выполняют и другие приемы на остальных зенитных расстояниях.

Обработку результатов измерений (табл. 11.28) ведут в такой последовательности:

вычисляют среднее значение отсчета (из шести) $M^z_{ср}$ для каждой установки трубы в приемах и среднее значение отсчетов из трех серий для данного зенитного расстояния до $M^z_{бл}$ и после $M^z_{бп}$ перевода трубы через зенит;

находят полуразности $\Delta M^\partial = \frac{1}{2}(M^z_{бл} - M^z_{бп})$;

значения полуразностей ΔM^∂ переносят в табл. 11.29;

для каждого табличного зенитного расстояния Z вычисляют коэффициент $K = 0{,}01R'' \operatorname{cosec} Z$, где R'' — цена оборота винта микрометра в секундах дуги;

по формуле $\Delta M_{бг} = \Delta M^\partial K$ находят значения величин $\Delta M_{бг}$.

Астрономический теодолит считается пригодным для точных астрономо-геодезических работ, если абсолютные значения величин $\Delta M_{бг}$ не превышают $0{,}5''$. Исследования бокового гнутия выполняют до выезда на полевые работы и на каждом полевом пункте, сразу после прибытия на него. Поправки за боковое гнутие вводят по результатам исследований теодолита на данном полевом пункте в значение азимута a'_*, вычисленного со средним моментом наблюдений звезды в приеме, так что $a_* = a_1 + \Delta a_{бг}$. Поправку $\Delta a_{бг}$ для случая определения азимута земного предмета любым из способов, изложенных в 6, вычисляют по формуле

$$\Delta a_{бг} = \pm(\Delta M^{зп}_{бг} - \Delta M^{*}_{бг}),$$

в которой величины $\Delta M^{зп}_{бг}$ и $\Delta M^{*}_{бг}$ выбирают из табл. 11.30 для зенитных расстояний земного предмета и звезды соответственно.

Таблица 11.28

Исследование бокового гнутия зрительной трубы

Дата *1 апреля 1980 г.* Теодолит ДКМ3-А $R'' = 98{,}04''$

Номер приема	Зенитное расстояние	Порядок действий	Отсчет по микрометру (головка слева) Серия 1	Серия 2	Серия 3	Порядок действий	Отсчет по микрометру (головка справа) Серия 1	Серия 2	Серия 3	ΔM^{∂}
1	90°	(1)	24,2	27,1	18,2	(4)	25,2	27,6	18,7	
		(2)	24,3	27,1	18,2	(5)	25,2	27,6	18,7	
		(3)	24,7	27,4	18,5	(6)	24,9	27,9	19,0	
		(10)	25,0	27,8	18,9	(7)	25,0	27,8	18,9	
		(11)	24,8	27,3	18,4	(8)	25,2	27,8	18,9	
		(12)	25,0	27,2	18,3	(9)	25,0	27,7	18,8	
		$M_{ср}$	24,7	27,3	18,4	$M_{ср}$	25,1	27,7	18,8	
		$M_{бл}$	23,47			$M_{бп}$	23,87			−0,20
2	80°									−0,18
3	70									−0,07
4	60									−0,12
5	50									−0,24
6	40									+0,08
7	30									+0,47
8	20									+0,15
9	10									+0,02

Таблица 11.29

Вычисление поправок $\Delta M_{бг}$ за боковое гнутие

Теодолит ДКМ3-А

z	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
ΔM	+0,02	+0,15	+0,47	+0,08	−0,24	−0,12	−0,07	−0,18	−0,20
K	5,64	2,87	1,96	1,53	1,28	1,13	1,04	1,00	0,98
$\Delta M_{бг}$	+0,11″	+0,43″	+0,92″	+0,12″	− 031″	−0,14″	−0,07″	−0,18″	−0,20″

При широтных и долготных определениях азимутальными способами поправку за боковое гнутие трубы $\Delta a_{бг}$, которой также исправляют вычисленные азимуты звезд a'_*, находят из выражения: $\Delta a_{бг} = \pm(-\Delta M^*_{бг})$ так, что $a'_* = a'_* = a'_* + \Delta a_{бг}$. В приведенных формулах знак плюс перед скобками принимают для теодолитов АУ 2/10 и ДКМ3-А а знак минус — для теодолита Вильд Т4.

11.18. ЭТАЛОНИРОВАНИЕ ТЕОДОЛИТОВ НА АЗИМУТАЛЬНОМ СТЕНДЕ

По известному зенитному расстоянию средней горизонтальной нити автоколлиматора вычисляют коэффициенты для определения поправок за наклон горизонтальной оси эталонного прибора и исследуемого теодолита. Вычисления выполняют по формуле

$$K = \frac{\tau \cos Z}{4R},$$

где τ — цена деления уровня в секундах дуги; Z — зенитное расстояние коллиматора; R — цена деления оборота окулярного микрометра автоколлиматора в секундах дуги.

Порядок наблюдений при определении поправок (табл. 11.30, 11.31).

Эталонный прибор устанавливают в рабочее положение, горизонтируют и, вращая ось прибора, совмещают по высоте действительное и отраженное изображение нитей окулярного микрометра горизонтального автоколлиматора.

Таблица 11.30

Определение азимутальной поправки

Дата *30 марта 1979 г.* Теодолит *Вильд Т4 № 120764*

Измерение зенитных расстояний коллиматоров

Коллиматор	КЛ		КП		$\frac{1}{2}$ (КЛ + КП)
	отсчеты	среднее	отсчеты	среднее	
Верхний (ВК)	41°46′37,2″ 37,4	37,30″	322°01′15,9″ 16,0	15,95″	39°52′40,68″
Средний (СК)	68 57 39,4 39,9	39,65″	294 51 13,4 14,0	13,70″	67 03 12,98

Цена деления уровня эталонного прибора $\tau_э = 1{,}100''$

Цена деления уровня теодолита Вильд Т4 $\tau_т = 1{,}08''$

Вычисление коэффициентов k

Коллиматор	Эталонный прибор	Вильд Т4
Средний	0,00206	0,00202
Верхний	0,00405	0,00398

$R_н = 52{,}10''$

$R_{с\ к} \operatorname{cosec} Z_{с.\ к.} = 56{,}58''$

$R_{в.\ к.} \operatorname{cosec} Z_{в.\ к.} = 81{,}26''$

Таблица 11.31

Журнал измерений

Дата наблюдений *30 марта 1979 г.*

Эталонный прибор

Коллиматор	I	II	$\frac{I+II}{2}$	Направление	Угол
ГК*	9,312 9,448	9,502 9,639			
	316 447	508 637			
	316 448	508 638			
Среднее	9,3812	9,5720	9,4766	—27,27″	+14,10″
СК*	Уровень (Л + П)	Уровень (Л + П)			
	3,8—56,0 59,8	54,4—2,1 56,5			
	$b = -3,3$				
	9,000 9,173	9,378 9,552			
	8,998 175	379 551			
	998 172	381 551			
Среднее	9,0860	9,4653	9,2757		
			bk—0,0068		
			9,2689	—41,37″	+23,34″
ВК*	Уровень (Л + П)	Уровень (Л + П)			
	3,8—56,0 59,8	54,5—2,1 56.5			
	$b = -3,2$				
	9,193 9,328	9,452 9,590			
	191 327	453 593			
	189 325	457 591			
Среднее	9,2588	9,5226	9,3908		
			bk—0,0130		
			9,3778	—50,61″	

* В обозначениях, принятых в табл. 11.30.

Теодолит Вильд Т4 № 120764 Прием 1

Коллиматор	КЛ	КП	$\frac{КЛ+КП}{2}$	Направление	Угол
ГК	9,463	9,519			
	457	521			
	457	531			
	453	522			
	457	520			
Среднее	9,4574	9,5226	9,4900	—26,57″	+12,65″

Продолжение табл. 11.31

Коллиматор	I	II	$\frac{I+II}{2}$	Направление	Угол
СК	Уровень | (Л + П) | Уровень | (Л + П) 31,0—66,2 | 97,2 | 67,3—32,0 | 99,3 $b = +2{,}1$				
	9,283	9,320			
	282	320			
	282	318			
	287	321			
	288	325			
Среднее	9,2844	9,3208	9,3026		
			$bk + 0{,}0046$		
			9,3068	—39,22″	
ВК					+22,54
	Уровень | (Л + П) | Уровень | (Л + П) 31,0—66,2 | 97,2 | 67,3—32,0 | 99,3 $b = +2{,}1$				
	9,386	9,398			
	380	398			
	380	392			
	381	388			
	379	391			
Среднее	9,3812	9,3934	9,3873		
			$bk + 0{,}0084$		
			9,3957	—49,11″	

Эталонный прибор

ГК	9,751	9,875	9,923	10,058			
	751	876	931	060			
	753	871	931	060			
Среднее	9,8138		9,9938		9,9038	—5,01″	+13,28″
СК	Уровень | (Л + П) | Уровень | (Л + П) 2,5—54,6 | 57,1 | 54,8—2,6 | 57,4 $b = +0{,}3$						
	9,403	9,578	9,778	9,948			
	402	578	775	949			
	403	580	772	948			
Среднее	9,4907		9,8616		9,6762		
					$bk + 0{,}0006$		
					9,6768	—18,29″	

Продолжение табл. 11.31

Коллиматор	I	II	$\frac{I+II}{2}$	Направление	Угол
ВК	Уровень | (Л + П) | Уровень | (Л + П) 2,5—54,6 | 57,1 | 54,7—2,5 | 57,2 $b = +0,1$				+21,72
	9,470 9,600	9,736 9,871			
	473 605	741 871			
	470 598	741 871			
	Среднее 9,5360	9,8052	9,6706		
			bk +0,0004		
			9,6710	—26,73″	

Вычисление азимутальной поправки

$Z = 67°03'$

Эталон	Среднее	Теодолит	$\Delta_{вц}$
+14,10″ +13,28	+13,69″	+12,65″	+1,04″

$Z = 39°53'$

+23,34 +21.72	+22,53	+22,54	—0,01

Сводка результатов определения азимутальной поправки

Номер приема	$Z = 67°03'$ $\Delta_{вц}$	v	$Z = 39°52'$ $\Delta_{вц}$	v
1	+1,04″	—0,68″	—0,05″	—0,53″
2	+0,22	+0,14	—0,90	+0,32
3	+0,03	+0,33	—0,45	—0 13
4	—0,50	+0,86	—1,00	+0,42
5	+0,72	—0,36	—0,45	—0,13
6	+0,94	—0,58	—0,43	—0,15
7	+0,40	—0,04	—0,71	+0,13
8	+0,24	+0,12	—0.19	—0,39
9	—0,02	+0,38	—0,62	+0,04
10	+0,70	—0,34	—0,58	0,00
11	+0,13	+0,23	—0,87	+0,29
12	+0,47	—0,11	—0,78	+0,20
Среднее	+0,36		—0,58	
	$m_{\Delta_{вц}} = 0,21''$		$m_{\Delta_{вц}} = 0,16''$	

Вращением винта окулярного микрометра автоколлиматора левую вертикальную отраженную нить биссектора вводят в действительный биссектор и берут три отсчета. Затем в действительный биссектор вводят правую отраженную нить биссектора и

также берут три отсчета. Вычисляют в оборотах винта окулярного микрометра средний из этих отсчетов $M_{\text{Ц}}$.

Точно так же наблюдают верхний коллиматор, но до и после наблюдений (после наведения зеркала на автоколлиматор) берут отсчеты по концам пузырька уровня, закрепленного на подставке эталонного прибора. Вычисляют отсчет $M_{I_{\text{в}}}$.

После наблюдения верхнего коллиматора ось перекладывают. Наблюдения начинают с верхнего коллиматора. Операции при наблюдениях остаются прежними. Получают величины $M_{II_{\text{н}}}$ и $M_{II_{\text{в}}}$.

Бесколлимационный отсчет на горизонтальный коллиматор вычисляют по формуле

$$M_{\text{н}} = \left(\frac{M_{I_{\text{н}}} + M_{II_{\text{н}}}}{2} \cdot 10^{\text{об}}\right) R_{\text{н}},$$

где $R_{\text{н}}$ — цена оборота окулярного микрометра автоколлиматора.

Бесколлимационный отсчет на верхний коллиматор вычисляют по формуле

$$M_{\text{в}} = \left[\left(\frac{M_{I_{\text{в}}} + M_{II_{\text{в}}}}{2} + bk\right) - 10^{\text{об}}\right] R_{\text{в}} \operatorname{cosec} Z,$$

где b — наклон горизонтальной оси, вычисляемый по формуле

$$b = (\text{Л} + \text{П})_0 - {}_0(\text{Л} + \text{П});$$

Л — отсчет по левому концу пузырька уровня; П — отсчет по правому концу пузырька уровня; $(\text{Л}+\text{П})_0$ — нуль ампулы справа относительно наблюдателя, стоящего лицом к коллиматорам; ${}_0(\text{Л} + \text{П})$ — нуль ампулы слева.

Угол между коллиматорами вычисляют по формуле $M_{\text{н}} - M_{\text{в}}$ = эталон.

После завершения наблюдений с эталонным прибором на его место устанавливают исследуемый теодолит. Вертикальная нить окулярного микрометра теодолита должна быть вертикальна. На окуляр теодолита укрепляют лампочку — подсветку сетки нитей. Наблюдения и вычисления угла производят аналогично эталонному прибору. Выполняют три приема измерения угла теодолитом и замыкают серию измерением угла эталонным прибором.

В результате наблюдений получают угол, измеренный исследуемым теодолитом, $M_{\text{н}} - M_{\text{в}}$ = теодолит.

Поправка в измеренный теодолитом азимут вычисляют по формуле: эталон — теодолит = $\Delta_{\text{ц}}$.

Эталонный угол вычисляют как среднее между начальными заключительными наблюдениями, выполненными эталонным прибором.

11.19. ПРОБНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО УГЛА МЕЖДУ ДВУМЯ КОЛЛИМАТОРАМИ, РАСПОЛОЖЕННЫМИ НА РАЗНЫХ ВЫСОТАХ

Один коллиматор устанавливают на столбе примерно на одной высоте с исследуемым теодолитом; второй крепят к потолку или к стенке так, чтобы его зенитное расстояние было 30—40°.

Измерения угла производятся по программе, аналогичной определению азимута по Полярной.

1. Трубу астрономического теодолита закрепляют на зенитном расстоянии первого коллиматора («земной предмет»). Вращая алидаду по ходу часовой стрелки, наводят зрительную трубу на «земной предмет»; биссектором окулярного микрометра трубы делают три наведения на вертикальную нить коллиматора, отсчитывая каждый раз по шкале окулярного микрометра; отсчитывают по оптическому микрометру горизонтального круга, дважды совмещая противоположные штрихи лимба.

2. Переводят трубу через зенит и вновь закрепляют ее на зенитном расстоянии «земного предмета». Разворачивают алидаду горизонтального круга против хода часовой стрелки так, чтобы окончательное наведение на «земной предмет» заканчивалось ввинчиванием наводящего винта алидады (по ходу часовой стрелки). Выполняют измерения в порядке и объеме, перечисленные в пункте 1.

3. Трубу теодолита закрепляют на зенитном расстоянии второго коллиматора (Полярной). Вращая алидаду, наводят зрительную трубу на «Полярную». Заканчивают наведение, вращая наводящие винты алидады и трубы. Берут отсчеты по горизонтальному кругу, дважды совмещая изображения противоположных штрихов лимба. Пять раз подряд наводят подвижную нить окулярного микрометра на «Полярную», отсчитывая каждый раз по шкале окулярного микрометра, отсчитывают по шкале электромеханического уровня при алидаде горизонтального круга.

4. Трубу теодолита переводят через зенит и проводят измерения в порядке и объеме, перечисленном в пункте 3.

5. Выполняют измерения по пунктам 1 и 2.

Указанные действия составляют один прием. Таких приемов надлежит выполнить двенадцать с перестановкой горизонтального круга через 15°. Запись результатов и их обработка производятся по форме, приведенной в табл. 11.32, 11.33.

Средний отсчет по оптическому микрометру горизонтального круга исправляется поправками за окулярный микрометр и за наклон горизонтальной оси.

Поправку за окулярный микрометр вычисляют по формуле

$$\Delta M_{\text{гт}} = \pm 100\mu'' (m_{\text{ср}} - 10) \operatorname{cosec} Z,$$

Таблица 11.32

Пробные измерения горизонтального угла между двумя коллиматорами

Теодолит *ДКМ3-А* «Полярная» $Z = 35°10'$ $\mu = 0,\ 98''$ $\tau = 2,04''$ Прием № 5

$\mu \operatorname{cosec} Z = 1,701$ $\tau \operatorname{ctg} Z = 2,900$ $\sin Z = 0,5760$ *1 июня 1980 г.*

Визирная цель	КП				КЛ				
	отсчет по микрометру	отсчет по горизонтальному кругу	поправки	направление	отсчет по микрометру	отсчет по горизонтальному кругу	поправки	направление	2C
Земной предмет	2,1 2,4 2,2 2,23	70°35′28,1″ 28,5 70°35′28,30″	—2,18″	26,12″	4,4 4,8 4,3 4,50	250°35′14,0″ 14,2 250°35′14,10″	+4,41″	18,51″	—7,61″
Полярная	2,3 2,4 2,2 2,2 2,3 2,28	204°39′10,3″ 10,1 204°39′10,20″	Уровень 34,6—12,2 46,8 —3,89″ | 6,31 ″ $b = +1,8$ $\Delta M_b = +2,61''$		3,8 3,6 3,7 3,8 3,5 3,68	24°38′45,2″ 45,4 24°38′45,30″	Уровень 10,4—32,8 43,2 +3,61″ | 48,91″		—10,02″
Земной предмет	116,2 116,5 116,5 116,40	70°35′20,2″ 20,0 70°35′20,10″	+3,53″	23,63″	117,5 117,4 117,1 117,33	250°35′20,0″ 19,8 250°35′19,90″	—2,62″	17,28″	—6,35″

Среднее ЗП = 250°35′21,38″
П = 24 39 00,20
Угол = 225 56 21,16

* См. сноску в табл. 6.2.

Таблица 11.33

Оценка точности

Номер приема	Горизонтальный угол	v	$m = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}$
1	225°56′21,49″	—0,50	$[v^2] = 2{,}2562$
2	20,46	0,53	$n = 12$
3	20,29	0,70	
4	20,70	0,29	
5	21,16	—0,17	
6	20,49	0,50	
7	21,33	—0,34	$m = 0{,}45''$
8	20,74	0,25	
9	20,96	0,03	
10	21,07	—0,08	$2C_{\text{ЗП}} = +6{,}93''$
11	21,54	—0,55	
12	21,61	—0,62	$2C_{\text{Пол}} = +10{,}00''$
	225°56′20,987″		

где μ'' — цена деления шкалы окулярного микрометра; $m_{\text{ср}}$ — средний отсчет по шкале окулярного микрометра (в оборотах); Z — зенитное расстояние коллиматора.

Поправка $\Delta M_{\text{гт}}$ вводится со знаком плюс для наблюдений при круге лево и со знаком минус для наблюдений при круге право.

Поправку за наклон горизонтальной оси вычисляют по формуле

$$\Delta M_b = \frac{b}{2}\tau \operatorname{ctg} Z,$$

где τ'' — цена деления уровня; b — наклон (в полуделениях уровня) горизонтальной оси:

$$b = \frac{1}{2}[(\text{Л} + \text{П})_0 - {}_0(\text{Л} + \text{П})].$$

В каждом приеме вычисляют удвоенные значения коллимации при наведении на земной предмет и на Полярную. Для сопоставления с коллимационной ошибкой, полученной из наблюдений земного предмета, разность отсчетов по лимбу при наблюдении Полярной умножают на sin Z.

Вычисляют по каждому приему средние направления на земной предмет и на Полярную, а по ним угол между земным предметом и Полярной. Вычисляют среднюю по приему коллимационную ошибку по земному предмету и по Полярной. Составляют сводку значений углов по всем приемам.

Теодолит считают пригодным для астрономических определений, если:

а) отдельные значения коллимации в полуприемах при наблюдении земного предмета не превышают 20″;

б) колебание значений (Л+П) для уровня по каждой паре

его отсчетов, взятых в каждом полуприеме до и после наблюдения Полярной, не превышает 2″;

в) абсолютная величина наклона верхней части теодолита b не превышает 5″;

г) разность между направлениями на земной предмет, измеренными до и после наблюдений Полярной, не превышает 2″;

д) разность между значениями коллимации в первом и втором полуприемах наблюдений земного предмета находится в пределах 5″.

Если средняя коллимационная ошибка из 12 приемов по земному предмету отличается больше, чем на 5″ от средней коллимационной ошибки при наблюдении Полярной, то дополнительно исследуют неравенство цапф и боковое гнутие зрительной трубы. Теодолит допускают на астрономические работы, если будет показано, что систематическое расхождение коллимационных ошибок, превышающие 5″, объясняется неравенством цапф.

11.20. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПРАВИЛЬНОСТЕЙ ФИГУР ЦАПФ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕРАВЕНСТВА ДИАМЕТРОВ ЦАПФ

11.20.1. Исследование неправильностей фигур цапф

После подготовки приборов (см. 10.9), регулировки индикатора и устранения заметного смещения индекса индикатора приступают непосредственно к исследованиям.

Отсчеты по индикатору берут при установках оси через 15°, начиная от положения трубы, направленной в зенит, с точностью до 0,1 доли деления шкалы индикатора. Для полного исследования каждой цапфы достаточно выполнить по четыре серии измерений. Каждая серия должна следовать непрерывно *одна за другой; результаты измерений записывают в ведомость*, форма которой приведена в табл. 11.34. В табл. 11.34 выполняют следующие вычисления. Отдельно для каждой серии подсчитывают алгебраическую сумму отсчетов и среднее из них. Вычтя из среднего для I серии среднее для IV серии и разделив разность на три, получают величину смещения индекса индикатора в течение одной серии измерений. Для окулярной цапфы в прилагаемом примере это смещение равно

$$\Delta = \frac{+10{,}2 - 11{,}2}{3} = -0{,}33,$$

а среднее смещение индекса между двумя смежными отсчетами в серии

$$\delta = \frac{-0{,}33}{24} = -0{,}014.$$

В графе для каждой установки выписывают поправки в отсчеты за смещение индекса индикатора, общие для всех серий, вычисляемые по формуле $\sigma_i = \delta_i$, где $i = 0, 1, 2, \ldots, 23$.

Таблица 11.34

Определение $y_{ср}$

z	Серия I	Серия II	Серия III	Серия IV	σ_i	y_Z I	y_Z II	y_Z III	y_Z IV	$y'_{ср}$	$A_1 \cos Z + B_1 \sin Z$	$y_{ср}$
						Окулярная цапфа						
0°	+7,8	+7,7	+7,9	+8,5	—0,0	—2,2	—2,5	—2,8	—2,5	—2,5	—1,5	—1,0
15	+6,7	+7,1	+7,7	+7,8	—0,0	—3,3	—3,1	—3,0	—3,2	—3,2	—2,0	—1,2
30	+7,9	+7,5	+7,9	+9,0	—0,0	—2,1	—2,7	—2,8	—2,0	—2,1	—2,1	—0,3
45	+9,5	+9,5	+10,3	+10,4	—0,0	—0,5	—0,7	—0,4	—0,6	—0,6	—1,8	+1,2
60	+11,7	+11,4	+12,0	+12,5	—0,1	+1,6	+1,1	+1,2	+1,4	+1,3	—1,7	+3,0
75	+12,5	+12,7	+13,2	+13,2	—0,1	+2,4	+2,4	+2,4	+2,1	+2,3	—1,3	+3,6
90	+11,5	+11,5	+12,5	+12,0	—0,1	+1,4	+1,2	+1,7	+0,9	+1,3	—1,0	+2,3
105	+9,3	+9,1	+9,4	+9,2	—0,1	—0,8	—1,2	—1,4	—1,7	—1,3	—0,4	—0,9
120	+7,3	+6,6	+7,5	+7,3	—0,1	—2,8	—3,7	—3,3	—3,8	—3,4	+0,2	—3,6
135	+6,5	+6,7	+6,4	+7,0	—0,1	—3,6	—3,6	—4,4	—4,1	—3,9	+0,4	—4,3
150	+8,3	+8,0	+9,1	+9,7	—0,1	—1,8	—2,3	—1,7	—1,4	—1,8	+1,1	—2,9
165	+11,3	+11,5	+12,7	+13,3	—0,2	+1,1	+1,1	+1,8	+2,1	+1,5	+1,6	—0,1
180	+12,7	+13,7	+14,3	+14,9	—0,2	+2,5	+3,3	+3,4	+3,7	+3,2	+1,5	+1,7
195	+14,6	+14,8	+15,4	+15,4	—0,2	+4,4	+4,4	+4,5	+4,2	+4,4	+2,0	+2,4
210	+14,3	+15,0	+15,3	+15,5	—0,2	+4,1	+4,6	+4,4	+4,3	+4,4	+2,1	+2,3
225	+13,2	+13,9	+14,0	+14,6	—0,2	+3,0	+3,5	+3,1	+3,4	+3,2	+1,8	+1,4
240	+12,1	+12,7	+13,5	+13,5	—0,2	+1,9	+2,3	+2,6	+2,3	+2,3	+1,7	+0,6
255	+10,9	+11,0	+12,1	+11,6	—0,2	+0,7	+0,6	+1,2	+0,4	+0,7	+1,3	—0,0
270	+10,5	+10,2	+11,4	+10,9	—0,3	+0,2	—0,3	+0,4	—0,4	—0,0	+1,0	—1,6
285	+9,7	+9,5	+10,9	+11,0	—0,3	—0,5	—1,0	—0,1	—0,3	—0,5	+0,4	—0,9
300	+9,9	+10,5	+10,8	+10,8	—0,3	—0,4	—0,0	—0,2	—0,5	—0,3	—0,2	—0,1
315	+9,5	+10,5	+10,5	+11,0	—0,3	—0,8	0,0	—0,5	—0,3	—0,4	—0,4	0,0
330	+8,4	+9,6	+8,7	+10,5	—0,3	—1,9	—0,9	—2,3	—0,8	—1,5	—1,1	—0,4
345	+8,5	+8,5	+7,7	+9,6	—0,3	—1,8	—2,0	—3,3	—1,7	—2,2	—1,6	0,6
Σ	+244,6	+249,2	+261,2	+269,2								
Среднее	+10,2	+10,4	+10,9	+11,2								
(Δ—δ)/2	—0,2	—0,2	—0,2	—0,2								
(Ср.)	+10,0	+10,2	+10,7	+10,0								

$$\Delta = \frac{+10{,}2 - (+11{,}2)}{3} = -0{,}33; \quad \delta = -0{,}014$$

Ламповая цапфа

0°	+4,9	+4,3	+3,7	+2,5	0,0	−1,4	−1,0	−1,2	−1,3	−1,2	−0,8	−0,4
15	+5,2	+3,6	+3,5	+2,1	0,0	−1,1	−1,7	−1,4	−1,7	−1,5	−2,0	+0,5
30	+4,2	+3,5	+2,9	+1,1	0,1	−2,0	−1,7	−1,9	−2,6	−2,0	−2,1	+0,1
45	+3,0	+2,4	+2,2	+1,1	0,1	−3,2	−2,8	−2,6	−2,6	−2,8	−2,8	0,0
60	+2,9	+1,8	+0,8	−0,2	0,1	−3,3	−3,1	−4,0	−3,9	−3,6	−3,8	+0,2
75	+3,7	+2,2	+1,5	+0,6	0,2	−2,4	−2,9	−3,2	−3,0	−2,9	−3,0	+0,1
90	+2,9	+1,7	+1,4	+0,5	0,2	−3,2	−3,4	−3,3	−3,1	−3,2	−3,2	0,0
105	+3,7	+2,9	+2,4	+1,7	0,2	−2,4	−2,2	−2,3	−1,9	−2,2	−3,4	+1,2
120	+4,6	+4,0	+3,5	+2,5	0,3	−1,4	−1,0	−1,1	−1,0	−1,1	−2,1	+1,0
135	+3,9	+2,7	+1,6	+1,3	0,3	−2,1	−2,3	−3,0	−2,2	−2,4	−1,7	−0,7
150	+4,0	+3,0	+2,7	+1,7	0,4	−1,9	−1,9	−1,8	−1,9	−1,9	−1,0	−0,9
165	+5,0	+4,3	+3,3	+2,5	0,4	−0,9	−0,6	−1,2	−0,7	−0,8	0,0	−0,8
180	+4,6	+3,7	+3,4	+2,6	0,4	−1,3	−1,2	−1,1	−0,8	−1,1	+0,8	−1,9
195	+7,5	+6,4	+5,3	+4,4	0,5	+1,7	+1,6	+0,9	+1,1	+1,3	+2,0	−0,7
210	+8,1	+6,7	+6,5	+5,3	0,5	+2,3	+1,9	+2,1	+2,0	+2,1	+2,1	0,0
225	+11,0	+9,7	+8,7	+8,4	0,5	+5,2	+4,9	+4,3	+5,1	+4,9	+2,8	+2,1
240	+12,0	+11,5	+11,0	+9,4	0,6	+6,3	+6,8	+6,7	+6,2	+6,5	+3,8	+2,7
255	+9,7	+9,0	+12,3	+7,5	0,6	+4,0	+4,3	—	+1,3	+4,2	+3,0	+1,2
270	+7,6	+6,8	+6,4	+5,5	0,6	+1,9	+2,1	+2,1	+2,3	+2,1	+3,2	−1,1
285	+7,7	+6,7	+6,1	+5,3	0,7	+2,1	+2,1	+1,9	+2,2	+2,1	+3,4	−1,3
300	+6,7	+6,0	+5,7	+5,0	0,7	+1,1	+1,4	+1,5	+1,9	+1,5	+2,1	−0,6
315	+6,0	+5,5	+4,6	+3,7	0,7	+0,4	+0,9	+0,4	+0,6	+0,6	+1,7	−1,1
330	+6,1	+5,4	+4,6	+4,0	0,8	+0,6	+0,9	+0,5	+1,0	+0,8	+1,0	−0,2
345	+5,7	+4,9	+3,7	+3,3	0,8	+0,2	+0,4	−0,4	+0,3	+0,1	0,0	+0,1
Σ	+110,7	+118,7	+107,8	+81,8								
Среднее	+5,9	+4,9	+4,5	+3,4								
$\frac{\Delta - \delta}{2}$	+0,4	+0,4	+0,4	+0,4								
(Ср.)	+6,3	+5,3	+4,9	+3,8								

$$\Delta = \frac{+5{,}9 - (+3{,}4)}{3} = +0{,}83 \qquad \delta = \frac{+0{,}83}{24} = +0{,}035$$

Среднее из отсчетов в каждой серии также исправляют за смещение по формуле

$$(\text{ср}) = \text{ср} + \frac{1}{2}\Delta + \frac{1}{2}\delta.$$

Затем по каждой серии вычисляют уклонения отдельных отсчетов от их среднего значения

$$y_Z = \text{отсчет} + \sigma_i - (\text{ср}).$$

Результаты этих вычислений записывают в четырех столбцах. Далее для каждой установки по Z вычисляют $y'_{\text{ср}}$ — среднее из четырех уклонений. Из величин $y'_{\text{ср}}$ должна быть исключена первая гармоника. Исправленные за первую гармонику величины $y_{\text{ср}}$ получают по формуле

$$y_{\text{ср}} = y'_{\text{ср}} - (A_1 \cos Z + B_1 \sin Z).$$

Для теодолитов, у которых угол между фасетами лагер равен 90°, A_1 и B_1 вычисляют независимо для каждой группы из восьми ординат по формулам:

$$A_1 = \frac{1}{4}\left(y_0 + y_1 \cos\frac{2\pi}{8} + y_2 \cos\frac{4\pi}{8} + \ldots + y_7 \cos\frac{14\pi}{8}\right);$$

$$B_1 = \frac{1}{4}\left(y_1 \sin\frac{2\pi}{8} + y_2 \sin\frac{4\pi}{8} + \ldots + y_7 \sin\frac{14\pi}{8}\right).$$

Первая группа содержит ординаты

$$y_0,\ y'_{45},\ y_{90},\ \ldots,\ y'_{270},\ y'_{315};$$

вторая группа

$$y_{15},\ y'_{60},\ y'_{105},\ \ldots,\ y'_{285},\ y'_{330};$$

третья группа

$$y'_{30},\ y'_{75},\ y'_{120},\ \ldots,\ y'_{300},\ y'_{345}.$$

При вычислении коэффициентов A_1 и B_1 целесообразно использовать схему группирования Рунге для восьми ординат. Вычисления по этой схеме производятся в такой последовательности. Выписывают y'_z в указанном ниже порядке и образуют из них по столбцам суммы и разности

	y'_0	y'_1	y'_2	y'_3	y'_4
		y'_7	y'_6	y'_5	
Суммы	u_0	u_1	u_2	u_3	u_4
Разности		v_1	v_2	v_3	

Далее выписывают u_i в последовательности, аналогичной записям y_i, и образуют вторые разности d_i

	u_0	u_1	u_2
	u_4	u_3	
Разности	d_0	d_1	

Точно так же выписывают v_i и образуют суммы S_i

	v_1	v_2
	v_3	
Суммы	s_1	s_2

В результате получают значения коэффициентов

$$A_1 = \frac{1}{4}(d_0 + 0{,}707 d_1);$$

$$B_1 = \frac{1}{4}(s_2 + 0{,}707 s_1).$$

Пример вычисления коэффициентов A_1 и B_1 приводится ниже.

I группа; ординаты 0; 45; 90; ..., 270; 315°

y_i'	−2,5	−0,6	+1,3	−3,9	+3,2
		−0,4	−0,0	+3,2	
u_i	−2,5	−1,0	+1,3	−0,7	+3,2
v_i		−0,2	+1,3	−7,1	
u_i	−2,5	−1,0	+1,3		
	+3,2	−0,7			
d_i	−5,7	−0,3			
v_i	−0,2	+1,3			
	−7,1				
s_i	−7,3	+1,3			

$A_1 = 1/4\,[-5{,}7 + 0{,}707(-0{,}3)] = -1{,}5;$

$B_1 = 1/4\,[+1{,}3 + 0{,}707(-7{,}3)] = -1{,}0.$

II группа; ординаты 15; 60; 105; ...; 285; 330°.

y_i'	−3,2	+1,3	−1,3	−1,8	+4,4
		−1,5	−0,5	+2,3	
u_i	−3,2	−0,2	−1,8	+0,5	+4,4
v_i		+2,8	−0,8	−4,1	
u_i	−3,2	−0,2	−1,8		
	+4,4	+0,5			
d_i	−7,6	−0,7			
v_i	+2,8	−0,8			
	−4,1				
s_i	−1,3	−0,8			

$A_1 = 1/4\,[-7{,}6 + 0{,}707\,(-0{,}7)] = -2{,}0;$

$B_1 = 1/4\,[-0{,}8 + 0{,}707\,(-1{,}3)] = -0{,}4.$

III группа; ординаты 30; 75; 120; ...; 300; 345°.

y_i'	−2,4	+2,3	−3,4	+1,5	+4,4
		−2,2	−0,3	+0,7	
u_i	−2,4	+0,1	−3,7	+2,2	+4,4
v_i		+4,5	−3,1	+0,8	
u_i	−2,4	+0,1	−3,7		
	+4,4	+2,2			
d_i	−6,8	−2,1			
v_i	+4,5	−3,1			
	+0,8				
s_i	+5,3	−3,1			

$$A_1 = 1/4\,[-6{,}8 + 0{,}707\,(-2{,}1)] = -2{,}1;$$

$$B_1 = 1/4\,[-3{,}1 + 0{,}707(+5{,}3)] = +0{,}2.$$

В такой же последовательности вычисляют коэффициенты A_1 и B_1 для другой цапфы. Амплитуда первой гармоники, вычисляемая по формуле $ампл = \sqrt{A_1^2 + B_1^2}$, не должна превышать 0,3—0,4 мкм, в противном случае необходимо выяснить и устранить причину ее появления.

Вычислив значения величин $y_{ср}$ (см. табл. 11.34) для окулярной и ламповой цапф, образуют разности вида

$$\Delta y_Z = y_{ср}^{ок} - y_{ср}^{л},$$

где значки «ок» и «л» соответственно обозначают окулярную и ламповую цапфы. Вычисление величин Δy_Z приведено в табл. 11 35.

Таблица 11.35

Рычисление Δy_Z

Z	$y_{ср}^{ок}$	$y_{ср}^{л}$	Δy_Z	Z	$y_{ср}^{ок}$	$y_{ср}^{л}$	Δy_Z
0°	−1,0	−0,4	−0,6	180°	+1,7	−1,9	+3,6
15	−1,2	+0,5	−1,7	195	+2,4	−0,7	+3,1
30	−0,3	+0,1	−0,4	210	+2,3	0,0	+2,3
45	+1,2	0,0	+1,2	225	+1,4	+2,1	−0,7
60	+3,0	+0,2	+2,8	240	+0,6	+2,7	−2.1
75	+3,6	+0,1	+3,5	255	+0,6	+1,2	−1,8
90	+2,3	0,0	+2,3	270	−1,0	−1,1	+0,1
105	−0,9	+1,2	−2,1	285	−0,9	−1,3	+0,4
120	−3,6	+1,0	−4,6	300	−0,1	−0,6	+0,5
135	−4,3	−0,7	−3,6	315	0,0	−1,1	+1,1
150	−2,9	−0,9	−2,0	330	−0,4	−0,2	−0,2
165	−0,1	−0,8	+0,7	345	−0,6	+0,1	−0,7

Получив Δy_Z, далее вычисляют величины $\Delta\rho$ по формулам:

$$\Delta\rho_{0+\mu\alpha} = -0{,}74\Delta y_{0+\mu\alpha} - 0{,}71\Delta y_{45+\mu\alpha} - 1{,}00\Delta y_{90+\mu\alpha} + 0{,}72\Delta y_{135+\mu\alpha} +$$
$$+ 0{,}76\Delta y_{180+\mu\alpha} + 1{,}41\Delta y_{225+\mu\alpha};$$

$$\Delta\rho_{45+\mu\alpha} = +1{,}41\Delta y_{0+\mu\alpha} + 1{,}24\Delta y_{45+\mu\alpha} + 0{,}70\Delta y_{90+\mu\alpha} - 1{,}00\Delta y_{135+\mu\alpha} - 0{,}70\Delta y_{180+\mu\alpha} - 1{,}24\Delta y_{225+\mu\alpha};$$

$$\Delta\rho_{09+\mu\alpha} = -1{,}24\Delta y_{0+\mu\alpha} - 0{,}35\Delta y_{45+\mu\alpha} + 0{,}00\Delta y_{90+\mu\alpha} + 0{,}70\Delta y_{135+\mu\alpha} + 0{,}25\Delta y_{180+\mu\alpha} + 1{,}05\Delta y_{225+\mu\alpha};$$

$$\Delta\rho_{135+\mu\alpha} = +1{,}05\Delta y_{0+\mu\alpha} + 0{,}25\Delta y_{45+\mu\alpha} + 0{,}70\Delta y_{90+\mu\alpha} + 0{,}00\Delta y_{135+\mu\alpha} - 0{,}35\Delta y_{180+\mu\alpha} - 1{,}24\Delta y_{225+\mu\alpha};$$

$$\Delta\rho_{180+\mu\alpha} = -1{,}24\Delta y_{0+\mu\alpha} - 0{,}70\Delta y_{45+\mu\alpha} - 1{,}00\Delta y_{90+\mu\alpha} + 0{,}70\Delta y_{135+\mu\alpha} + 1{,}24\Delta y_{180+\mu\alpha} + 1{,}40\Delta y_{225+\mu\alpha};$$

$$\Delta\rho_{225+\mu\alpha} = +1{,}41\Delta y_{0+\mu\alpha} + 0{,}76\Delta y_{45+\mu\alpha} + 0{,}72\Delta y_{90+\mu\alpha} - 1{,}00\Delta y_{135+\mu\alpha} - 0{,}71\Delta y_{180+\mu\alpha} - 0{,}74\Delta y_{225+\mu\alpha};$$

$$\Delta\rho_{270+\mu\alpha} = -0{,}75\Delta y_{0+\mu\alpha} + 0{,}35\Delta y_{45+\mu\alpha} + 0{,}00\Delta y_{90+\mu\alpha} + 0{,}71\Delta y_{135+\mu\alpha} - 0{,}24\Delta y_{180+\mu\alpha} + 0{,}36\Delta y_{225+\mu\alpha};$$

$$\Delta\rho_{315+\mu\alpha} = +0{,}36\Delta y_{0+\mu\alpha} - 0{,}24\Delta y_{45+\mu\alpha} + 0{,}71\Delta y_{90+\mu\alpha} - 0{,}00\Delta y_{135+\mu\alpha} + 0{,}35\Delta y_{180+\mu\alpha} - 0{,}75\Delta y_{225+\mu\alpha},$$

где $\alpha = 15°$, $\mu = 0, 1, 2$.

Приведем пример вычисления по этим формулам:

$$\Delta\rho_0 = -0{,}74 \times (-0{,}6) - 0{,}71 \times 1{,}2 - 1{,}00 \times 2{,}3 + 0{,}72 \times (-3{,}6) + 0{,}76 \times 3{,}6 + 1{,}41 \times (-0{,}7) = -3{,}6;$$

$$\Delta\rho_{15} = -0{,}74 \times (-1{,}7) - 0{,}71 \times 2{,}8 - 1{,}00 \times (-2{,}1) + 0{,}72 \times (-2{,}0) + 0{,}76 \times 3{,}1 + 1{,}41 \times (-2{,}1) = -0{,}7;$$

$$\Delta\rho_{30} = -0{,}74 \times (-0{,}4) - 0{,}71 \times 3{,}5 - 1{,}00 \times (-4{,}6) + 0{,}72 \times 0{,}7 + 0{,}76 \times 2{,}3 + 1{,}41 \times (-1{,}8) = +2{,}1;$$

$$\Delta\rho_{45} = +1{,}41 \times (-0{,}6) + 1{,}24 \times 1{,}2 + 0{,}70 \times 2{,}3 - 1{,}00 \times (-3{,}6) - 0{,}70 \times 3{,}6 - 1{,}24 \times (-0{,}7) = +4{,}2;$$

$$\Delta\rho_{60} = +1{,}41 \times (-1{,}7) + 1{,}24 \times 2{,}8 + 0{,}70 \times (-2{,}1) - 1{,}00 \times (-2{,}0) - 0{,}70 \times 3{,}1 - 1{,}24 \times (-2{,}1) = +2{,}0;$$

$$\Delta\rho_{75} = +1{,}41 \times (-0{,}4) + 1{,}24 \times 3{,}5 + 0{,}70 \times (-4{,}6) - 1{,}00 \times 0{,}7 - 0{,}70 \times 2{,}3 - 1{,}24 \times (-1{,}8) = +0{,}5;$$

$$\Delta\rho_{90} = -1{,}24 \times (-0{,}6) - 0{,}35 \times 1{,}2 + 0{,}00 \times 2{,}3 + 0{,}70 \times (-3{,}6) + 0{,}25 \times 3{,}6 + 1{,}05 \times (-0{,}7) = -2{,}0;$$

$$\Delta\rho_{105} = -1{,}24 \times (-1{,}7) - 0{,}35 \times 2{,}8 + 0{,}00 \times (-2{,}1) + 0{,}70 \times (-2{,}0) + 0{,}25 \times 3{,}1 + 1{,}05 \times (-2{,}1) = -1{,}70;$$

$$\Delta\rho_{120} = -1{,}24 \times (-0{,}4) - 0{,}35 \times 3{,}5 + 0{,}00 \times (-4{,}6) + 0{,}70 \times 0{,}7 + 0{,}25 \times 2{,}3 + 1{,}05 \times (-1{,}8) = -1{,}6;$$

$$\Delta\rho_{135} = +1{,}05 \times (-0{,}6) + 0{,}25 \times 1{,}2 + 0{,}70 \times 2{,}3 + 0{,}00 \times (-3{,}6) - 0{,}35 \times 3{,}6 - 1{,}24 \times (-0{,}7) = +0{,}9;$$

$$\Delta\rho_{150} = +1{,}05 \times (-1{,}7) + 0{,}25 \times 2{,}8 + 0{,}70 \times (-2{,}1) + 0{,}00 \times (-2{,}0) - 0{,}35 \times 3{,}1 - 1{,}24 \times (-2{,}1) = -1{,}0;$$

$$\Delta\rho_{165} = +1{,}05 \times (-0{,}4) + 0{,}25 \times 3{,}5 + 0{,}70 \times (-4{,}6) + 0{,}00 \times 0{,}7 - 0{,}35 \times 2{,}3 - 1{,}24 \times (-1{,}8) = -1{,}3;$$

$$\Delta\rho_{180} = -1{,}24 \times (-0{,}6) - 0{,}70 \times 1{,}2 - 1{,}00 \times 2{,}3 + 0{,}70 \times (-3{,}6) + 1{,}24 \times 3{,}6 + 1{,}40 \times (-0{,}7) = -1{,}4;$$

$$\Delta\rho_{195} = -1{,}24 \times (-1{,}7) - 0{,}70 \times 2{,}8 - 1{,}00 \times (-2{,}1) + 0{,}70 \times (-2{,}0) + 1{,}24 \times 3{,}1 + 1{,}40 \times (-2{,}1) = +1{,}8;$$

$$\Delta\rho_{210} = -1{,}24 \times (-0{,}4) - 0{,}70 \times 3{,}5 - 1{,}00 \times (-4{,}6) + 0{,}70 \times 0{,}7 + 1{,}24 \times 2{,}3 + 1{,}40 \times (-1{,}8) = +3{,}5;$$

$$\Delta\rho_{225} = +1{,}41 \times (-0{,}6) + 0{,}76 \times 1{,}2 + 0{,}72 \times 2{,}3 - 1{,}00 \times (-3{,}6) - 0{,}71 \times 3{,}6 - 0{,}74 \times (-0{,}7) = +3{,}3;$$

$$\Delta\rho_{240} = +1{,}41 \times (-1{,}7) + 0{,}76 \times 2{,}3 + 0{,}72 \times (-2{,}1) - 1{,}00 \times (-2{,}0) - 0{,}71 \times 3{,}1 - 0{,}74 \times (-2{,}1) = -0{,}4;$$

$$\Delta\rho_{225} = +1{,}41 \times (-0{,}4) + 0{,}76 \times 3{,}5 + 0{,}72 \times (-4{,}6) - 1{,}00 \times 0{,}7 - 0{,}71 \times 2{,}3 - 0{,}74 \times (-1{,}8) = -2{,}2;$$

$$\Delta\rho_{270} = -0{,}75 \times (-0{,}6) + 0{,}35 \times 1{,}2 + 0{,}00 \times 2{,}3 + 0{,}71 \times (-3{,}6) - 0{,}24 \times 3{,}6 + 0{,}36\ (-0{,}7) = -2{,}8;$$

$$\Delta\rho_{285} = -0{,}75 \times (-1{,}7) + 0{,}35 \times 2{,}8 + 0{,}00 \times (-2{,}1) + 0{,}71 \times (-2{,}0) - 0{,}24 \times 3{,}1 + 0{,}36 \times (-2{,}1) = -0{,}7;$$

$$\Delta\rho_{300} = -0{,}75 \times (-0{,}4) + 0{,}35 \times 3{,}5 + 0{,}00 \times (-4{,}6) + 0{,}71 \times 0{,}7 - 0{,}24 \times 2{,}3 + 0{,}36 \times (-1{,}8) = +0{,}8;$$

$$\Delta\rho_{315} = +0{,}36 \times (-0{,}6) - 0{,}24 \times 1{,}2 + 0{,}71 \times 2{,}3 - 0{,}00 \times (3{,}6) + 0{,}35 \times 3{,}6 - 0{,}75 \times (-0{,}7) = +2{,}9;$$

$$\Delta\rho_{330} = +0{,}36 \times (-1{,}7) - 0{,}24 \times 2{,}8 + 0{,}71 \times (-2{,}1) - 0{,}00 \times (-2{,}0) + 0{,}35 \times 3{,}1 - 0{,}75 \times (-2{,}1) = -0{,}1;$$

$$\Delta\rho_{345} = +0{,}36 \times (-0{,}4) - 0{,}24 \times 3{,}5 + 0{,}71 \times (-4{,}6) - 0{,}00 \times 0{,}7 + 0{,}35 \times 2{,}3 - 0{,}75 \times (-1{,}8) = -2{,}1.$$

Поправки в азимут и наклон горизонтальной оси теодолита вычисляют по формулам:

$$\Delta a''_Z = +\frac{72\,926}{4}\left[\Delta\rho_{Z+135} - \Delta\rho_{Z+225} + \Delta\rho_{-Z+135} - \Delta\rho_{-Z+225}\right];$$

$$\Delta i_Z = -\frac{72\,926}{L}\left[\Delta\rho_{Z+45} + \Delta\rho_{Z-45} - \Delta\rho_{-Z+45} - \Delta\rho_{-Z-45}\right],$$

где L — длина горизонтальной оси теодолита (расстояние между серединами рабочих сечений цапф), выраженная в тех же единицах измерения, что и цена деления шкалы индикатора.

При выводе формул условились считать наклон оси положительным, если левый конец оси выше правого (наблюдатель обращен лицом к объекту). Величина Δa имеет положительный знак, когда под влиянием неправильностей цапф горизонтальная ось теодолита поворачивается по часовой стрелке (если смотреть на теодолит сверху).

Вычисления Δa_Z приведены в табл. 11.36, а вычисления Δi_Z в табл. 11.37, где принято $L = 2\,500\,000$, откуда

$$\frac{72\,926}{L} = 0{,}02917.$$

Таблица 11.36

Вычисление Δa_Z

Z	$+\Delta\rho_{Z+135}$	$-\Delta\rho_{Z+225}$	$+\Delta\rho_{-Z+135}$	$-\Delta\rho_{-Z+225}$	Σ	Δa_Z
0°	+0,9	−3,3	+0,9	−3,3	−4,8	−0,14″
15	−1,0	+0,4	−1,6	−3,5	−5,7	− ,17
30	−1,3	+2,2	−1,7	−1,8	−2,6	− ,08
45	−1,4	+2,8	−2,0	+1,4	+0,8	+ ,02
60	+1,8	+0,7	+0,5	+1,3	+4,3	+ ,13
75	+3,5	−0,8	+2,0	+1,0	+5,7	+ ,17
90	+3,3	−2,9	+4,2	−0,9	+3,7	+ ,11
105	−0,4	+0,1	+2,1	+1,6	+3,4	+0,10

Таблица 11.37

Вычисление Δi_Z

Z	$+\Delta\rho_{Z+45}$	$+\Delta\rho_{Z-45}$	$-\Delta\rho_{-Z+45}$	$-\Delta\rho_{-Z-45}$	Σ	$\Delta i''_Z$
0°	+4,2	+2,9	−4,2	−2,9	0,0	0,00″
15	+2,0	−0,1	−2,1	−0,8	−1,0	+ ,03
30	+0,5	−2,1	+0,7	+0,7	−0,2	+ ,01
45	−2,0	−3,6	+3,6	+2,8	+0,8	− ,02
60	−1,7	−0,7	+2,1	+2,2	+1,9	− ,06
75	−1,6	+2,1	+0,1	+0,4	+1,0	− ,03
90	+0,9	+4,2	−2,9	−3,3	−1,1	+ ,03
105	−1,0	+2,0	−0,8	−3,5	−3,3	+0,10

В азимут земного предмета, определенный по Полярной, вводят поправку за неправильность фигуры цапф, вычисляемую по формуле

$$\Delta A = (\Delta a_{\text{зп}} - \Delta a_*) - \Delta i_* \operatorname{ctg} Z_*,$$

тогда

$$A = A_0 + \Delta A,$$

где A_0 — среднее значение азимута земного предмета, не исправленное за неправильность фигуры цапф.

Величины $a_{\text{зп}}$, Δa_* и Δi_* выбирают из табл. 11.36 и 11.37 соответственно по зенитному расстоянию земного предмета и Полярной. Например, если Полярная наблюдалась на среднем зенитном

расстоянии 35°, а зенитное расстояние земного предмета было 90°, то поправка ΔA будет равна

$$[+0{,}11'' - (-0{,}06)] - 0{,}00\operatorname{ctg} 35° = +0{,}17''.$$

Значения Δi и Δa для $Z = 35°$ получены путем графического выравнивания величин Δi_Z и Δa_Z.

11.20.2. Определение неравенства диаметров цапф

Неравенство диаметров цапф в линейной мере вычисляют по формуле

$$d_2 - d_1 = \frac{P''L}{\rho'' \sqrt{2}},$$

где d_1, d_2 — диаметры цапф, L — расстояние между рабочими сечениями

Величину P определяют из двукратного определения наклона горизонтальной оси теодолита — до перекладки и после перекладки в лагерах. Исследование производится по следующей программе.

Теодолит устанавливают на надежном каменном столбе. Регулировочным устройством опускают алидаду так, чтобы исключить влияние ее колебания на отсчеты уровня. Зрительную трубу теодолита устанавливают по отсчетам вертикального круга на зенитное расстояние высотного коллиматора Полярная (см. 11.19).

Зрительная труба при окуляре справа (слева):

а) отсчитывают по накладному уровню и перекладывают его на оси;

б) отсчитывают снова по уровню, затем снимают его и, соблюдая меры предосторожности, перекладывают горизонтальную ось теодолита в лагерах, уровень ставят в то же положение относительно подставок трубы, что и до перекладки; зрительную трубу после перекладки устанавливают на те же отсчеты по вертикальному кругу, что и до перекладки.

Зрительная труба при окуляре слева (справа):

в) отсчитывают по уровню и перекладывают его на оси;

г) отсчитывают снова по концам пузырька уровня.

Такая программа составляет один прием исследования; всего приемов должно быть не менее четырех.

Угол P'' вычисляют для каждого приема исследования отдельного по формуле

$$P'' = (i_{\text{ок пр}} - i_{\text{ок лев}})/2,$$

где

$$i = [{}_0(\text{Л} + \text{П}) - (\text{Л} + \text{П})_0] \frac{\tau}{4}.$$

Здесь ${}_0(\text{Л}+\text{П})$ — сумма отсчетов по концам пузырька при положении уровня, когда нуль слева; $(\text{Л}+\text{П})_0$ — сумма отсчетов при положении уровня, когда нуль справа.

Если при вычислении по этим формулам P получится положительным, то окулярная цапфа будет толще ламповой.

За окончательное значение P берут среднее из всех приемов. В табл. 11.38 приведен пример исследования.

Окулярная цапфа толще ламповой на 1,7 мкм.

Таблица 11.38

Определение неравенства диаметров цапф

Астрономический теодолит
АУ 2/10 № 10073 *Дата 1 июня 1979 г.*
$\tau = 2{,}4''$ $L = 250$ мм

Положение оси	Отсчеты по уровню		Л + П	Наклон оси i	
	Л	П		в четвертях деления уровня	в секундах дуги
		I прием			
Окуляр справа	12,5 26,3	26,7 12,1	39,2 38,4	+0,8	+0,5
Окуляр слева	28,2 11,0	14,0 25,4	42,2 36,4	—5,8	—3,5

$$P'' = \frac{1}{2}(+0{,}5+3{,}5) = +2{,}0$$

$$d_2 - d_1 = \frac{+2{,}0 \quad 250\,000}{1{,}41 \quad 206\,265} = 1{,}7 \text{ мкм}$$

11.21. ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ

11.21.1. Исследование жидкостного уровня по способу Васильева

Методика исследования уровня, дающая подробную цифровую характеристику не только цены деления, но и других качеств уровня, предложена профессором А. С. Васильевым и в дальнейшем дополнена профессором Ф. Н. Красовским. Данная методика применяется для исследования точных уровней астрономических теодолитов.

Длина пузырька должна составлять примерно 0,5 длины рабочей части ампулы. Такая же длина пузырька должна выдерживаться и при астроопределениях.

Поскольку качество шлифовки ампулы на краях значительно хуже, чем в середине, исследования выполняют на рабочем участке трубки уровня, для выявления которой целесообразно сделать хотя бы одну секцию предварительных исследований. Это нужно также для того, чтобы определить число делений винта экзаменатора, на которое следует переставлять винт при переходе от одной установки к другой. Интервал перестановки выбирается таким образом, чтобы общее число установок винта при перемещении пузырька из одного крайнего положения рабочего участка в другое составляло пять-шесть.

В зависимости от цены деления исследуемого уровня и длины рабочей части интервал перестановки составляет обычно 2—8′. Отсчет по концам пузырька производят не менее чем через 2 мин после установки винта В дальнейшем производят отсчеты через равные промежутки времени.

Если на концах шкалы величина перемещения пузырька уровня отличается от среднего более чем на 15 %, то соответствующие исследования шкалы не включаются в дальнейшие исследования (рабочая длина шкалы становится меньше ее оцифрованной части).

Интервал перестановки составляет обычно целое число делений диска винта.

При исследованиях уровня следует позаботиться о том, чтобы влияние внешних условий было минимальным: заранее устранить сквозняки, выключить направленные рефлекторы, лампы, исключить попадание солнечных лучей на экзаменатор. При отсчитывании по уровню не следует приближать лицо к ампуле и дышать на нее, отсчеты необходимо производить четко, быстро и без колебаний.

Допустимо исследовать по две ампулы со сходным τ одновременно, при этом время между перестановками винта надо увеличить до 2,5^{m}.

Полная программа исследований уровня по способу Васильева состоит из двух приемов каждый из которых в свою очередь состоит из двух полуприемов Полуприем включает в себя прямой и обратный ход

Перед началом каждого полуприема отсчитывают температуру воздуха в помещении (до 0,1°)

Исследования выполняются на центральных оборотах винта экзаменатора. В первом приеме прямой ход в каждом из полуприемов производится на ввинчивание винта экзаменатора, а обратный на вывинчивание. Во втором приеме действия в полуприемах обратны.

В журнал (табл. 11.39) записывают температуру воздуха, отсчет по шкале винта экзаменатора, отсчеты по левому и правому концами пузырька и время отсчета для каждой из установок

В первом полуприеме первого приема измерительный винт, работая на ввинчивание, устанавливают в исходное положение (0^{д}), после этого подъемным винтом экзаменатора пузырек уровня ставят в крайнее рабочее положение, из которого он будет перемещаться по рабочей части ампулы при ввинчивании измерительного одного винта Далее вывинчиваем винт на величину установочного интервала. Дав успокоиться в течение 2 мин, винт ввинчиванием точно устанавливают в исходное положение (0^{с}) Через 2 мин отсчитывают по левому и правому концам пузырька, записывают в журнал и тотчас ввинчивают винт на величину установочного интервала. Так проходят всю рабочую часть шкалы — прямой ход. После этого еще один раз

ввинчиванием перемещают винт на величину интервала и через 2 мин, не отсчитывая по уровню, вывинчиванием винта устанавливают его на отсчет, соответствующий последней установке прямого хода и первой — обратного. Через 2 мин отсчитывают уровень и далее последовательным вывинчиванием винта заканчивают полуприем (обратный ход).

Указанный порядок работы измерительным винтом должен соблюдаться совершенно строго: ввинчивание в прямом ходе полуприема и вывинчивание — в обратном ходе. Если при очередной установке винту случайно будет дан бóльший поворот, чем требуется, то полуприем переделывают целиком.

Второй полуприем идентичен первому с той лишь разницей, что исходный отсчет соответствует половине оборота измерительного винта Если, например, оборот содержит 120 делений, то исходное положение во втором полуприеме соответствует 60 делениям.

Перед вторым приемом уровень перекладывают на подставках экзаменатора на 180°. Измерительный винт вывинчиванием устанавливают на отсчет, соответствующий последней установке экзаменатора в первом полуприеме первого приема на смежном обороте винта. Подъемным винтом экзаменатора пузырек устанавливают в крайнее рабочее положение, из которого он будет перемещаться по рабочей части ампулы вывинчиванием винта. Дальнейшие действия во втором приеме аналогичны таковым в первом приеме, с той лишь разницей, что в прямом ходе обоих полуприемов измерительный винт работает на вывинчивание.

По окончании исследований вновь измеряют температуру.

Обработка журнала состоит в вычислении сумм отсчетов по концам пузырька для прямого и обратного ходов $l = Л + П$, в вычислении перемещений $r = |l_{k+1} - l_k|$ и вычислении средних r_m из прямого и обратного ходов, а также из вычислений длины пузырька $П - Л$ для всех установок. Из всех r_m для обоих приемов вычисляют значение $r_{ср}$, затем получают отклонения $v_i = r_{ср} - (r_m)_i$, по которым судят предварительно о качестве уровня. Абсолютные значения v_i хорошего уровня не превышают одного полуделения. Цену деления уровня, качество шлифовки ампулы и влияния внешних условий на результаты исследований находят из уравнивания результатов по способу наименьших квадратов.

Уравнения погрешностей имеют вид

$$x + \Delta\alpha + (T_к - T_0) Z + p - l_к = \delta_к,$$

где x — положение пузырька уровня (в полуделениях), соответствующее последней в прямом ходе установке экзаменатора (первой в обратном ходе) каждого полуприема. Назовем условно это положение начальным; $\Delta\alpha$ — изменение угла наклона от начального положения до k-й установки.

Таблица 11.39

Журнал измерений

Исследование уровня по способу Васильева

Ампула № *П5* Дата *1 октября 1979 г.* $t_{экз} = 1{,}000''$

Номер установки k	Установка винта экзаменатора	Прямой ход: Время отсчета	Прямой ход: Отсчеты по уровню Л	Прямой ход: Отсчеты по уровню П	Прямой ход: П − Л	Прямой ход: $l = Л + П$	Прямой ход: $r = l_{k+1} - l_k$	Обратный ход: Время отсчета	Обратный ход: Отсчеты по уровню Л	Обратный ход: Отсчеты по уровню П	Обратный ход: П − Л	Обратный ход: $l = Л + П$	Обратный ход: $r = l_{k+1} - l_k$	$r_m = \frac{1}{2} \times (r_{пр} + r_{обр})$	v
						I прием		I секция		$t = +19{,}2°$					
1	0	9^h52^m	0,8	15,3	14,5	16,1		10^h16^m	2,2	16,5	14,3	18,7			
2	5	54	3,8	18,3	14,5	22,1	6,0	14	4,7	19,0	14,3	25,7	5,0	5,50	−0,17
3	10	56	6,2	20,6	14,4	26,8	4,7	12	6,7	21,0	14,3	27,7	4,0	4,35	+0,98
4	15	58	9,1	23,4	14,3	32,5	5,7	10	9,3	23,8	14,5	33,1	5,4	5,55	−0,22
5	20	10 00	12,0	26,4	14,4	38,4	5,9	08	12,3	26,8	14,5	39,1	6,0	5,95	−0,62
6	25	02	14,4	28,8	14,4	43,2	4,8	10 06	14,7	29,0	14,3	43,7	4,6	4,70	+0,63
						II секция		$t = +19{,}3°$							
1	60	11 10	0,7	15,0	14,3	15,7		11 34	0,5	14,9	14,4	15,4			
2	65	12	3,5	17,8	14,3	21,3	5,6	32	3,5	17,8	14,3	21,3	5,9	5,75	−0,42
3	70	14	6,1	20,3	14,2	26,4	5,1	30	6,0	20,3	14,3	26,3	5,0	5,05	+0,28
4	75	16	8,6	22,9	14,3	31,5	5,1	28	8,3	22,7	14,4	31,0	4,7	4,90	+0,43
5	80	18	11,6	25,8	14,2	37,4	5,9	26	10,9	25,2	14,3	36,1	5,1	5,50	−0,17
6	85	20	14,0	28,2	14,2	42,2	4,8	24	13,8	28,0	14,2	41,8	5,7	5,25	+0,08

II прием I секция $t = +19{,}3°$

1	25	12^h08^m	14,9	0,6	14,3	15,5		12^h32^m	14,8	0,5	14,3	15,3			
2	20	10	17,8	3,6	14,2	21,4	5,9	30	17,7	3,5	14,2	21,2	5,9	5,90	—0,57
3	15	12	20,2	5,9	14,3	26,1	4,7	28	20,5	6,2	14,3	26,7	5,5	5,10	+0,23
4	10	14	22,9	8,7	14,2	31,6	5,5	26	22,9	8,7	14,2	31,6	4,9	5,20	+0,13
5	5	16	25,7	11,5	14,2	37,2	5,6	24	26,0	11,7	14,3	37,7	6,1	5,85	—0,52
6	0	18	28,5	14,2	14,3	42,7	5,5	12 22	28,5	14,2	14,3	42,7	5,0	5,25	+0,08

II секция $t = +19{,}3°$

1	85	12 48	15,2	0,8	14,4	16,0		13 12	15,0	0,6	14,4	15,6			
2	80	50	17,8	3,5	14,3	21,3	5,3	10	17,9	3,6	14,3	21,5	5,9	5,60	—0,27
3	75	52	20,3	6,0	14,3	26,3	5,0	08	20,5	6,2	14,3	26,7	5,2	5,10	+0,23
4	70	54	22,5	8,1	14,4	30,6	4,3	06	22,8	8,5	14,3	31,3	4,6	4,45	+0,88
5	65	56	25,4	11,0	14,4	36,4	5,8	04	25,9	11,6	14,3	37,5	6,2	6,00	—0,67
6	60	58	28,5	14,1	14,4	42,6	6,2	13 02	28,5	14,1	14,4	42,6	5,1	5,65	—0,32

$t = +19{,}3°$ $r_{ср} = 5{,}33$

Число полуделений уровня y, на которое перемещается его пузырек между установками, определяется по формуле

$$y = \frac{2t\Delta}{\tau},$$

где τ — цена деления уровня; t — цена деления экзамена ора; Δ — число делений шкалы, на которое поворачивают винт экзаменатора между установками.

Тогда $\Delta\alpha = (k - n)\,y$, где n — число установок; $k = 1, 2 \ldots n$.

Система условных уравнений имеет вид

$$x + (k - n)\,y + p + (T_k - T_0)\,z - l_k = \delta_k,$$

где p — величина влияния несовершенства шлифовки ампулы уровня на положение его пузырька («инерция» пузырька), имеет противоположный знак в прямом и обратном ходах; z — величина влияния внешних условий на положение пузырька в единицу времени (2 мин); p и z — выражаются в полуделениях уровня; T_0 — момент времени, соответствующий начальному положению (в прямом ходе), T_k — момент времени, соответствующий k-й установке (прямого хода); l_k — свободный член, вычисляемый по материалам исследования уровня (табл. 11.40); δ^k — погрешность определения свободного члена, обусловленная ошибками отсчета, несовершенством шлифовки ампулы и неправильностями ее кривизны.

Таблица 11.40

Вычисление свободных членов

Номер установки	I прием				II прием				$l_k = \frac{1}{2}\times(l_{k_I} + l_{k_{II}})$
	Среднее из I и II секций		$l_{k_I} = \frac{1}{2}\times(l_{пр} + l_{обр})$	$l'_k = \frac{1}{2}\times(l_{пр} - l_{обр})$	Среднее из I и II секции		$l_{k_{II}} = \frac{1}{2}\times(l_{пр} + l_{обр})$	$l''_k = \frac{1}{2}\times(l_{пр} - l_{обр})$	
	прямой ход	обратный ход			прямой ход	обратный ход			
1	15,90	17,05	16,48	−0,58	15,75	15,45	15,60	+0,15	16,04
2	21,70	22,50	22,10	−0,40	21,35	21,35	21,35	0,00	21,72
3	26,60	27,00	26,80	−0,20	26,20	26,70	26,45	−0,25	26,62
4	32,00	32,05	32,02	−0,02	31,10	31,45	31,28	−0,18	31,65
5	37,90	37,60	37,75	+0,15	36,80	37,60	37,20	−0,40	37,48
6	42,70	42,75	42,72	−0,02	42,65	42,65	42,65	0,00	42,68

Неизвестные x и y по абсолютной величине значительно превышают p и z, поэтому для повышения надежности p и z их определяют отдельно от x и y. При вычислении x и y образуют полусуммы начальных уравнений для прямого и обратного ходов каждой установки, а для p и z — полуразности. При этом разность $T_k - T_0$ для прямого и обратного ходов имеет различный знак.

Тогда система уравнений погрешностей (табл. 11.41) примет следующий вид:

Таблица 11.41

Составление уравнений погрешностей

k	x	y	$-l_k$	$l_{k_{\text{выч}}}$	δ_k	p	z	$-l'_k$	$-l''_k$
1	+1	−5	−16,04	+16,10	+0,06	+1	−5	+0,58	−0,15
2	+1	−4	−21,72	+21,41	−0,31	+1	−4	+0,40	0,00
3	+1	−3	−26,62	+26,71	+0,09	+1	−3	+0,20	+0,25
4	+1	−2	−31,65	+32,01	+0,36	+1	−2	+0,02	+0,18
5	+1	−1	−37,48	+37,31	−0,17	+1	−1	−0,15	+0,40
6	+1	0	−42,68	+42,61	−0,07	+1	0	+0,02	0,00

$$а)\quad x + (k - n)\,y - l_k = \delta_k;$$

$$б)\quad p + (T_k - T_0)\,z - l'_k = \delta'_k.$$

Систему уравнений δ решают раздельно для первого и второго приемов со своими свободными членами (l'_k и l''_k).

От уравнений погрешностей переходят к нормальным уравнениям:

для нахождения x и y

$$nx + [(k - n)]\,y + [l_k] = 0;$$

$$[(k - n)]\,x + [(k - n)^2]\,y + [(k - n)\,l_k] = 0;$$

нахождения p и z

$$np + [(T_k - T_0)]\,z + [l'_k] = 0;$$

$$[(T_k - T_0)]\,p + [(T_k - T_0)^2]\,z + [(T_k - T_0)\,l'_k] = 0.$$

Для второго приема вместо l'_k используются l''_k.

Из решения нормальных уравнений (табл. 11.42) получают x, y, p, z в полуделениях уровня. Цену деления уровня τ определяют по формуле

$$\tau'' = \frac{2t\Delta}{y}.$$

Производят оценку точности определения цены деления уровня, для чего с найденными значениями x и y, используя систему начальных уравнений

$$x + (k - n)\,y - l_k = \delta_k,$$

получают остаточные уклонения δ_k (в полуделениях уровня). По формуле

$$\mu = \frac{\tau}{2}\sqrt{\frac{[\delta_k^2]}{n-2}}$$

находят среднюю квадратическую ошибку единицы веса.

По формуле

$$\mu_y = \frac{\mu\tau}{y\sqrt{p_y}}$$

Таблица 11.42

Решение нормальных уравнений

x	y	l	p	z	l'	l''
+6	−15	−176,19	+6	−15	+1,07	+0,68
	+2,500	+29,36		+2,500	−0,18	−0,11
	55	+347,72		55	−4,99	−0,76
	−37,5	−440,48		−37,5	+2,68	+1,70
	17,5	−92,76		17,5	−2,31	+0,94

$y = +5{,}301 \quad z_1 = +0{,}132 \quad p_1 = +0{,}15$

$x = +42{,}61 \quad z_2 = -0{,}054 \quad p_2 = -0{,}25$

$p_y = 17{,}5$

$$\tau = \frac{2t\Delta}{y} = \frac{2\ 1\ 5}{5{,}301} = 1{,}886'' \qquad z = +0{,}039\tau/2 = +0{,}020^{\tau} = +0{,}04''$$

$$\mu = \frac{\tau}{2}\sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-2}} = 0{,}24'' \qquad p = -0{,}050\tau/2 = -0{,}025^{\tau} = -0{,}05''$$

$$\mu = \frac{\mu''\tau}{y\sqrt{p_y}} = 0{,}020''$$

находят среднюю квадратическую ошибку определения цены деления уровня.

Если величина z получена больше $0{,}07\tau$, то исследования уровня повторяют.

Величина p не должна превышать $0{,}2\tau$, а ошибка единицы веса μ — $0{,}25\tau$.

11.21.2. Исследование уровней по способу Комстока

По способу Комстока уровни исследуют при отсутствии экзаменатора, а также в тех случаях, когда температура воздуха при наблюдениях значительно (более 15°) отличается от температуры, при которой производилось исследование до выезда в поле на экзаменаторе

Предпочтительно выполнять эту работу ночью или в пасмурную погоду, когда изменения температуры воздуха минимальны. Теодолит устанавливают на устойчивом астростолбе таким образом, чтобы один из подъемных винтов находился примерно в створе (до 2°) с выставленной маркой-мирой или хорошо видимым удаленным земным предметом. Теодолит тщательно горизонтируют, трубу наводят на марку и отсчитывают по вертикальному кругу. Наклоняют трубу примерно на 1°, производят точный отсчет по кругу, после чего упомянутым подъемным винтом весь теодолит наклоняют так, чтобы труба вновь оказалась наведенной на марку.

После этого поворачивают верхнюю часть теодолита вокруг наклоненной в результате произведенных действий вертикальной оси до тех пор, пока пузырек исследуемого уровня

не займет среднего положения, после чего алидаду закрепляют и наводящим азимутальным винтом перегоняют пузырек уровня в одно из крайних положений и отсчитывают с точностью до 1′ по горизонтальному кругу; получают отсчет M_1. Перегоняют пузырек в противоположное крайнее положение и вновь отсчитывают по кругу — отсчет M_2. Отсчеты $M_1 - M_2$ подбирают так, чтобы угол поворота алидады составлял целое число наименьших делений круга.

При определении цены деления уровня Талькотта алидаду после наклона теодолита поворачивают примерно на 90°, ориентируясь на пузырек уровня при алидаде вертикального круга; когда последний займет среднее положение, уровень Талькотта скрепляют с трубой, пузырек его приводят элевационным винтом на середину и находят отсчеты M_1 и M_2 описанным выше методом.

Дальнейшее исследование производят следующим образом: выразив разность $M_2 - M_1$ в минутах, делят ее на число установок в ходе (5—6), определяют интервал перестановки Δ. Устанавливают алидаду на отсчет M_1 и когда пузырек успокоится, отсчитывают по его концам; перемещают алидаду на интервал Δ, вновь отсчитывают по концам пузырька и так продолжают до отсчета M_2. Измерение выполняют затем в обратном ходе. Прямой и обратный ход составляют полуприем.

Затем алидаду поворачивают примерно на 180°, находят второе рабочее положение и все исследования повторяют (второй полуприем).

В заключение наводят трубу теодолита на марку и, убедившись, что горизонтальная нить сетки совпадает с изображением марки, отсчитывают по вертикальному кругу. Затем подъемным винтом под трубой вертикальную ось теодолита приводят приблизительно в вертикальное положение, тщательно горизонтируют теодолит и вновь наводят трубу на марку. Отсчитывают по вертикальному кругу. Расхождение между углом наклона I_1, определенным в начале приема, и I_2, определенным в конце, не должно быть более 10″; в противном случае измерения повторяют (табл. 11.43).

Таблица 11.43

Определение угла наклона вертикальной оси

Дата *8 апреля 1980 г.* Теодолит. *АУ 2/10 № 300*

I прием

Отсчет по микроскопу		Среднее	I	Примечание
I	II			
89°31′10″	32′40″	89°31′55″	1°00′05″	Начало приема
90 31 20	32 40	90 32 00		
90 31 20	32 50	90 32 05	1 00 10	Конец приема
89 31 10	32 40	89 31 55		

$$I^\circ = \frac{1}{2}(I_1 + I_2) = 1^\circ 00' 08''$$

Указанные действия составляют один прием. Полная программа измерений состоит из двух таких приемов, причем угол наклона определяется в каждом приеме независимо.

Результаты измерений записывают в журнал (табл. 11.44). Обработка журнала состоит в вычислении для каждой установки длины пузырька (П — Л) с целью контроля, в вычислении величин $l = (П + Л)$ и $r_i = l_{i+1} - l_i$. Для каждой секции находят среднее из прямого и обратного хода перемещение пузырька Σ при повороте алидады на угол, равный разности $M_2 - M_1$.

Для оценки точности выполненных измерений для каждой установки вычисляют среднюю из прямого и обратного ходов величину перемещения пузырька $r_m = (r_{пр} + r_{обр})/2$, находят среднее $r_{m_{ср}}$ в приеме и отклонения $v_i = r_{m_{ср}} - r_{m_i}$.

Цену деления уровня для каждого приема вычисляют по формуле

$$\tau = \frac{2{,}0944\,(M_2 - M_1)'\,I^\circ}{\Sigma_{ср}},$$

где $I^\circ = \frac{1}{2}(I_1 + I_2)$ — средний угол наклона теодолита (в градусах); $\Sigma_{ср}$ — среднее в приеме перемещение пузырька уровня (в полуделениях) при повороте алидады на угол $(M_2 - M_1)'$.

Ошибку определения цены деления уровня τ вычисляют по формуле

$$m''_\tau = \frac{\tau''}{\Sigma_{ср}} \sqrt{\frac{[v^2]}{n\,(n-1)}},$$

где n — число отклонений.

11.21.3. Определение цены деления уровня по отсчетам вертикального круга

Этим способом можно определить цену деления уровней, ось которых перпендикулярна к горизонтальной оси прибора (уровень Талькотта, уровень при алидаде вертикального круга). Теодолит должен иметь точно разделенный вертикальный круг.

Способ хорош тем, что требует немного времени на исследования и обработку, позволяет определять цену деления уровня в системе прибора и в условиях, максимально приближенных к условиям наблюдений, учитывает остаточную неперпендикулярность оси уровня к горизонтальной оси теодолита.

Идея способа заключается в следующем. Если взять отсчеты по концам пузырька уровня (индикатору) и по вертикальному кругу, а затем с помощью наводящего винта трубы наклонить ось уровня на небольшой угол и вновь произвести от-

Таблица 11.44

Журнал исследования уровня по способу Комстока

Уровень *накладной теодолита АУ 2/10* Дата *8 апреля 1980 г.*

Прием I

Отсчет по горизонтальному кругу	Прямой ход					Обратный ход					r_m	$v_i = r_{m_{ср}} - r_{m_i}$
	Отсчеты по уровню		П − Л	$l=(Л+П)$	$r_i=l_{i+1}-l_i$	Отсчеты по уровню		П − Л	$l=(Л+П)$	$r_i=l_{i+1}-l_i$		
	Л	П				Л	П					
37°50′	4,1	21,2	17,1	25,3		3,9	21,0	17,1	24,9			
45	6,5	23,6	17,1	30,1	4,8	6,5	23,6	17,1	30,1	5,2	5,00	+0,02
40	9,3	26,3	17,0	35,6	5,5	9,5	26,5	17,0	36,0	5,9	5,70	−0,68
35	11,4	28,5	17,1	39,9	4,3	11,6	28,7	17,1	40,3	4,3	4,30	+0,72
30	14,0	31,0	17,0	45,0	5,1	14,2	31,2	17,0	45,4	5,1	5,10	−0,08
											20,10	
37 50	4,3	21,3	16,9	25,6		3,9	21,0	17,1	24,9			
45	6,7	23,8	17,1	30,5	4,9	6,6	23,6	17,0	30,2	5,3	5,10	−0,08
40	9,3	26,3	17,0	35,6	5,1	9,4	26,4	17,0	35,8	5,6	5,35	−0,33
35	11,5	28,4	16,9	39,9	4,3	11,7	28,7	17,0	40,4	4,6	4,45	+0,57
30	14,1	31,1	17,0	45,2	5,3	14,1	31,2	17,1	45,3	4,9	5,10	−0,08
											20,00	
217 50	4,5	21,6	17,1	26,1		4,2	21,3	17,1	25,5			
45	6,5	23,6	17,1	30,1	4,0	6,7	23,9	17,2	30,6	5,1	4,55	+0,47
40	9,2	26,3	17,1	35,5	5,4	9,4	26,4	17,0	35,8	5,2	5,30	−0,28
35	11,7	28,7	17,0	40,4	4,9	11,9	29,0	17,1	40,9	5,1	5,00	+0,02
30	14,3	31,3	17,0	45,6	5,2	14,5	31,6	17,1	46,1	5,2	5,20	−0,18
											20,05	
217 50	4,6	21,6	17,0	26,2		4,3	21,4	17,1	25,7			
45	6,9	24,0	17,1	30,9	4,7	7,0	24,0	17,0	31,0	5,3	5,00	+0,02
40	9,4	26,4	17,0	35,8	4,9	9,5	26,5	17,0	36,0	5,0	4,95	+0,07
35	11,9	28,9	17,0	40,8	5,0	11,9	29,0	17,1	40,9	4,9	4,95	+0,07
30	14,5	31,5	17,0	46,0	5,2	14,6	31,7	17,1	46,3	5,4	5,30	−0,28
											20,20	

$\Sigma_{ср} = 20,09 \quad r_{m_{ср}} = 5,02 \quad [v^2] = 2,20 \quad \tau = \dfrac{2,0944\,(M_2 - M_1)}{\Sigma_{ср}} \quad i'' = \dfrac{2,0944 \cdot 20' \cdot 1,0021}{20,09} = 2,089''$

$n = 16 \quad M_\tau = \dfrac{\tau}{\Sigma_{ср}} \sqrt{\dfrac{[v^2]}{n\,(n-1)}} = 0,010''$

счеты, то наклон оси уровня, выраженный в полуделениях (делениях), должен находиться в соответствии в разностью отсчетов по кругу. Отсюда цена деления τ уровня определится:

$$\tau = 2\left|\frac{M_2 - M_1}{(Л + П)_2 - (Л+П)_1}\right|;$$

где $M_{1,2}$ — отсчеты по кругу.

Практически поступают следующим образом. Горизонтируют теодолит, скрепляют исследуемый уровень с трубой (если это уровень Талькотта), наводящим винтом трубы перемещают пузырек уровня в одно из крайних рабочих положений, определяют направление вращения винта, при котором пузырек уровня будет перемещаться в другое крайнее положение — прямой ход. Обратным движением винта немного переводят пузырек за границу рабочей части ампулы, после чего прямым движением винта устанавливают пузырек в крайнее рабочее положение. Отсчеты сначала по уровню, затем по кругу производят после успокоения пузырька — через 1,5—2 мин. Перемещают пузырек в другое крайнее положение и берут отсчеты. Наводящим винтом немного смещают пузырек в том же (прямом) направлении и обратным движением винта устанавливают пузырек в это крайнее рабочее положение. Обратный ход выполняют аналогично прямому.

Вращение винта в каждом ходе производят строго в одном направлении.

Прямой и обратный ходы образуют прием. Всего выполняют три приема, переставляя между приемами круг на произвольный угол.

Расхождение цены деления уровня в приемах не должно превышать 0,15 τ.

11.22. УХОД ЗА АСТРОНОМИЧЕСКИМИ ТЕОДОЛИТАМИ

11.22.1. Общие правила

Высокую точность астрономических определений можно получить только при знании и соблюдении правил эксплуатации астрономических приборов. Астрономические теодолиты — высокоточные приборы, с ними необходимо аккуратно обращаться и беречь их.

Наблюдатель не должен передоверять уход за теодолитом другому лицу. При транспортировке все его части должны быть помещены в соответствующие гнезда и тщательно закреплены закрепительными устройствами. Дверцы упаковочных ящиков или кожухов должны закрываться только после того, как проверена правильность установки теодолита и его отдельных частей.

11.22.2. Хранение и транспортировка астрономических теодолитов

При подготовке теодолитов к перевозке и к длительному хранению окуляры труб, отсчетные приспособления, уровни, водильца с закрепительными и наводящими винтами необходимо обертывать мягкой бумагой (бытовыми салфетками). Обязательно проверяют затяжку всех закрепительных устройств и наличие запаса хода у наводящих винтов. На верхней стороне ящиков наклеивают ярлыки с надписями: «астрономический прибор», «верх», «осторожно», нарисованными стилизованно изображениями «рюмки», для предохранения теодолита от перевертывания. Перевозка астрономических приборов в пассажирских вагонах и в самолетах производится без наружных специальных упаковочных ящиков, но при этом под ящик теодолита необходимо подложить что-нибудь мягкое.

При транспортировке на значительные расстояния по железной дороге, автомобильным и гужевым транспортом теодолиты должны быть упакованы в специальные упаковочные ящики, имеющие внутри мягкие подушки, набитые стружкой. Астроном или его помощник должен присутствовать при погрузке и выгрузке ящиков с теодолитами, при отправке их багажом. Это правило должно соблюдаться и при перевозке теодолитов авиатранспортом.

При перевозке теодолитов на автомашине грузовой ящик необходимо ставить в кузове ближе к кабине на мягкой подстилке. При перевозке вьюком ящики подвешиваются сбоку лошади в специальные переметные сумы, для противовеса с другой стороны лошади подвешивается равноценный груз.

Астрономические теодолиты должны храниться в упаковочных ящиках в сухом, отапливаемом помещении при температуре $+12 - +25\,^{\circ}C$ и относительной влажности не более 70 %. Помещение должно быть недоступным для посторонних лиц.

Теодолиты в помещении должны находиться вдали от отопительной системы и окон. Они должны быть тщательно вычищены, смазаны. Цапфы смазывают химически чистым вазелином и обертывают папиросной бумагой.

Состояние теодолитов при хранении периодически проверяется. В случае обнаружения плесени, коррозии они направляются в чистку, а в помещении, где они хранились, устраняются причины, вызвавшие эти дефекты. Смазка у теодолитов должна периодически заменяться. Сроки ее замены для вертикальной оси один год, для цапф полгода.

При внесении ящика с теодолитом с холода в теплое помещение ящик следует оставлять закрытым в течение 3—4 ч, пока он не примет температуру помещения. То же делается и при выносе ящика с теодолитом из теплого помещения на холод.

11.22.3. Подготовка к работе

Для выполнения астрономических определений теодолит устанавливают на столбе (каменном, бетонном) или на столике геодезического сигнала. Столик сигнала, на котором выполняют измерения, должен иметь повышенную жесткость. Подъем теодолита на сигнал выполняется под наблюдением астронома без спешки. При подъеме ящик с теодолитом должен находиться с внешней стороны сигнала. Подъем производят посредством каната или троса и блока, закрепленного на ноге сигнала выше уровня пола площадки. К ящику с теодолитом кроме подъемного крепят контрольный и оттяжной канаты. Контрольный канат захлестывают за столик сигнала и выбирают по мере подъема ящика, держа канат натянутым. Оттяжной канат служит для оттяжки ящика при подъеме и предохраняет его от ударов о сигнал. Закрепление на ящике каждого каната должно производиться независимо от других путем обвязывания ящика накрест, таким образом, чтобы ящик поднимался в вертикальном положении и не мог перевернуться. В конце подъема инструментальный ящик должен быть принят наблюдателем или помощником. При переносе ящика через перила площадки его не следует наклонять или опрокидывать.

Таким же путем поднимают и все остальное необходимое оборудование.

Теодолит вынимают из укладочного ящика на сигнале в соответствии с указаниями по укладке и устанавливают на столике на подпятники. Подпятники размещают на столике по шаблону и привинчивают шурупами. Положение подпятников на столике выбирают так, чтобы было удобно работать с поверительной трубой. Ставить теодолит на столик без подпятников не разрешается, так как может быть повреждено центрирующее устройство. Остальное оборудование размещают так, чтобы оно было доступно, но не мешало при работе. При перерывах в работе теодолит и оборудование закрывают чехлами, защищают от прямых солнечных лучей и атмосферных осадков.

При установке теодолита на столбе (кирпичном, бетонном) на подпятники их сначала легкими ударами как бы вбивают в поверхность столба, а затем заливают гипсом. Установив теодолит, его осматривают, очищают от пыли, пользуясь мягкой кисточкой или салфеткой, проверяют чистоту наружных поверхностей оптических деталей. Пыль с оптики лучше всего сдувать, а не вытирать, так как несколько оставшихся пылинок практически не влияют на качество изображения, а мазок грязи может существенно понизить качество.

В крайних случаях, когда без протирки не обойтись, объектив протирают круговыми движениями от середины линзы к краям специально заготовленной стираной мягкой белой тканью из льна или тонкого полотна. Можно протирать объектив

рисовой папиросной бумагой, предварительно подышав на линзу. Края линзы протирают тряпочкой или бумагой, обернутой вокруг спички.

Ежедневно по окончании работы следует очистить теодолит от пыли, слегка смазать маслом концы винтов и гильз с пружинами; протереть цапфы мягкой и чистой материей и слегка смазать их маслом или вазелином, надеть защитные крышки на трубы, вывести все наводящие винты на середину, надеть специальные предохранительные чехлы из материи на окуляр трубы и микрометры или обернуть мягкой бумагой.

В случае сырой погоды смазку открытых деталей (цапфы, подъемные винты) необходимо сделать более обильной. После протирки детали принимают свой прежний вид, так как слой масла или вазелина удаляется без остатка с налипшей пылью. При работе в холодное время и ночью на теодолите появляется налет влаги, вытирать ее не следует. После окончания работы теодолит укрывают чехлами, под ними влага с повышением температуры быстро высыхает. Для доступа наружного воздуха в чехлах должны быть сделаны клапаны. Накладные уровни следует всегда убирать в упаковочный ящик.

При переноске теодолита на небольшие расстояния и установке его на столбе или столике сигнала его берут за усилительное кольцо трегера.

Не рекомендуется трубу теодолита при укладке брать за объективную часть и противолежащий ей противовес. Следует тщательно оберегать цапфы и лагеры от толчков и ударов при укладке трубы на подставку теодолита или в ящик. В случае сильного загрязнения подъемных и наводящих винтов теодолита их чистят зубной щеткой, двигая ее вдоль витков резьбы поперек оси винта и поливая винт бензином. После чистки подъемные винты смазывают вазелиновым маслом, а наводящие — часовым. Вывинчивать и ввинчивать винты надо очень медленно, без усилий.

В полевых условиях не разрешается вывинчивать объектив, отделять объективное колено ломаной трубы, вынимать ампулу уровня из оправы, вывинчивать из своих гнезд микрометрические винты окулярного микрометра и микроскоп-микрометров, разбирать коробку микрометра, регулировать ложные лагеры, менять масло на вертикальной оси, чистить лимб.

В случае же необходимости исправления в поле перечисленных деталей это поручается опытному механику и всегда с разрешения инспектора технического контроля. Все подключения кабелей должны быть выполнены в соответствии с заводской маркировкой. Кабели закрепляют так, чтобы исключить возможность повреждения их самих и разъемов.

Перед началом работ проверяют качество вращения вертикальной и горизонтальной осей теодолита, делая несколько пово-

ротов в обе стороны и контролируя вращение по изменению положения пузырька уровней. Тугое вращение алидады горизонтального круга обычно связано с работой ее наводящего винта и неправильным распределением масла на оси теодолита. Равномерного распределения масла вокруг оси можно достичь таким методом: прижать подставку теодолита к столику, приподнять подвижную часть его вверх до тех пор, пока она не стукнет о внутреннюю контргайку, и поворачивать в таком положении алидаду несколько раз, благодаря чему достигается равномерное распределение масла вокруг оси. В противном случае необходимо отрегулировать вращение вертикальной оси, для чего сначала вывинчивают патрон с пружиной наводящего винта алидады. Сама регулировка складывается из следующих операций:

отпускают стопорный винт, зажимающий регулировочный винт-грибок;

вывинчивают грибок на полоборота, вращая его против часовой стрелки;

оставляют в покое теодолит в течение 2 ч (вращать и сдвигать алидаду в это время нельзя, так как при этом можно повредить баксы);

через 2 ч постепенно завинчивают винт-грибок до момента касания винтом вкладыша, лежащего на оси. В это время руку держат на кожухе алидады для того, чтобы почувствовать появление зазора между баксой и осью;

повторяют операцию завинчивания несколько раз, замечая каждый раз отсчет по делениям грибка, убеждаются в том, что подвижность верхней части теодолита появляется примерно при одном и том же отсчете;

ставят шляпку грибка на средний из полученных отсчетов и закрепляют стопорный винт.

Если двукратная регулировка не восстанавливает нормального вращения алидадной части, необходимо сменить смазку вертикальной оси. Для смены масла теодолит разбирают включительно до снятия баксы с оси. Механические разборки, кроме указанных выше, не разрешаются. Смазку оси можно производить только маслом, опробованным инструментальной лабораторией.

Вертикальная ось теодолитов Вильд Т4, ДКМ3-А неразборная. Смазка в них меняется в оптико-механических мастерских опытными механиками.

При транспортировке оптических теодолитов необходимо производить разгрузку вертикальной оси. После установки на столб нельзя вращать алидаду до приведения вертикальной оси в рабочее положение.

Частичную или полную разборку оптических теодолитов выполняют по результатам осмотра, который производят до и пос-

ле полевого сезона. Полную разборку, чистку и юстировку теодолитов выполняют не реже одного раза в 2—3 года. Правила технического обслуживания и регламентные работы выполняют в строгом соответствии с «Инструкциями по эксплуатации», прилагаемыми к каждому типу теодолитов.

11 23. ИССЛЕДОВАНИЕ ХРОНОМЕТРОВ

Хронометры, направляемые на астрономические работы, подлежат обязательному исследованию. Для исследования хронометра одиннадцать раз каждый час принимают сигналы времени одной и той же радиостанции. По результатам приема сигналов вычисляют поправки хронометра, часовые ходы и среднее квадратическое колебание часового хода (табл. 11.46.). Часовой ход с номером i вычисляют по формуле

$$\omega_i = u_{i+1} - u_i,$$

а среднее квадратическое колебание часового хода хронометра по формуле

$$m = \sqrt{\frac{[v_i^2]}{n-1}},$$

Таблица 11.45

Исследование хронометра

Хронометр звездный, контактный № 7300, 1-го МЧЗ

Дата	Радиостанция	u	ω	v
13 декабря 1979 г.	РИД — 15^h00^m	$+0{,}098^s$	$+0{,}086^s$	$-0{,}014^s$
То же	» 16 00	+0,184	+0,072	0,000
»	» 17 00	+0,256	+0,060	+0,012
»	» 18 00	+0,316	+0,076	—0,004
»	» 19 00	+0,392	+0,057	+0,015
»	» 20 00	+0,449	+0,049	+0,023
»	» 21 00	+0,498	+0,083	—0,011
»	» 22 00	+0,581	+0,068	+0,004
»	» 23 00	+0,649	+0,082	—0,010
14 12 1979 г.	» 0 00	+0,731	+0,088	—0,016
14.12 1979 г.	» 1 00	+0,819		

где v_i — уклонение i-го часового хода от среднего; n — число часовых ходов, принятых для вывода среднего.

Среднее значение часового хода $\omega_{ср} = +0{,}072^s$. Среднее квадратическое колебание часового хода

$$m = \sqrt{\frac{0{,}001603}{9}} = 0{,}013^s.$$

По прибытии на астрономический пункт хронометр держат под контролем, сопоставляя его часовые ходы, полученные по приему радиосигналов времени. Часовой ход хронометра за время пребывания на пункте не должен иметь уклонения от среднего более $0{,}08^s$. Если установлено, что при изменении температуры менее чем на 10°, или давления атмосферы меньше, чем на 30 гПа, часовой ход хронометра колеблется на величину более $0{,}15^s$, то работа с таким хронометром должна быть прекращена. То же следует сделать и в том случае, если хронометр начинает без видимой причины изменять ход более чем на $0{,}5^s$ в сутки.

11.24. ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОВЕРОК ТЕОДОЛИТОВ

Программа исследований и поверок теодолитов представлена в табл. 11.46.

Таблица 11.46

Название поверки или исследования	Теодолит	Индекс поверки по Руководству	Группа способов (индекс)					
			Зенитальные 3 3 4.3, 4 4 4 6 4.7, 7.3 7 4, 9 1, 9.2			Азимутальные 3.4, 3.5, 5.1 6.2, 6.3, 6 7 6 6, 7 6		
			Периодичность выполнения					
			1П	П	В	1П	П	В
1. Осмотр теодолита		11.1		×			×	
2. Поверка расположения оси подвесного уровня в плоскости горизонтальной оси	2	11.3.2.1					×	
	1	11.3.4.1					×	
3. Поверка перпендикулярности оси подвесного уровня к горизонтальной оси	2	11.3.2.2						×
	3	11.3.3.2						×
	1	11.3.4.2						×
4. Определение неравенства подставок горизонтальной оси	2	11.3.2.3					×	
	3	11.10					×	
	1	11.3.4.3					×	
5. Определение перпендикулярности талькоттовского уровня к горизонтальной оси	2	11.3.2.4	×					
	3	11.3.3.8	×					
	1	11.3.4.8	×					
6. Определение перпендикулярности оси уровня при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси	3	11.3.3.1			×			×

Продолже ние табл 11 46

Название поверки или исследования	Теодолит	Индекс поверки по Руководству	Группа способов (индекс Зенитальные 3 3, 4 3, 4 4 4 6 4 7, 7.3 7 4 9 1 9 2 Азимутальные 3 4, 3,5, 5.1 6.2, 6 3, 6.7 6 6, 7.6 Периодичность выполнения 1П	П	В	1П	П	В
7 Определение взаимного расположения ампул талькоттовского уровня	2	11 3.2.5		×				
	3	11 3 3 3		×				
8 Определение угла между микроскоп-микрометрами	1	11 3 4.4					×	
9 Определение цена отсчетных микроскопов	2	11.5 1	×			×		
	3	11 5 1	×			×		
	1	11 5 2	×			×		
			×					
10. Поверка правильности ориентирования нити окулярного микрометра	2	11 3 2.7	×			×		
	3	11 3.3.4	×			×		
	1	11 3 3.4	×			×		
11 Расположение сетки нитей	2	11 3 2 6	×			×		
12. Определение коллимационной ошибки главной зрительной трубы	2	11 3.2 8		×			×	
	3	11 3.3 5		×			×	
	1	11 3 4.5		×			×	
13. Определение места зенита вертикального круга	2	11 3 2 9		×			×	
	3	11.3.3 6		×			×	
	1	11.3.4.6		×			×	
14. Определение места зенита установочного круга	2	11.3.2.10		×			×	
15 Поверка правильности установки контактного цилиндра	2	11.3 2.11		×				
	1	11.3 2.11		×				
16. Определение Мх		11..4			×			×
17. Определение Шк		11 15		×			×	
18 Определение цены оборота окулярного микрометра		11 12		×			×	
19. Определение расстояний боковой нити от средней		11 16	×					
20 Определение цены деления уровня по способу Комстока		11.21.2	По мере необходимости					

1П — поверки и исследования, выполняемые на первом пункте.
П — поверки и исследования, выполняемые на каждом пункте
В — поверки и исследования, выполняемые каждую дату наблюдения.
1 — АУ 2/10
2 — Вильд Т4
3 — ДКМ3-А

12. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЛЕВЫХ ЖУРНАЛОВ

Результаты астрономических определений записывают в полевые журналы установленной формы. Образцы записи в журналах даны в таблицах «Руководства». Ниже даны рекомендации по оформлению журнала в целом и его первых страниц.

Полевые журналы являются документами строгого учета, страницы в них должны быть пронумерованы и число их заверено инспектором отдела технического контроля.

Записи в полевом журнале должны быть закончены до отъезда с пункта. Запрещается употребление химического карандаша. Подчистка и исправление цифр по написанному не допускаются. Разрешается исправлять только явно ошибочные записи в старших разрядах, при этом прежнее значение аккуратно зачеркивается и над ним записывается верное.

Отдельные приемы и пары, не принятые в обработку, зачеркиваются в журнале одной чертой с указанием причины и подписью астронома. Повторные приемы сохраняют номер основного приема с добавлением слова «bis».

Как правило, журнал рассчитывается на один пункт, но для журналов определения широты и приема радиосигналов может быть сделано исключение.

На один пункт для определения одной из координат или азимута может быть израсходовано несколько журналов.

12.1. ЖУРНАЛЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ШИРОТЫ

На обложке журнала указывают:

а) год наблюдения,

б) объект,

в) номер журнала.

На титульном листе журнала, кроме повторения данных, указанных на обложке, должны быть помещены следующие сведения.

а) вид астрономического пункта, т. е. пункт Лапласа, пункт астрономо-гравиметрического нивелирования, пункт специального назначения и т. п.;

б) название пункта и базисной сети (сеть указывается только для пунктов в астрономо-геодезической сети);

в) номенклатура листа карты масштаба 1:1 000 000 (рядом с названием);

г) название учреждения, ведущего астрономические определения;

д) фамилия и инициалы начальника астрономического подразделения (партии);

е) фамилия и инициалы астронома;

ж) полное название способа определения, например «журнал № 5 определения широты по способу Талькотта на постоянных нитях»;

з) приближенные широта и долгота пунктов: φ дается с точностью до 1′, λ приводится с той точностью, с которой известна в период сдачи полевых материалов;

и) тип и номер астрономического теодолита, хронометра, радиоприемника, записывающего устройства;

к) в нижней части листа должны быть помещены адрес учреждения и обращение к нашедшему журнал выслать его по этому адресу;

л) при необходимости на титульном листе (и обложке) помещаются гриф и номер экземпляра.

На второй странице должна быть подпись лиц, проверивших заполнение журнала, всех исходных данных и вычислений, сделанных на страницах журнала, а также подпись лица (инспектора отдела технического контроля), принявшего данный журнал.

На 3-й и 4-й страницах даются чертеж расположения теодолита и центра пункта и числовые данные элементов центрировки.

На 5-й странице журнала помещается оглавление, в котором для каждого пункта и для каждой даты наблюдений указаны число наблюденных пар и соответствующие страницы журнала. Здесь же указывается (кроме способа Талькотта на постоянных нитях) номер журнала приема радиосигналов.

Ниже оглавления указывают, сколько всего пар звезд наблюдалось на каждом пункте.

На этой же странице приводят основные формулы для вычисления широты с числовыми коэффициентами и конкретными знаками, а также основные инструментальные параметры.

А. Для способа Талькотта:

цену деления талькоттовского уровня τ'';

цену оборота винта окулярного микрометра R'';

общую формулу широты с указанием знака перед квадратной скобкой;

формулу поправки за наклон нити (только для наблюдений в произвольных малых часовых углах);

формулу поправки $\Delta\varphi_к$ (различная для наблюдений на постоянных нитях и в произвольных малых часовых углах);

формулу поправки за уровень с указанием, с какой стороны по отношению к объективу находится нуль (или младший отсчет) шкалы уровня при каждом положении круга теодолита.

Б. Для способа Певцова:

цену деления талькоттовского уровня;

формулу для вычисления поправки за уровень для каждого положения круга теодолита и сведения о расположении нуля шкалы уровня относительно объектива теодолита.

В. Для способов определения широты по измерениям зенитных расстояний пар звезд вблизи меридиана (см. 4.6 и 4.5):

цену деления уровня при вертикальном круге τ'';

формулу для вычисления поправки за уровень;

цену оборота винта окулярного микрометра R'' (если он применялся);

формулу для вычисления поправки за уровень;

формулу для вычисления поправки за микрометр.

Г. Для способа совместного определения широты и долготы по азимутальным наблюдениям (раздел 5):

цену деления накладного уровня τ'';

формулу для введения поправки за уровень.

На последней странице журнала должно быть указано число пронумерованных и число заполненных страниц за подписью астронома.

12.2 ЖУРНАЛЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ВРЕМЕНИ

Обложка, титульный лист журнала, а также 2, 3 и 4-я страницы оформляются аналогично журналам по определению широты.

На 5-й странице помещают оглавление, в котором для каждой отдельной долготы (группы поправок) указывают радиостанцию, предшествующую наблюдениям и замыкающую наблюдения звезд.

Указывают номер журнала приема радиосигналов, общее число пар, записанных в данном журнале, и общее число пар, отнаблюденных на пункте.

На этой же странице внизу приводят основные параметры теодолита и формулы, используемые при вычислениях.

А. Для способа Цингера с применением контактного микрометра (см. 3.3):

цену деления уровня Талькотта τ'';

формулу поправки за уровень;

суммарное значение мертвого хода и ширины контакта МШ = (Мх − Шк);

формулу поправки $\Delta u_{\text{МШ}}$;

цену оборота винта микрометра R^s.

Б. Для способа Деллена (см. 3.4): все сведения аналогично пункту А, только дополнительно указывают

цену деления накладного уровня τ в секундах дуги и секундах времени (вместо талькоттовского уровня);

формулу поправки за окулярный микрометр;

знак поправки за окулярный микрометр.

В. Для способа определения времени по азимутальным определениям пары звезд вблизи меридиана (см. 3.5) приводятся все сведения аналогично пункту А.

На последней странице журнала указывают число заполненных страниц за подписью астронома.

12.3. ЖУРНАЛЫ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ АЗИМУТА

На титульном листе дополнительно указывают:

пункт, на который определялся азимут;

высоту пункта над поверхностью референц-эллипсоида H (в м);

высоту сигнала (до столика) h на пункте (в м);

H_2 и h_2 для пункта, азимут направления на который определяется.

Широту и долготу пункта записывают с точностью, полученной при полевых вычислениях.

На 3-й и 4-й страницах помещают схему взаимного расположения теодолита, центров на обоих пунктах и визирных целей; числовые данные элементов центрировки и редукции (средние из нескольких определений).

На 5-й странице приводят оглавление с указанием значений азимута по отдельным приемам, полученного по полевым вычислениям (см. 6.4), или свободные члены (см. 6.2 и 6.3) и сведения о принятых радиосигналах.

В нижней части страницы записывают:

цену деления уровня τ'';

цены оборотов главной $R_{гт}$ и поверительной $R_{пт}$ труб;

знаки поправок за окулярный микрометр;

значение рена и дату его определения для теодолитов АУ 2/10.

12.4. ЖУРНАЛЫ ПРИЕМА РАДИОСИГНАЛОВ ВРЕМЕНИ

На титульном листе указывают метод приема сигналов, номер и тип используемого вспомогательного устройства, например приставка ИТП-2

На 3-й и 4-й страницах дается оглавление, список принятых радиосигналов. Название радиостанций записывается русскими буквами с указанием всемирного или координированного времени (часы и минуты) для начала той минутной серии, к которой приводятся результаты.

12.5. ЖУРНАЛЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИЧНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Заполняют в зависимости от вида и метода определений в соответствии с 12.2 (ЛИР) или 12.3 (АЛИР).

На титульном листе указывают полное название основного долготного пункта и его официально утвержденную долготу.

Указывается также документ, из которого взяты эти сведения.

На 3-й странице приводятся чертеж взаимного распюложения теодолита и основного столба, а также элементы центрировки, если они определялись астрономом, и точная долгота столба, на котором установлен теодолит, полученная по данным центрировки или взятая из официального документа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Астрономический* ежегодник СССР на... год. Л., Наука.

2. *Бакулин П. И., Блинов Н. С.* Служба точного времени. М., Наука, 1968.

3. *Блажко С. Н.* Курс практической астрономии. 4-е изд. М., Наука, 1979

4. *Всемирное* время и координаты полюса. Бюллетень А. ГК ВЭЧ СССР. Еженедельный выпуск.

5. *Всемирное время.* Бюллетень Е. ГК ВЭЧ СССР. Ежеквартальный выпуск.

6. *Дик Ю.* Практическая астрономия с визуальными инструментами (пер. с немецкого). М., Недра, 1966.

7. *Дополнения* и изменения по астрономическим определениям к «Инструкции о построении государственной геодезической сети СССР». М., Недра, 1970.

8. *Инструкция* о построении государственной геодезической сети СССР. М., Недра, 1966.

9. *Исследования* по геодезической астрономии и астрономо-геодезическим приборам.— Труды ЦНИИГАиК, 1980, вып. 223.

10. *Каталог* 2957 ярких звезд со склонениями от —10 до +90°. Эпоха 1975. КГЗ-2.— Труды ЦНИИГАиК, 1968, вып. 179.

11. *Колупаев А. П., Мауерер В. Г., Старостин А. М.* Практическое руководство по геодезической астрономии.— Труды ЦНИИГАиК, 1962, вып. 148.

12. *Кузнецов А. Н.* Геодезическая астрономия. М., Недра, 1966.

13. *Нитхаммер Т.* Точные методы астрономических определений (пер. с немецкого). М., Геодезиздат, 1958.

14. *Новые* рабочие эфемериды способа Талькотта для широт от —90 до + 35°/В. С. Губанов, В. А. Коваленко, Д. Д. Положенцев и др.— Геодезия и картография, № 12, 1978.

15. *Подобед В. В., Нестеров* В. В. Общая астрометрия. М., Наука, 1975.

16. *Рабочие* эфемериды пар Цингера для зоны 60—70°.— Труды ЦНИИГАиК, 1951, вып. 90.

17. *Рабочие* эфемериды пар Цингера для зоны 50—60°.— Труды ЦНИИГАиК, 1961, вып. 134.

18. *Рабочие* эфемериды пар Цингера для зоны 40—50°.— Труды ЦНИИГАиК, 1961, вып. 136.

19. *Рабочие* эфемериды пар Цингера для зоны 30—40°.— Труды ЦНИИГАиК, 1961, вып. 138.

20. *Рабочие* эфемериды способа Талькотта для широт от +35 до +65°. Эпоха 1980.— Труды ЦНИИГАиК, 1964, вып. 158.

21. *Таблицы* для вычисления геодезических координат. Эллипсоид Красовского. М., Геодезиздат, 1958.

22. *Теологов А. В.* Рабочие эфемериды пар звезд для определения широты измерением малых разностей зенитных расстояний в меридиане (в пределах от 65 до 78° северной широты). М., Геодезиздат, 1951 г.

23. *Технические* указания по переводу астрономических определений к ОСУ. М., ОНТИ ЦНИИГАиК, 1974.

24. *Уралов С. С.* Курс геодезической астрономии. М., Недра, 1980.

25. *Эталонные* сигналы частоты и времени.— Бюллетень В. Характеристики и программы передач через радиостанции. ГК ВЭЧ СССР. Ежегодный выпуск.

26. *Apparent* plares of fundamental stars 19..,—Astronomisher rechen Institute 19... (Видимые места фундаментальных звезд).

27. *Circular D.* (Всемирное время и координаты полюса) — Bureau International de l'Heure, Paris. Ежемесячно.

28. *Rapport* annuel pour 19...— Bureau International de l'Heure (Годовой отчет Международного времени), Paris, 19...

ТАБЛИЦЫ ДЛЯ АСТРОНОМИЧЕСКИХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ (АТ)

Объяснение к таблицам

Табл. 1 содержит редукции $m\mu$, служащие для перевода интервалов, выраженных в единицах среднего солнечного времени m и звездного времени s по формуле

$$s = m + m\mu,$$

где $\mu = \frac{1}{365{,}24220} = 0{,}002737909$ — коэффициент для перехода от единиц среднего времени к единицам звездного времени.

Табл. 2 содержит редукции $s\nu$, служащие для перевода интервалов, выраженных в единицах звездного времени s, в единицы среднего солнечного времени m по формуле

$$m = s - s\nu,$$

где $\nu = \frac{1}{366{,}24220} = 0{,}002730434$ — коэффициент для перехода от единиц звездного времени к единицам среднего времени.

Табл. 3 содержит поправки $\tau_р$ (в миллисекундах) за время распространения радиоволн. Для радиостанций, передающий радиосигналы времени на высоких частотах (3000 — 30000 кГц), поправки вычислялись по формуле

$$\tau_р = 0{,}9 + 3{,}25\,\frac{L}{1000},$$

а для радиостанций, передающих сигналы на низких частотах (30—300 кГц), по формуле

$$\tau_р = \frac{L}{v},$$

где $L = 1{,}852\,Z$ — расстояние по дуге большого круга между радиостанцией, координаты которой φ_1 и λ_1, и пунктом приема ради сигналов, координаты которого φ_2, λ_2; Z — соответствующий центральный угол (в минутах дуги) определяемый по формуле

$$\cos Z = \sin\varphi_1 \sin\varphi_2 + \cos\varphi_1 \cos\varphi_2 \cos(\lambda_2 - \lambda_1),$$

$v = 299693$ км/с — скорость распространения радиоволн (условная).

Коэффициент 1,852 км в одной минуте дуги соответствует среднему радиусу Земли.

Поправку выбирают интерполированием на широту φ_2 и долготу λ_2 пункта приема радиосигналов времени, пользуясь таблицей, соответствующей радиостанции и диапазону волн (высокая частота ВЧ, низкая частота НЧ).

Табл. 4 содержит азимутальные скорости v_a звезд на момент s_m кульминаций, вычисленные по формуле

$$v_a = 15\,\frac{\cos\delta}{\sin Z_m},$$

где Z_m — зенитное расстояние звезды в момент кульминации.

Азимутальная скорость служит для определения удаления звезды от меридиана по азимуту вблизи кульминации на момент s по формуле

$$\Delta a = v_a \left| s - s_m \right|.$$

Выразив разность $s - s_m$ в минутах времени, получают Δa в минутах дуги. Величину скорости v_a выбирают из таблицы путем интерполирования по Z_m по модулю склонения δ звезды.

Табл. 5 содержит список ярких звезд (до $3{,}8^m$), пригодных для определения геодезического азимута по многократным наблюдениям вблизи меридиана.

В ней указаны номера звезд по Астрономическому ежегоднику СССР, их звездные величины, моменты кульминаций s_m, склонения (эпоха 1990,0), сторона неба (S — южная, N — северная) и отмечены знаком «+» широты (с шагом в 5°), в которых звезда пригодна для наблюдений. В отмеченных широтах зенитное расстояние звезды находится в пределах, предусмотренных методом определений, от 50 до 80°. Для широты φ склонение δ_S южной звезды (верхняя кульминация) должно удовлетворять условию

$$\varphi - 80^\circ \leqslant \delta_S \leqslant \varphi - 50^\circ,$$

склонение δ_N северной (нижняя кульминация) — условию

$$100^\circ - \varphi \leqslant \delta_N \leqslant 130^\circ - \varphi.$$

Исходя из этого для широтной зоны от 55 до 80° звезды были подобраны под условиями:

южные	северные
$-25^\circ \leqslant \delta_S \leqslant +30^\circ$	$+20^\circ \leqslant \delta_N \leqslant +75^\circ$

Пределы годности каждой звезды по широте определялись из выражений:

южной	северной
$\delta_S + 50^\circ \leqslant \varphi \leqslant \delta_S + 80^\circ$	$100^\circ - \delta_N \leqslant \varphi \leqslant 130^\circ - \delta_N$,

не выходя при этом за пределы широтной зоны, указанной выше. В столбцах φ вместо знака «—» дана в скобках предельная широта, для которой может использоваться звезда.

Табл. 6. В ней указаны в функции широты φ длины дуг в метрах меридиана величиной в 1″, обозначенных римской цифрой

$$\mathrm{I} = \frac{M}{\rho''},$$

и параллелей величиной 1″ и 1^s, обозначенных соответственно

$$\mathrm{II} = \frac{N\cos\varphi}{\rho''} \quad \text{и} \quad \mathrm{III} = \frac{15N\cos\varphi}{\rho''},$$

где M — радиус земного меридиана; N — радиус нормального сечения в плоскости первого вертикала (в размерах эллипсоида Красовского).

Табл. 7 служит для вычисления истинной рефракции ρ по формуле

$$\rho = 0{,}000987\rho_0\gamma b,$$

где ρ_0 — средняя рефракция для нормальной температуры ($t_{ср} = +10^\circ$) и нормального атмосферного давления ($b_0 = 1013{,}2$ гПа). Она вычислена по данным таблиц рефракции Пулковской обсерватории по формуле

$$\rho_0 = k\,\mathrm{tg}Z_1,$$

где Z_1 — видимое зенитное расстояние, а коэффициент k найден по его логарифму μ.

ρ_0 выбирается из раздела I таблиц по Z_1.

Температурный коэффициент γ помещен в разделе 2. Он вычислен по формуле

$$\gamma = \frac{1{,}0367}{1+0{,}00367t},$$

где t — температура во время наблюдений в градусах Цельсия.

Величина b является атмосферным давлением при наблюдениях и должна быть выражена в гектопаскалях (гПа).

Если давление выражено в миллиметрах ртутного столба, то используется формула

$$\rho = 0{,}001316\,\rho_0\gamma b_{\text{мм рт. ст.}}$$

Табл. 8 содержит значения функции $\sin 2a$ по аргументу a — азимут звезды. Знак функции положительный для значений a, расположенных в таблице слева, знак отрицательный для a — справа.

Таблица 1

Перевод среднего времени в звездное

Часы		Минуты				Секунды			
Среднее время	Редукция	Среднее время	Редукция	Среднее время	Редукция	Среднее время	Редукция	Среднее время	Редукция
1^h	$0^m9{,}8565^s$	1^m	$0{,}1643^s$	31^m	$5{,}0925^s$	1^s	$0{,}0027^s$	31^s	$0{,}0849^s$
2	0 19,7129	2	0,3285	32	5,2568	2	0,0055	32	0,0876
3	0 29,5694	3	0,4928	33	5,4211	3	0,0082	33	0,0904
4	0 39,4259	4	0,6571	34	5,5853	4	0,0110	34	0,0931
5	0 49,2824	5	0,8214	35	5,7496	5	0,0137	35	0,0958
6	0 59,1388	6	0,9856	36	5,9139	6	0,0164	36	0,0986
7	1 8,9953	7	1,1499	37	6,0782	7	0,0192	37	0,1013
8	1 18,8518	8	1,3142	38	6,2424	8	0,0219	38	0,1040
9	1 28,7083	9	1,4785	39	6,4067	9	0,0246	39	0,1068
10	1 38,5647	10	1,6427	40	6,5710	10	0,0274	40	0,1095
11	1 48,4212	11	1,8070	41	6,7353	11	0,0301	41	0,1123
12	1 58,2777	12	1,9713	42	6,8995	12	0,0329	42	0,1150
13	2 8,1341	13	2,1356	43	7,0638	13	0,0356	43	0,1177
14	2 17,9906	14	2,2998	44	7,2281	14	0,0383	44	0,1205
15	2 27,8471	15	2,4641	45	7,3924	15	0,0411	45	0,1232
16	2 37,7036	16	2,6284	46	7,5566	16	0,0438	46	0,1259
17	2 47,5600	17	2,7927	47	7,7209	17	0,0465	47	0,1287
18	2 57,4165	18	2,9569	48	7,8852	18	0,0493	48	0,1314
19	3 7,2730	19	3,1212	49	8,0495	19	0,0520	49	0,1342
20	3 17,1295	20	3,2855	50	8,2137	20	0,0548	50	0,1369
21	3 26,9859	21	3,4498	51	8,3780	21	0,0575	51	0,1396
22	3 36,8424	22	3,6140	52	8,5423	22	0,0602	52	0,1424
23	3 46,6989	23	3,7783	53	8,7066	23	0,0630	53	0,1451
24	3 56,5553	24	3,9426	54	8,8708	24	0,0657	54	0,1478
		25	4,1069	55	9,0351	25	0,0684	55	0,1506
		26	4,2711	56	9,1994	26	0,0712	56	0,1533
		27	4,4354	57	9,3636	27	0,0739	57	0,1561
		28	4,5997	58	9,5279	28	0,0767	58	0,1588
		29	4,7640	59	9,6922	29	0,0794	59	0,1615
		30	4,9282	60	9,8565	30	0,0821	60	0,1643

Продолжение табл. 1

Десятые доли секунды

Среднее время	Редукция	Среднее время	Редукция
$0{,}10^s$	$0{,}0003^s$	$0{,}60^s$	$0{,}0016^s$
0,20	0,0005	0,70	0,0019
0,30	0,0008	0,80	0,0022
0,40	0,0011	0,90	0,0025
0,50	0,0014	1,00	0,0027

Таблица 2

Перевод звездного времени в среднее

Часы		Минуты				Секунды			
Звездное время	Редукция	Звездное время	Редукция	Звездное время	Редукция	Звездное время	Редукция	Звездное время	Редукция
1^h	$0^m9{,}8296^s$	1^m	$0{,}1638^s$	31^m	$5{,}0786^s$	1^s	$0{,}0027^s$	31^s	$0{,}0846^s$
2	0 19,6591	2	0,3277	32	5,2424	2	0,0055	32	0,0874
3	0 29,4887	3	0,4915	33	5,4063	3	0,0082	33	0,0901
4	0 39,3182	4	0,6553	34	5,5701	4	0,0109	34	0,0928
5	0 49,1478	5	0,8191	35	5,7339	5	0,0137	35	0,0956
6	0 58,9774	6	0,9830	36	5,8977	6	0,0164	36	0,0983
7	1 8,8069	7	1,1468	37	6,0616	7	0,0191	37	0,1010
8	1 18,6365	8	1,3106	38	6,2254	8	0,0218	38	0,1038
9	1 28,4660	9	1,4744	39	6,3892	9	0,0246	39	0,1065
10	1 38,2956	10	1,6383	40	6,5530	10	0,0273	40	0,1092
11	1 48,1252	11	1,8021	41	6,7169	11	0,0300	41	0,1119
12	1 57,9547	12	1,9659	42	6,8807	12	0,0328	42	0,1147
13	2 7,7843	13	2,1297	43	7,0445	13	0,0355	43	0,1174
14	2 17,6139	14	2,2936	44	7,2083	14	0,0382	44	0,1201
15	2 27,4434	15	2,4574	45	7,3722	15	0,0410	45	0,1229
16	2 37,2730	16	2,6212	46	7,5360	16	0,0437	46	0,1256
17	2 47,1025	17	2,7850	47	7,6998	17	0,0464	47	0,1283
18	2 56,9321	18	2,9489	48	7,8636	18	0,0491	48	0,1311
19	3 6,7617	19	3,1127	49	8,0275	19	0,0519	49	0,1338
20	3 16,5912	20	3,2765	50	8,1913	20	0,0546	50	0,1365
21	3 26,4208	21	3,4403	51	8,3551	21	0,0573	51	0,1393
22	3 36,2503	22	3,6042	52	8,5190	22	0,0601	52	0,1420
23	3 46,0799	23	3,7680	53	8,6828	23	0,0628	53	0,1447
24	3 55,9095	24	3,9318	54	8,8466	24	0,0655	54	0,1474
		25	3,0957	55	9,0104	25	0,0683	55	0,1502
		26	4,2595	56	9,1743	26	0,0710	56	0,1529
		27	4,4233	57	9,3381	27	0,0737	57	0,1556
		28	4,5871	58	9,5019	28	0,0765	58	0,1584
		29	4,7510	59	9,6657	29	0,0792	59	0,1611
		30	4,9148	60	9,8296	30	0,0819	60	0,1638

Продолжение табл. 2

Десятые доли секунды

Звездное время	Редукция	Звездное время	Редукция
$0{,}10^s$	$0{,}0003^s$	$0{,}60^s$	$0{,}0016^s$
0,20	0,0005	0,70	0,0019
0,30	0,0008	0,80	0,0022
0,40	0,0011	0,90	0,0025
0,50	0,0014	1,00	0,0027

Таблица 3

Поправки за время распространения радиоволн

в 0,001 с

Иркутск (РИД) $\varphi_1 = 52°26'$ $\lambda_1 = 6^h56^m$

Радиосигналы ВЧ диапазона

φ_2	λ_2, h												
	1	2	3	4	5	6	6^h56^m	7	8	9	10	11	12
30°0′	25	22	18	15	12	10	9	9	10	12	15	19	22
40 0	22	19	16	13	9	7	5	5	7	10	13	16	20
50 0	20	17	14	11	7	4	2	2	5	8	11	14	17
52 26	19	16	14	10	7	4	1	1	4	8	11	14	17
60 0	18	15	13	10	7	5	4	4	5	8	10	13	16
70 0	16	14	12	10	9	8	7	7	8	9	11	13	14
80 0	15	14	13	12	11	11	11	11	11	12	12	13	14
90 0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Радиосигналы НЧ диапазона (РТЗ)

φ_2	λ_2, h												
	1	2	3	4	5	6	6^h56^m	7	8	9	10	11	12
30°0′	25	21	18	14	11	9	8	8	9	12	15	18	22
40 0	22	19	15	12	9	6	5	5	6	9	12	16	19
50 0	19	16	13	10	7	3	1	1	4	7	11	14	17
52 26	19	16	13	10	7	3	0	0	4	7	10	13	16
60 01	17	15	12	9	7	4	3	3	4	7	10	12	15
70 0	15	14	12	10	8	7	7	7	7	8	10	12	14
80 0	14	13	12	12	11	10	10	10	10	11	12	13	13
90 0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Москва (РБУ, РВМ)

$\varphi_1 = 55°48'$ $\lambda_1 = 2^h33^m$

Радиосигналы ВЧ диапазона

φ_2	λ_2, h												
	1	2	2^h33^m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30°0′	12	10	10	10	12	14	17	20	23	26	28	31	33
40 0	9	7	7	7	9	11	14	17	20	23	26	28	29
50 0	6	4	3	3	6	9	12	15	18	20	23	24	26
55 48	6	3	1	2	5	8	11	14	16	19	21	23	24
60 0	6	3	2	3	5	8	11	13	16	18	20	21	23
70 0	7	6	6	6	7	9	10	12	14	16	17	18	19
80 0	10	10	10	10	10	11	11	12	13	14	15	16	16
90 0	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

Радиосигналы НЧ диапазона

φ_2	λ_2, h												
	1	2	2^h33^m	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30°0′	11	10	10	10	11	14	16	20	23	26	28	31	33
40 0	8	6	6	6	8	11	14	17	20	23	25	28	29
50 0	6	3	2	3	5	8	12	14	17	20	22	24	26
55 48	5	2	0	1	4	8	10	13	16	18	21	22	24
60 0	5	2	2	2	4	7	10	13	15	17	19	21	22
70 0	6	5	5	5	6	8	10	12	14	15	17	18	19
80 0	9	9	9	9	9	10	11	12	13	14	14	15	16
90 0	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13

Новосибирск (РТА) $\varphi_1 = 55°04'$ $\lambda_1 = 5^h32^m$

Радиосигналы ВЧ диапазона

φ_2	λ_2, h												
	1	2	3	4	5	5^h32^m	6	7	8	9	10	11	12
30°0′	20	17	14	12	10	10	10	12	14	17	20	23	26
40 0	18	15	11	9	7	6	7	8	11	14	17	20	23
50 0	15	12	9	6	3	3	3	6	9	12	15	18	21
55 4	14	12	9	6	3	1	2	5	8	11	14	17	19
60 0	14	11	8	6	3	3	3	5	8	11	13	16	18
70 0	13	11	9	7	6	6	6	7	9	11	12	14	16
80 0	13	12	11	10	10	10	10	10	11	12	13	13	14
90 0	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14

Ташкент (РЦХ) $\varphi_1 = 41°19'$ $\lambda_1 = 4^h37^m$

Радиосигналы ВЧ диапазона

φ_2	λ_2, h												
	1	2	3	4	4^h37^m	5	6	7	8	9	10	11	12
30°0′	17	13	9	6	5	5	8	12	16	20	24	28	31
40 0	16	12	8	3	1	3	7	11	15	18	22	26	29
41 19	15	11	7	3	1	2	7	11	14	18	22	25	28
50 0	15	11	8	5	4	4	7	10	14	17	21	24	26
60 0	15	12	10	8	8	8	9	11	14	17	19	22	24
70 0	15	14	12	11	11	11	12	13	15	17	18	20	22
80 0	17	16	15	15	15	15	15	16	16	17	18	19	20
90 0	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18

Таблица 4

Изменения азимутов звезд в меридиане v_a (в минутах дуги за 1^m)

δ	z_m°														
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
0°	86,4	58,0	43,9	35,5	30,0	26,2	23,3	21,2	19,6	18,3	17,3	16,8	16,0	15,5	15,2
1	86,3	57,9	43,9	35,5	30,0	26,1	23,3	21,2	19,6	18,3	17,3	16,5	16,0	15,5	15,2
2	86,3	57,9	43,8	35,5	30,0	26,1	23,3	21,2	19,6	18,3	17,3	16,5	16,0	15,5	15,2
3	86,3	57,9	43,8	35,4	30,0	26,1	23,3	21,2	19,6	18,3	17,3	16,5	15,9	15,5	15,2
4	86,2	57,8	43,8	35,4	29,9	26,1	23,3	21,2	19,5	18,3	17,3	16,5	15,9	15,5	15,2
5	86,1	57,7	43,7	35,4	29,9	26,1	23,2	21,1	19,5	18,2	17,3	16,5	15,9	15,5	15,2
6	85,9	57,6	43,6	35,3	29,8	26,0	23,2	21,1	19,5	18,2	17,2	16,5	15,9	15,4	15,1
7	85,7	57,5	43,5	35,2	29,8	26,0	23,2	21,1	19,4	18,1	17,2	16,4	15,8	15,4	15,1
8	85,5	57,4	43,4	35,1	29,7	25,9	23,1	21,0	19,4	18,1	17,2	16,4	15,8	15,4	15,1
9	85,3	57,2	43,3	35,1	29,6	25,8	23,0	21,0	19,3	18,1	17,1	16,3	15,8	15,3	15,0
10	85,1	57,1	43,2	35,0	29,5	25,8	23,0	20,9	19,3	18,0	17,1	16,3	15,7	15,3	15,0
11	84,8	56,9	43,1	34,8	29,4	25,7	22,9	20,8	19,2	18,0	17,0	16,2	15,7	15,2	15,0
12	84,5	56,7	42,9	34,7	29,3	25,6	22,8	20,7	19,2	17,9	16,9	16,2	15,6	15,2	14,9
13	84,2	56,5	42,7	34,6	29,2	25,5	22,7	20,7	19,1	17,8	16,9	16,1	15,6	15,1	14,8
14	83,8	56,2	42,6	34,4	29,1	25,4	22,6	20,6	19,0	17,8	16,8	16,1	15,5	15,1	14,8
15	83,4	56,0	42,4	34,3	29,0	25,3	22,5	20,5	18,9	17,7	16,7	16,0	15,4	15,0	14,7
16	83,0	55,7	42,2	34,1	28,8	25,1	22,4	20,4	18,8	17,6	16,6	15,9	15,3	14,9	14,6
17	82,6	55,4	41,9	33,9	28,7	25,0	22,3	20,3	18,7	17,5	16,6	15,8	15,3	14,9	14,6
18	82,2	55,1	41,7	33,8	28,5	24,9	22,2	20,2	18,6	17,4	16,5	15,7	15,2	14,8	14,5
19	81,7	54,8	41,5	33,6	28,4	24,7	22,1	20,1	18,5	17,3	16,4	15,6	15,1	14,7	14,4
20	81,2	54,5	41,2	33,4	28,2	24,6	21,9	19,9	18,4	17,2	16,3	15,6	15,0	14,6	14,3
21	80,6	54,1	40,9	33,1	28,0	24,4	21,8	19,8	18,3	17,1	16,2	15,5	14,9	14,5	14,2
22	80,1	53,7	40,7	32,9	27,8	24,2	21,6	19,7	18,2	17,0	16,1	15,3	14,8	14,4	14,1
23	79,5	53,3	40,4	32,7	27,6	24,1	21,5	19,5	18,0	16,9	15,9	15,2	14,7	14,3	14,0
24	78,9	52,9	40,1	32,4	27,4	24,0	21,3	19,4	17,9	16,7	15,8	15,1	14,6	14,2	13,9
25	78,3	52,5	39,7	32,2	27,2	23,7	21,1	19,2	17,7	16,6	15,7	15,0	14,5	14,1	13,8
26	77,6	52,1	39,4	31,9	27,0	23,5	21,0	19,1	17,6	16,5	15,6	14,9	14,3	14,0	13,7
27	77,0	51,6	39,1	31,6	26,7	23,3	20,8	18,9	17,4	16,3	15,4	14,7	14,2	13,8	13,6
28	76,3	51,2	38,7	31,3	26,5	23,1	20,6	18,7	17,3	16,2	15,3	14,6	14,1	13,7	13,4

Продолжение Табл. 4

δ	Z°_m														
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
29	75,6	50,7	38,4	31,0	26,2	22,9	20,4	18,6	17,1	16,0	15,1	14,5	14,0	13,6	13,3
30	74,8	50,2	38,0	30,7	26,0	22,6	20,2	18,4	17,0	15,9	15,0	14,3	13,8	13,4	13,2
31	74,0	49,7	37,6	30,4	25,7	22,4	20,0	18,2	16,8	15,7	14,8	14,2	13,7	13,3	13,1
32	73,2	49,1	37,2	30,1	25,4	22,2	19,8	18,0	16,6	15,5	14,7	14,0	13,5	13,2	12,9
33	72,4	48,6	36,8	29,8	25,2	21,9	19,6	17,8	16,4	15,4	14,5	13,9	13,4	13,0	12,8
34	71,6	48,0	36,4	29,4	24,9	21,7	19,3	17,6	16,2	15,2	14,4	13,7	13,2	12,9	12,6
35	70,8	47,5	35,9	29,1	25,6	21,4	19,1	17,4	16,0	15,0	14,2	13,6	13,1	12,7	12,5
36	70,0	46,9	35,5	28,7	24,3	21,2	18,9	17,2	15,8	14,8	14 0	13,4	12,9	12.6	12,3
37	69,0	46,3	35,0	28,3	24,0	20,9	18,6	16,9	15,6	14,6	13,8	13,2	12,7	12,4	12,2
38	68,1	45,7	34,6	28,0	23,4	20,6	18,4	16,7	15,4	14,4	13,6	13,0	12,6	12,2	12,0
39	67,1	45,0	34,1	27,6	23,3	20,3	18,1	16,5	15,2	14,2	13,5	12,9	12,4	12,1	11,8
40	66,2	44,4	33,6	27,2	23,0	20,0	17,9	16,3	15,0	14,0	13,3	12,7	12,2	11,9	11,7
41	65,2	43,7	33,1	26,8	22,6	19,7	17,6	16,0	14,8	13,8	13,1	12,5	12,0	11,7	11,5
42	64,2	43,1	32,6	26,4	22,3	19,4	17,3	15,8	14,6	13,6	12,9	12,3	11,9	11,5	11,3
43	63,2	42,4	32,1	26,0	21,9	19,1	17,1	15,5	14,3	13,4	12,7	12,1	11,7	11,4	11,1
44	62,1	41,7	31,5	25,5	21,6	18,8	16,8	15,3	14,1	13,2	12,5	11,9	11,5	11,2	11,0
45	61,1	41,0	31,0	25,1	21,2	18,5	16,5	15,0	13,8	12,9	12,2	11,7	11,3	11,0	10,8
46	60,0	40,3	30,5	24,7	20,8	18,2	16,2	14,7	13,6	12,7	12,0	11,5	11,1	10,8	10,6
47	58,9	39,5	29,9	24,2	20,5	17,8	15,9	14,5	13,4	12,5	11,8	11,3	10,9	10,6	10,4
48	57,8	38,8	29,3	23,7	20,1	17,5	15,6	14,2	13,1	12,3	11,6	11,1	10,7	10,4	10,2
49	56,7	38,0	28,8	23,3	19,7	17,2	15,3	13,9	12,8	12,0	11,4	10,9	10,5	10,2	10,0
50	55,5	37,3	28,2	22,8	19,3	16,8	15,0	13,6	12,6	11,8	11,1	10,6	10,3	10,0	9,8
51	54,4	36,5	27,6	22,3	18,9	16,5	14,7	13,3	12,3	11,5	10,9	10,4	10,0	9,7	9,6
52	53,2	35,7	27,0	21,9	18,5	16,1	14,4	13,1	12,1	11,3	10,7	10,2	9,8	9,6	9,4
53	52,0	34,9	26,4	21,4	18,1	15,7	14,0	12,8	11,8	11,0	10,4	10,0	9,6	9,3	9,2
54	50,8	34,1	25,8	20,9	17,6	15,4	13,7	12,5	11,5	10,8	10,2	9,7	9,4	9,1	9,0
55	49,5	33,2	25,2	20,4	17,2	15,0	13,4	12,2	11,2	10,5	9,9	9,5	9,2	8,9	8,7
56	48,3	32,4	24,5	19,8	16,8	14,6	13,0	11,9	10,9	10,2	9,7	9,3	8,9	8,7	8,5
57	47,0	31,6	23,9	19,3	16,3	14,2	12,7	11,6	10,7	10,0	9,4	9,0	8,7	8,5	8,3
58	45,8	30,7	23,2	18,8	16,0	13,9	12,4	11,2	10,4	9,7	9,2	8,8	8,5	8,2	8,1

59	44,5	29,8	22,6	18,3	15,5	13,5	12,0	10,9	10,1	9,4	8,9	8,5	8,2	8,0	7,8
60	43,2	29,0	21,9	17,7	15,0	13,1	11,7	10,6	9,8	9,2	8,7	8,3	8,0	7,8	7,6
61	41,9	28,1	21,3	17,2	14,5	12,7	11,3	10,3	9,5	8,9	8,4	8,0	7,7	7,5	7,4
62	40,6	27,2	20,6	16,7	14,1	12,3	11,0	10,0	9,2	8,6	8.1	7,8	7,5	7,3	7,2
63	39,2	26,3	19,9	16,1	13,6	11,9	10,6	9,6	8,9	8,3	7,9	7,6	7,2	7,0	6,9
64	37,9	25,4	19,2	15,6	13,2	11,5	10,2	9,3	8,6	8,0	7,6	7,3	7,0	6,8	6,6
65	36,5	24,5	18,5	15,0	12,7	11,1	9,9	9,0	8,3	7,7	7,3	7,0	6,7	6,6	6,4
66	35,1	23,6	17,8	14,4	12,2	10,6	9,5	8,6	8,0	7,4	7,0	6,7	6,5	6,3	6,2
67	33,8	22,6	17,1	13,9	11,7	10,2	9,1	8,3	7,7	7,2	6,8	6,5	6,2	6,1	6,0
68	32,4	21,7	16,4	13,3	11,2	9,8	8,7	7,9	7,3	6,9	6,5	6,2	6,0	5,8	5,7
69	31,0	20,8	15,7	12,7	10,8	9,4	8,3	7,6	7,0	6,6	6,2	5,9	5,7	5,6	5,5
70	29,5	19,8	15,0	12,1	10,3	8,9	8,0	7,3	6,7	6,3	5,9	5,7	5,5	5,3	5,2
71	28,1	18,9	14,3	11,6	9,8	8,5	7,6	6,9	6,4	6,0	5,6	5,4	5,2	5,1	5,0
72	26,7	17,9	13,6	11,0	9,3	8,1	7,2	6,6	6,0	5,7	5,4	5,1	4,9	4,8	4,7
73	25,3	16,9	12,8	10,4	8,8	7,6	6,8	6,2	5,7	5,4	5,1	4,8	4,7	4,5	4,5
74	23,8	16,0	12,1	9,8	8,3	7,2	6,4	5,8	5,4	5,0	4,8	4,6	4,4	4,3	4,2
75	22,4	15,0	11,4	9,2	7,7	6,8	6,0	5,5	5,1	4,7	4,5	4,3	4,1	4,0	3,9
76	20,9	14,0	10,6	8,6	7,3	6,3	5,6	5,1	4,7	4,4	4,2	4,0	3,9	3,8	3,7
77	19,4	13,0	9,9	8,0	6,7	5,9	5,2	4,8	4,4	4,1	3,9	3,7	3,6	3,5	3,4
78	18,0	12,0	9,1	7,4	6,2	5,4	4,9	4,4	4,1	3,8	3,6	3,4	3,3	3,2	3,2
79	16,5	11,1	8,4	6,8	5,7	5,0	4,5	4,0	3,7	3,5	3,3	3,2	3,0	3,0	2,9
80	15,0	10,1	7,6	6,2	5,2	4,5	4,1	3,7	3,4	3,2	3,0	2,9	2,8	2,7	2,6
81	13,5	9,1	6,9	5,6	4,7	4,1	3,7	3,3	3,1	2,9	2,7	2,6	2,5	2,4	2,4
82	12,0	8,1	6,1	4,9	4,2	3,6	3,2	3,0	2,7	2,5	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1
83	10,6	7,1	5,3	4,3	3,7	3,2	2,8	2,6	2,4	2,2	2,1	2,0	1,9	1,9	1,9
84	9,0	6,1	4,6	3,7	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0	1,9	1,8	1,7	1,7	1,6	1,6
85	7,5	5,1	3,8	3,1	2,6	2,3	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3
86	6,0	4,0	3,1	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1
87	4,5	3,0	2,3	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8
88	3,0	2,0	1,5	1,2	1,0	0,9	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5
89	1,5	1,0	0,8	0,6	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Примечание. Для отрицательных склонений значения функций не меняются.

Таблица 5

Список ярких звезд для определения геодезического азимута по многократным наблюдениям звезд вблизи меридиана

Эпоха 1990,0

Номер звезды по АЕ	m	s_m	δ	S, N	$\varphi°$					
					55	60	65	70	75	80
2	2,2	$0^h07,9^m$	+29°02′	S	—	—	—	—	(79)	+
4	2,9	12,7	+15 08	S	—	(65)	+	+	+	+
15	2,2	43,1	−18 02	S	+	+	(62)	—	—	—
316	1,7	53,6	+56 01	N	+	+	+	+	(74)	—
318	2,9	55,6	+38 22	N	—	(62)	+	+	+	+
325	2,4	1 23,5	+54 59	N	+	+	+	+	+	(75)
41	3,6	43,6	−15 59	S	+	+	(64)	—	—	—
333	1,9	47,1	+49 22	N	+	+	+	+	+	+
48	2,7	54,1	+20 46	S	—	—	—	(71)	+	+
54	2,2	2 06,6	+23 25	S	—	—	—	(73)	+	+
345	0,2	15,2	+19 14	N	—	—	—	—	—	(80)
360	2,2	50,7	+74 12	N	+	(56)	—	—	—	—
74	2,8	3 01,8	+4 03	S	+	+	+	+	+	+
373	2,3	34,3	+26 45	N	—	—	—	(73)	+	+
103	3,2	57,6	−13 32	S	+	+	+	(66)	—	—
399	2,9	4 23,3	+61 32	N	+	+	+	(68)	—	—
400	2,8	29,8	+21 31	N	—	—	—	—	(78)	+
119	1,1	35,3	+16 29	S	—	—	(66)	+	+	+
142	0,3	5 14,1	−8 13	S	+	+	+	+	(72)	—
148	1,7	24,6	+6 20	S	(56)	+	+	+	+	+
149	1,8	25,7	+28 36	S	—	—	—	—	(79)	+
157	1,8	35,7	−1 12	S	+	+	+	+	+	(79)
162	2,2	47,3	−9 40	S	+	+	+	+	(70)	—
167	0,6	54,6	+7 24	N	(57)	+	+	+	+	+
434	2,4	5 56,4	+51 29	N	+	+	+	+	+	(79)
182	2,0	6 22,3	−17 57	S	+	+	(62)	—	—	—
186	1,9	37,1	+16 25	S	—	—	(66)	+	+	+
453	0,1	36,6	+38 46	N	—	(61)	+	+	+	+
190	1,6	44,7	−16 42	S	+	+	(63)	—	—	—
461	3,3	58,6	+32 41	N	—	—	(67)	+	+	+
200	2,0	7 08,0	−26 23	S	(55)	—	—	—	—	—
467	3,2	12,6	+67 39	N	+	+	(62)	—	—	—
213	0,5	38,8	+5 15	S	+	+	+	+	+	+
216	1,2	44,7	+28 03	S	—	—	—	—	(78)	+
479	3,0	44,7	+45 07	N	+	+	+	+	+	+
221	2,9	8 01,1	−24 16	S	+	(56)	—	—	—	—
222	3,8	16,0	+9 13	S	+	+	+	+	+	+
497	2,3	21,9	+40 13	N	(60)	+	+	+	+	+
506	1,3	41,1	+45 15	N	+	+	+	+	+	+
508	2,6	45,8	+33 56	N	—	—	(66)	+	+	+
231	3,5	46,2	+6 27	S	(56)	+	+	+	+	+
522	2,6	9 18,3	+62 33	N	+	+	+	(67)	—	—
245	2,2	27,1	−8 37	S	+	+	+	+	(71)	—
261	1,3	10 07,8	+12 02	S	—	(62)	+	+	+	—
544	3,6	10,5	+58 09	N	+	+	+	+	(72)	—
264	2,6	19,4	+19 54	S	—	—	(70)	+	+	+
558	3,1	42,5	+30 10	N	—	—	(70)	+	+	+

Номер звезды по АЕ	m	s_m	δ	S, N	$\varphi°$ 55	60	65	70	75	80
274	3,3	49,1	−16°08′	S	+	+	(64)	—	—	—
561	3,7	49,3	+66 09	N	+	+	(64)	—	—	—
281	2,6	11 13,6	+20 35	S	—	—	—	(71)	+	+
293	2,2	48,5	+14 38	S	—	(65)	+	+	+	+
2	2,2	12 07,9	+29 02	N	—	—	—	(71)	+	+
3	2,4	08,6	+59 06	N	+	+	+	+	(71)	—
302	2,8	15,3	−17 29	S	+	+	(63)	—	—	—
14	2,5	12 39,9	+56 29	N	+	+	+	+	(74)	—
21	2,3	56,1	+60 40	N	+	+	+	(69)	—	—
319	3,0	13 01,7	+11 01	S	—	(61)	+	+	+	+
27	2,4	09,2	+35 34	N	—	(64)	+	+	+	+
326	1,2	24,7	−11 07	S	+	+	+	(69)	—	—
35	2,8	25,2	+60 11	N	+	+	+	+	(70)	—
53	2,3	14 03,3	+42 17	N	(58)	+	+	+	+	+
54	2,2	06,6	+23 25	N	—	—	—	—	(77)	+
345	0,2	15,2	+19 14	S	—	—	(69)	+	+	+
655	2,9	50,3	−16 00	S	+	+	(64)	—	—	—
77	2,8	15 07,5	+40 55	N	(59)	+	+	+	+	+
83	1,9	23,6	+49 50	N	+	+	+	+	+	+
373	2,3	34,3	+26 45	S	—	—	—	—	(77)	+
377	2,8	43,8	+6 26	S	(56)	+	+	+	+	+
97	3,0	46,9	+24 04	N	—	—	—	—	(76)	+
100	2,9	53,5	+31 51	N	—	—	(68)	+	+	+
101	3,0	57,2	+39 59	N	—	(60)	+	+	+	+
664	2,5	59,7	−22 36	S	+	(57)	—	—	—	—
392	3,0	16 13,8	−3 40	S	+	+	+	+	+	(76)
132	2,9	56,3	+33 09	N	—	—	(67)	+	+	+
138	3,3	17 05,8	+41°13′	N	(59)	+	+	+	+	+
413	2,6	09,8	−15 43	S	+	+	(64)	—	—	—
143	0,2	15,9	+45 59	N	+	+	+	+	+	+
149	1,8	25,7	+28 36	N	—	—	—	(71)	+	+
424	2,1	34,5	+12 34	S	—	(63)	+	+	+	+
170	2,1	58,8	+44 57	N	+	+	+	+	+	+
446	3,4	18 20,8	−2 54	S	+	+	+	+	+	(77)
682	2,1	54,6	−26 19	S	(55)	—	—	—	—	—
471	3,4	19 25,0	+3 06	S	+	+	+	+	+	+
211	2,4	34,0	+31 55	N	—	—	(68)	+	+	+
216	1,2	44,7	+28 03	N	—	—	—	(72)	+	+
482	0,9	50,3	+8 50	S	(59)	+	+	+	+	+
225	3,5	20 29,4	+60 45	N	+	+	+	(69)	—	—
223	3,1	58,5	+48 05	N	+	+	+	+	+	+
532	2,5	21 43,7	+9 50	S	(60)	+	+	+	+	+
694	3,0	46,5	−16 11	S	+	+	(64)	—	—	—
264	2,6	22 19,4	+19 54	N	—	—	—	—	(80)	+
277	2,4	23 1,2	+56 26	N	+	+	+	+	(74)	—
278	2,0	3,1	+61 48	N	+	+		(68)	—	—
566	2,6	4,3	+15 09	S	—	(65)	+	+	+	+
281	2,6	13,8	+20 35	N	—	—	—	—	(79)	+
295	2,5	23 53,3	+53 45	N	+	+	+	+	+	(76)

Таблица 6

Длины дуг меридианов и параллелей

I — длина дуги меридиана в 1″ (в метрах)
II — длина дуги параллели в 1″ (в метрах)
III — длина дуги параллели в 1^s (в метрах)

φ	I	II	III	φ	I	II	III
0°	30,72	30,92	463,84	45°	30,87	21,90	328,53
1	72	92	77	46	88	52	322,77
2	72	90	56	47	88	13	316,90
3	72	88	463,21	48	89	20,73	310,94
4	72	85	462,72	49	89	33	304,89
5	72	81	462,09	50	90	19,92	298,74
6	72	75	461,31	51	90	19,50	292,49
7	72	69	460,40	52	91	19,08	286,16
8	72	62	459,35	53	91	18,65	279,74
9	30,72	30,54	458,17	54	30,92	18,22	273,24
10	30,72	30,46	456,84	55	30,92	17,78	266,65
11	73	36	455,37	56	93	17,33	259,97
12	73	25	453,77	57	93	16,88	253,22
13	73	14	452,03	58	94	16,43	246,39
14	73	30,01	450,15	59	94	15,97	239,48
15	74	29,88	448,13	60	95	15,50	232,50
16	74	73	445,98	61	95	15,03	225,45
17	74	58	443,70	62	96	14,56	218,33
18	75	42	441,28	63	96	14,08	211,14
19	30,75	29,25	438,72	64	30,97	13,59	203,89
20	30,75	29,07	436,04	65	30,97	13,10	196,57
21	30,76	28,88	433,22	66	30,97	12,61	189,19
22	76	68	430,27	67	98	12,12	181,75
23	76	48	427,18	68	98	11,62	174,26
24	77	26	423,97	69	99	11,11	166,71
25	77	28,04	420,63	70	99	10,61	159,11
26	77	27,81	417,16	71	30,99	10,10	151,46
27	78	57	413,57	72	31,00	9,58	143,77
28	78	32	409,85	73	00	9,07	136,03
29	30,79	27,07	406,00	74	31,00	8,55	128,25
30	30,79	26,80	402,03	75	31,01	8,03	120,43
31	80	53	397,94	76	01	7,50	112,57
32	80	26,25	393,73	77	01	6,98	104,67
33	81	25,96	389,39	78	01	6,45	96,75
34	81	66	384,94	79	02	5,92	88,79
35	82	36	380,37	80	02	5,39	80,81
36	82	25,05	375,69	81	02	4,85	72,80
37	83	24,73	370,89	82	02	4,32	64,77
38	83	40	365,97	83	02	3,78	56,72
39	30,84	24,06	360,95	84	31,02	3,24	48,65
40	30,84	23,72	355,81	85	31,02	2,70	40,56
41	85	37	350,57	86	03	2,16	32,46
42	85	23,01	345,22	87	03	1,62	24,36
43	86	22,65	339,76	88	03	1,08	16,24
44	30,87	22,28	334,20	89	31,03	0,54	8,12
				90	31,03	0,00	0,00

Астрономическая рефракция

1 Средняя рефракция r_0

z	0′	10′	20′	30′	40′	50′
0°	0,00″	0,17″	0,34″	0,51″	0,67″	0,84″
1	1,02	1,19	1,35	1,52	1,69	1,86
2	2,03	2,20	2,36	2,54	2,71	2,88
3	3,04	3,21	3,38	3,56	3,72	3,89
4	4,06	4,23	4,40	4,57	4,74	4,91
5	5,08	5,25	5,43	5,59	5,76	5,94
6	6,11	6,27	6,45	6,62	6,76	6,96
7	7,13	7,30	7,48	7,65	7,82	7,99
8	8,16	8,34	8,51	8,68	8,85	9,03
9	9,20	9,38	9,55	9,72	9,89	10,07
10	10,24	10,42	10,59	10,77	10,94	11,12
11	11,29	11,47	11,64	11,82	12,00	12,17
12	12,35	12,52	12,70	12,88	13,06	13,23
13	13,41	13,59	13,77	13,95	14,13	14,31
14	14,48	14,66	14,84	15,02	15,20	15,38
15	15,56	15,74	15,93	16,11	16,29	16,47
16	16,16	16,84	17,02	17,21	17,39	17,57
17	17,75	17,94	18,13	18,31	18,50	18,69
18	18,88	19,06	19,25	19,44	19,62	19,81
19	20,00	20,19	20,38	20,57	20,76	20,95
20	21,14	21,33	21,52	21,72	21,91	22,10
21	22,29	22,49	22,68	22,88	23,07	23,27
22	23,46	23,66	23,86	24,05	24,25	24,45
23	24,65	24,85	25,05	25,25	25,45	25,65
24	25,86	26,06	26,27	26,47	26,67	26,88
25	27,08	27,29	27,50	27,70	27,91	28,12
26	28,33	28,54	28,75	28,96	29,17	29,38
27	29,59	29,80	30,02	30,23	30,44	30,66
28	30,88	31,09	31,31	31,53	31,75	31,97
29	32,19	32,41	32,63	32,85	33,08	33,30
30	33,53	33,75	33,98	34,21	34,44	34,67
31	34,89	35,12	35,35	35,59	35,82	36,05
32	36,28	36,52	36,75	36,99	37,23	37,47
33	37,70	37,94	38,18	38,43	38,67	38,91
34	39,16	39,41	39,66	39,90	40,15	40,40
35	40,65	40,90	41,15	41,41	41,67	41,92
36	42,18	42,44	42,70	42,95	43,22	43,48
37	43,75	44,02	44,28	44,54	44,81	45,08
38	45,35	45,62	45,90	46,17	46,45	46,73
39	47,01	47,28	47,57	47,85	48,13	48,42
40	48,71	48,99	49,28	49,57	49,86	50,15
41	50,45	50,75	51,05	51,35	51,65	51,95
42	52,25	52,56	52,87	53,18	53,49	53,80
43	54,11	54,43	54,75	55,07	55,39	55,72
44	56,04	56,36	56,69	57,02	57,36	57,69
45	58,02	58,36	58,70	59,05	59,39	59,73
46	60,08	60,42	60,78	61,14	61,49	61,84
47	62,21	62,57	62,94	63,31	63,68	64,05
48	64,42	64,80	65,18	65,57	65,95	66,33
49	66,72	67,11	67,51	67,91	68,31	68,71
50	69,12	69,5	69,9	70,4	70,8	71,2
51	71,6	72,0	72,5	72,9	73,3	73,8
52	74,2	74,7	75,1	75,6	76,0	76,5

Продолжение табл. 7

Z	0′	10′	20′	30′	40′	50′
53	76,9	77,4	77,9	78,3	78,8	79,3
54	79,8	80,3	80,8	81,3	81,8	82,3
55	82,8	83,3	83,8	84,3	84,8	85,4
56	85,9	86,4	87,0	87,5	88,1	88,6
57	89,2	89,8	90,4	90,9	91,5	92,1
58	92,7	93,3	93,9	94,5	95,1	95,7
59	96,4	97,0	97,6	98,3	99,0	99,6
60	100,3	101	102	102	103	104
61	104	105	105	106	107	108
62	109	110	110	111	112	113
63	114	114	115	116	117	118
64	118	119	120	121	122	123
65	124	125	126	127	128	129
66	130	131	132	133	134	135
67	136	137	138	139	140	142
68	143	144	145	146	148	149
69	150	151	153	154	155	157
70	158	160	161	163	164	166
71	167	169	170	172	174	175
72	177	179	180	182	184	186
73	188	190	192	194	196	198
74	200	202	204	206	209	211
75	213	216	218	221	224	226
76	229	232	234	237	240	243
77	246	250	253	256	260	263
78	267	270	274	278	282	286
79	290	295	299	304	308	313
80	318	323	329	334	340	346
81	352	358	364	371	378	385
82	392	400	408	416	425	433
83	443	452	462	473	484	495
84	507	519	532	545	560	575
85	590					

2. Температурный коэффициент γ

Продолжение табл. 7

Температура	γ	Температура	γ
+35°	0,919	0°	1,037
34	922	—1	041
33	925	2	044
32	928	3	048
31	931	4	052
+30	0,934	5	056
29	937	6	060
28	940	7	064
27	943	8	068
26	946	9	072
25	950	—10	1,076
24	953	11	080
23	956	12	084
22	959	13	089

Продолжение табл 7.

Температура	γ	Температура	γ
21°	962	14°	093
+20	0,966	15	097
19	969	16	101
18	972	17	106
17	976	18	110
16	979	19	114
15	983	—20	1,119
14	986	21	123
13	0,990	22	1,128
12	993	23	132
11	0,996	24	137
+10	1,000	25	142
9	004	26	146
8	007	27	151
7	011	28	156
6	014	29	160
5	018	—30	1,165
4	022	31	170
3	025	32	175
2	029	33	180
+1	033	34	184
0	1,037	—35	1,190

Таблица 8

Значения sin 2a

a		sin 2a	a	
1°	181°	0,035	359°	179°
2	182	0,070	358	178
3	183	0,105	357	177
4	184	0,139	356	176
5	185	0,174	355	175
6	186	0,208	354	174
7	187	0,242	353	173
8	188	0,276	352	172
9	189	0,309	351	171
10	190	0,342	350	170
11	191	0,375	349	169
12	192	0,407	348	168
a		sin 2a	a	

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение 3

2. Общая часть 7

2.1. Организация астрономических определений 7
2.2. Астрономический столб 8
2.3. Вычисление поправки хронометра по приему радиосигналов времени 9
2.4. Основные формулы, используемые при обработке астрономических определений 18
2.5. Поправки за ускорение в вычисленные горизонтальные координаты 19
2 6. Поправка за совместное влияние текущей коллимации и зенитального ускорения 21
2.7. О формулах места зенита и зенитного расстояния 22
2.8. Формулы к составлению эфемерид звезд для наблюдений вблизи меридиана 24

3. Определение долготы 26

3.1. Общие положения 26
3 2. Об основных долготных пунктах 30
3 3. Определение долготы (времени) по способу Цингера с применением контактного микрометра 35
3.4. Определение долготы из наблюдений южных звезд в вертикале Полярной (способ Деллена) 42
3.5. Способ многократного определения долготы (времени) по азимутальным наблюдениям пары звезд вблизи меридиана с применением контактного микрометра 51

4. Определение широты 59

4.1. Общие положения по определению широты 59
4 2. Подготовка к наблюдениям при определении широты по способу Талькотта 60
4.3. Определение широты по способу Талькотта на постоянных нитях 67
4.4. Определение широты по способу Талькотта в произвольных малых часовых углах 81
4.5. Уравнивание широты, определяемой по способу Талькотта . 91
4 6. Определение широты по измерениям близмеридианных зенитных расстояний пар звезд при одном положении теодолита 92
4 7. Способ определения широты по многократным зенитальным наблюдениям пары ярких звезд вблизи меридиана 103

5. Способ совместного определения широты и долготы по разностям измеренных горизонтальных направлений пар звезд в одном альмукантарате 112

5.1. Общие положения 112

5.2. Составление эфемерид 112
5.3. Порядок производства работ 114
5.4. Порядок вычислений и оценка точности 116

6. Определение азимута 119

6.1. Общие положения 119
6.2. Определение азимута из многократных наблюдений ярких звезд вблизи меридиана 122
6.3. Определение азимута из наблюдений звезд в меридиане . . . 134
6.4. Определение азимута по часовому углу Полярной 138
6.5 Определение азимутальной лично-инструментальной разности (АЛИР) 143
6.6. Определение азимута по часовому углу Полярной с погрешностью ±2″ 155
6.7. Определение геодезического азимута из наблюдения ярких звезд вблизи меридиана с погрешностью ±2″ 161

7. Определения широты, долготы и азимута с применением фотоэлектрической регистрации моментов 166

7.1. Общие положения 166
7.2. Подготовка астрономического теодолита к определениям широты и долготы с применением фотоэлектрической регистрации моментов 167
7.3. Определение широты из наблюдений пар звезд на равных высотах (способ Певцова) с применением фотоэлектрической регистрации моментов 169
7.4. Определение долготы из наблюдений пар звезд на равных высотах (способ Цингера) с применением фотоэлектрической регистрации моментов 173
7.5. Подготовка астрономического теодолита к определению азимута с применением фотоэлектрической регистрации моментов 175
7.6. Определение азимута из многократных наблюдений ярких звезд вблизи меридиана с применением фотоэлектрической регистрации . 177

8. Редукции астрономических определений 181

8.1. Приведение широты и долготы к центру пункта 181
8.2 Приведение азимута к центрам пунктов 183
8.3. Приведение астрономических координат и азимутов к уровню моря 188
8.4. Приведение к среднему полюсу 189

9. Приближенные определения 194

9.1. Приближенные определения широты 194
9.2. Определение долготы по зенитному расстоянию Солнца 200
9.3. Приближенные определения азимута 203

10. Астрономические приборы 209

10.1. Астрономические теодолиты 209
10.2. Хронометры 223
10.3. Хронографы 232
10.4. Приборы для расшифровки хронограмм 239
10.5. Радиоприемник «Астра» 240

10.6 Радиоприемник Р-311 с импульсной приставкой ИТП-2 244
10.7. Радиоприемник «Braun Station T1000-CD» 249
10 8. Комплекс астрономического теодолита Вильд Т4 250
10 9. Прибор для исследования цапф 251
10.10. Автоколлимационное устройство для исследования зрительной трубы на боковое гнутие 252
10.11. Экзаменатор 254
10.12. Испытатель винтов 256
10.13. Прибор «Искусственная звезда» 257
10.14. Азимутальный стенд для исследования астрономических теодолитов 259
10 15. Круговая позиционная шкала и методика ее применения . . 263

11. **Исследование астрономических теодолитов и хронометров** 266

11 1. Осмотр теодолита 266
11.2. Исследование оптических качеств трубы 267
11.3. Поверки и юстировки астрономических теодолитов 267
11.4. Определение погрешностей отсчетных микроскопов астрономических теодолитов 278
11.5. Определение рена отсчетных микроскопов 283
11.6. Испытание правильности вращения алидады горизонтального круга (исследование эксцентриситета алидады) 289
11.7. Исследование эксцентриситета горизонтального круга 295
11 8. Исследование смещения подставки теодолита при вращении алидады 298
11.9. Исследование устойчивости алидады горизонтального круга при переводе трубы через зенит 298
11.10. Исследование теодолита с закрытыми цапфами на взаимную перпендикулярность горизонтальной и вертикальной осей 301
11.11. Определение цены оборота винта окулярного микрометра главной и поверительной труб по наблюдениям земного предмета 303
11.12. Определение цены оборота контактного микрометра по наблюдениям прохождений звезд в меридиане 306
11.13. Исследование периодических и ходовых погрешностей винта микрометра 308
11.14. Определение мертвого хода винта контактного микрометра . . 314
11.15. Определение ширины контактов микрометра 315
11.16. Определение расстояний боковых нитей от средней 317
11.17. Исследование бокового гнутия трубы 318
11.18. Эталонирование теодолитов на азимутальном стенде 321
11.19 Пробные измерения горизонтального угла между двумя коллиматорами, расположенными на разных высотах 326
11.20. Исследование неправильностей фигур цапф и определение неравенства диаметров цапф 329
11.21. Исследование уровней 339
11.22. Уход за астрономическими теодолитами 350
11.23. Исследование хронометров 355
11.24. Программа исследований и поверок теодолитов 356

12. Оформление полевых журналов 358
12.1. Журналы по определению широты 358
12.2. Журналы по определению времени 360
12.3. Журналы по определению азимута 361
12.4. Журналы приема радиосигналов времени 361
12.5. Журналы определения лично-инструментальных разностей . . . 361
Список литературы 362
Приложение 363
Таблицы для астрономических определений (сокращенно АТ) 363
Объяснение к таблицам 363
Табл. 1. Перевод среднего времени в звездное 365
Табл. 2. Перевод звездного времени в среднее 366
Табл. 3. Поправки за время распространения радиоволн 367
Табл. 4. Изменения азимутов звезд в меридиане 369
Табл. 5. Список ярких звезд для определения геодезического азимута по многократным наблюдениям звезд вблизи меридиана 372
Табл. 6. Длины дуг меридианов и параллелей 374
Табл. 7. Астрономическая рефракция 375
Табл. 8. Значения sin $2a$ 377

Главное управление геодезии и картографии
при Совете Министров СССР

РУКОВОДСТВО ПО АСТРОНОМИЧЕСКИМ ОПРЕДЕЛЕНИЯМ

Редактор издательства *Н В Протопопова*

Переплет художника *К В Голикова*

Художественный редактор *Е Л Юрковская*

Технические редакторы *А Е Матвеева, В. Л Прозоровская*

Корректор *К И Савенкова*

ИБ № 5438

Сдано в набор 13 04 83 Подписано в печать 26 03 84.
Г 06960 Формат 60×90/16 Бумага № 1 Гарнитура «Литературная» Печать высокая Усл печ л 24 0 Усл. кр -отт 24,0. Уч -изд л 25,8 Тираж 4700 экз
Заказ 3 133/9349 15 Цена 1 р 80 к

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К 12, Третьяковский проезд 1/19

Книжная фабрика «Коммунист» 310012,
Харьков 12, Энгельса, 11.

Вниманию читателей!

В издательстве «Недра» готовятся к печати новые книги

3. АВТОМАТИЗАЦИЯ геодезических измерений в мелиоративном строительстве / Неумывакин Ю. К, Перский М. И., Захаренко М. А, Федоров А. С. 10 л. 50 к.

Описаны конструкции приборов автоматизированного геодезического контроля качества мелиоративного строительства и управления землеройными механизмами. Приведены результаты исследований по стабильности положения пучка лазерного измерения в пространстве из-за влияния внешних факторов (состояния атмосферы, температуры, влажности и др.). Рекомендована технология использования автоматизированных лазерных систем, апробированная в производственных условиях.

Для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций в мелиорации и сельском хозяйстве.

4. БОЛГОВ И. Ф. Геодезические работы при строительстве и испытании крупных сооружений. 10 л. 50 к.

Изложены на основе обобщения опыта и теоретических разработок вопросы организации, техники и технологии производства инженерно-геодезических измерений, выполняемых на строительстве гидротехнических, промышленных, жилищно-гражданских и сельскохозяйственных объектов в период изыскания, проектирования, возведения и эксплуатации зданий и сооружений. Освещены вопросы создания геодезического обоснования и геодезические знаки на строительных площадках, разбивочные работы и текущее обеспечение строительных работ, геодезические измерения деформаций сооружений и земной поверхности. Описана организация геодезической службы в строительстве и пути ее улучшения в строительных организациях.

Для инженеров и техников, занятых в строительстве и других отраслях хозяйства.

22. БРОНШТЕЙН Г. С. Строительные геодезические сетки. 10 л 50 к.

Рассмотрен комплекс вопросов по построению строительных геодезических сеток, служащих основой для выноса в натуру проектов промышленных предприятий Освещено проектирование строительных сеток, различные методы геодезических работ при определении координат их пунктов, сгущении, контрольных измерениях, математическая обработка результатов измерений. Обобщен отечественный и зарубежный опыт. Обращено внимание на использование новой техники (светодальномеры, ЭВМ) для повышения точности и сокращения сроков работ и различной технологии в зависимости от своеобразия местных условии

Для инженерно-технических работников, выполняющих геодезическое обслуживание промышленного строительства, работников отделов генерального плана проектно-изыскательских организаций

6. КУШТИН И. Ф., ЛЫСКОВ Г. А. Фотограмметрия снимка и стереоскопических моделей. 10 л. 50 к.

Изложены результаты исследований по теории одиночного снимка и стереотипы. Дан анализ искажений, вызываемых физическими факторами Изложены методы определения элементов ориентирования и приведен анализ точности Рассмотрено оптимальное расположение опорных точек на снимке Приведены формулы для выбора параметров крупномасштабной аэрофотосъемки, способствующие уменьшению «мертвых» зон на застроенных территориях Описаны методы работ на обрабатывающих приборах по установочным данным, полученным из аналитической обработки снимков.

Для специалистов, занимающихся обработкой одиночных снимков и моделей Может быть полезна студентам геодезических и фотограмметрических специальностей.

Интересующие Вас книги Вы можете приобрести в местных книжных магазинах, распространяющих научно-техническую литературу, или заказать через отдел «Книга — почтой» магазинов.

№ 17 — 199178, Ленинград, В. О., Средний проспект, 61;
№ 59 — 127412, Москва, Коровинское шоссе, 20.

gost.e-ecolog.ru