

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра городского кадастра

О.Ф. КУЗНЕЦОВ

АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ОПРЕДЕ- ЛЕНИЯ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ УЧЕБНО-ИССЛЕДОВА-
ТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург 2006

УДК 271.023(0758).

ББК 38.2Я7

К89

Рецензент

старший преподаватель кафедры городского кадастра А.В. Пищугин.

К 89

Кузнецов О.Ф.

Астрономо-геодезические определения: методические указания по выполнению учебно-исследовательской работы студентов/ О.Ф. Кузнецов – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. - 39 с.

Методические указания предназначены для студентов по дисциплинам «Геодезия», «Геодезические работы в земельном кадастре», «Спутниковая геодезия» строительных и землеустроительных специальностей, а также могут быть рекомендованы к использованию топографическими подразделениями.

К 3300100000

6Л9-05

ББК 38.2я7

© Кузнецов О.Ф., 2007

© ГОУ ОГУ, 2007

Содержание

1. Введение.....	5
1.1 Общие сведения из астрономии.....	6
1.2 Системы координат в астрономии.....	8
1.3 Определение астрономического азимута.....	11
2 Время и его измерения.....	13
2.1 Общие понятия об измерении времени.....	13
2.2 Истинные солнечные сутки и средние солнечные сутки.....	15
2.3 Тропический год. Календарный год.....	16
2.4 Звездные сутки. Звездное время.....	17
2.5 Перевод звездного времени в среднее и обратно.....	18
2.6 Зависимость между местным звездным временем и часовым углом звезды.....	19
2.7 Зависимость между местным звездным временем и долготой пункта наблюдения.....	19
2.8 Перевычисление времени.....	21
3 Приборы для астрономических наблюдений.....	23
4 Способы определения азимутов направлений из астрономических наблюдений.....	23
4.1 Общие положения	23
4.2 Определение астрономического азимута по часовому углу Полярной звезды со средней квадратической ошибкой 5" и 10".....	26
4.3 Определение астрономического азимута по часовому углу Солнца со средней квадратической ошибкой 10".....	29
5 Определение координат точек методом трилатерации	34
Список использованных источников.....	40

1. Введение

Астрономия – одна из древнейших наук. Она возникла, когда человек на основе длительных, от поколения к поколению передаваемых наблюдений за небесными светилами и явлениями научился определять закономерности в движении светил и использовать их в практической деятельности для создания системы счета времени и ориентирования на местности. Так, в древнем Египте по первому появлению на востоке перед восходом Солнца: звезды Сириус определялось время разлива реки Нил – время начала полевых работ. Считается, что необходимость вычислять периоды разлива Нила создала Египетскую астрономию. Кочевники, пастухи, купцы при передвижениях в необъятных просторных степях, пустынь и морей ориентировались по Солнцу, Луне, Полярной звезде, Созвездиям Большой Медведицы, Кассиопея и другим. Из астрономических определений за 250 лет до нашей эры греческий ученый Эратосфен впервые определил радиус земного шара. В настоящее время много отраслей астрономии, решающих различные задачи, выделились в самостоятельные науки. Решение геодезических задач по форме и размерам Земли, определению координат точек земной поверхности, расстояний между ними и направлений связано с двумя отраслями астрономии – сферической и практической. Сферическая астрономия изучает закономерности движения светил на небесной сфере, системы сферических координат светил и системы счета времени.

Практическая астрономия изучает способы определения координат точек земной поверхности, азимутов направлений и определения времени из наблюдений небесных светил.

Астрономические способы определения координат (широты и долготы) и азимутов по характеру работ, квалификации исполнителей, точности инструментов, более сложны чем геодезические работы одинаковой точности, они более зависят от погоды и требуют хорошей видимости светил на всем небосводе или значительной его части.

Однако астрономические способы являются абсолютными не зависящими от каких либо исходных данных и сами служат основой для геодезических измерений.

В результате астрономических и геодезических измерений в нашей стране определены формы и размеры Земли, создана астрономо-геодезическая сеть пунктов с такой точностью, которая обеспечивает запуск искусственных спутников Земли в заранее рассчитанном направлении вокруг Луны и на Луну, полет космических кораблей строго по рассчитанным траекториям.

При определении, прямоугольных координат точек методом трилатерации, азимуты направлений получают, как правило, из астрономических наблюдений. Трилатерация - от латинского слова *trilaterus* – трехсторонний, метод определения положения точек построением на местности смежно расположенных треугольников, координаты вершин и углы которых определяются тригонометрически, а длины сторон – с помощью дальномеров.

Методические указания имеют своей целью оказать помощь студентам в выполнении ими лабораторных работ согласно учебному плану по дисциплине

«Геодезия», «Геодезические работы в земельном кадастре», «Спутниковая геодезия».

Структура методических указаний:

1. Общие сведения из астрономии.
2. Время и его измерение.
3. Приборы для астрономических наблюдений.
4. Способы определения азимутов направлений из астрономических наблюдений.
5. Определение координат точек методом трилатерации.
6. Список использованных источников.

В соответствии с этим студенты должны изучить теоретическую часть методических указаний в разделах 1-3, ответить на контрольные вопросы, а по разделам 4–6 выполнить полевые геодезические работы и провести вычисления полученных результатов с оценкой их точности. Используя результаты наблюдений Полярной звезды, Солнца и материалы вычислений координат методом трилатерации, автор предлагает примеры расчетов в таблицах 5-8, 10-12, которые формируют методику вычислений.

Задание на выполнение практических работ выдается преподавателем.

Предложения и замечания, направленные на улучшение предлагаемого материала передавать на кафедру «Городского кадастра» ОГУ.

1.1 Общие сведения из астрономии

1.1.1 Понятие о небесной сфере

Астрономические определения азимутов направлений, широт и долгот пунктов связаны с наблюдением звезд и регистрацией моментов их прохождения. Звездами называются небесные тела, не принадлежащие солнечной системе и удаленные от нее на громадные расстояния.

По яркости звезды разделяются на классы, называемые звездными величинами. Самые яркие звезды называются звездами первой величины, следующие по яркости – второй, третьей и т.д.

Звезды на небесном своде группируются в созвездия. Внутри созвездия отдельные звезды обозначаются буквами греческого алфавита (α , β , γ , и т.д.) иногда просто нумеруются. Некоторые наиболее яркие звезды имеют, кроме того, еще названия, например, Арктур, Вега, Полярная звезда и т.д.

Для определения положения звезд небесный свод заменяется небесной сферой. **Небесной сферой** называется сфера бесконечно большого радиуса, центр которой смещается с центром Земли или точкой наблюдения. Основными точками и линиями небесной сферы (см. рисунок 1), являются:

- полюсы мира P и P_1 ;
- точки зенита Z и надира Z_1 ;
- небесный меридиан PZP_1Z_1 и небесный экватор Q_1Q_2 ;
- эклиптика E_1E_2 ;

– точки весеннего γ и осеннего Ω равноденствия.

Полюсами мира P и P_1 называются точки пересечения небесной сферы линией, параллельной оси вращения Земли. Осью мира PP_1 называется ось вращения небесной сферы.

Зенитом Z и надиром Z_1 называют точки пересечения отвесной линии с небесной сферой. В каждой точке на земной поверхности проходит своя отвесная линия. Следовательно, для каждой точки имеется свой зенит и надир.

Небесным меридианом называется большой круг небесной сферы, проходящей через полюсы мира P и P_1 и точки зенита Z и надира Z_1 .

Небесным экватором называется большой круг $Q\gamma Q_1\Omega$, образованный пересечением небесной сферы плоскостью, перпендикулярной к оси мира и проходящей через центр небесной сферы.

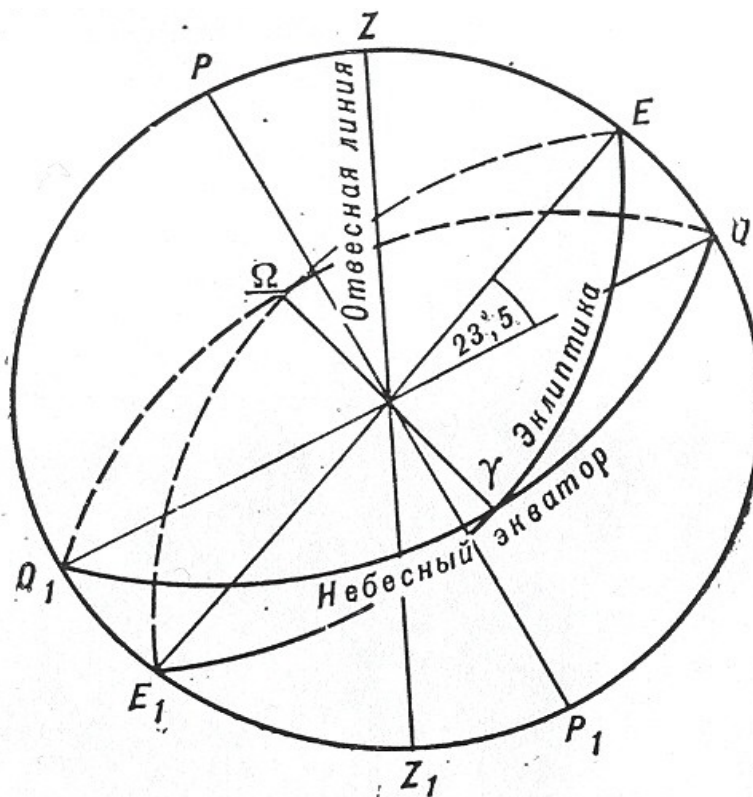


Рисунок 1 – Основные точки и линии небесной сферы

Эклиптикой называется большой круг $E\gamma E_1\Omega$, образованный пересечением небесной сферы плоскостью видимого движения Солнца.

Точками весеннего γ и осеннего Ω равноденствия называются точки пересечения небесного экватора и эклиптики.

1.2 Системы координат в астрономии

В астрономии для определения положения звезд на небесной сфере используются в основном следующие системы координат: горизонтальная (рабочая), вторая эваториальная (табличная), первая экваториальная (переходная).

В горизонтальной системе положение звезд на небесной сфере (их координаты) находятся непосредственно или вычисляются по другим измеренным величинам. В данной системе координат основным кругом является небесный горизонт, главным кругом – вертикал, или круг высот.

Небесным горизонтом называется большой круг на небесной сфере, образованный плоскостью, перпендикулярной к направлению отвесной линии ZZ_1 в точке наблюдения (см. рисунок 2.)

Вертикалом, или кругом высот, называется большой круг, проходящий через отвесную линию и звезду. Положение звезды σ на небесной сфере определяется зенитным расстоянием z (высотой звезды h) и азимутом α .

Зенитным расстоянием z называется угловая величина дуги круга высот от точки зенита до звезды. Зенитное расстояние изменяется от 0^0 до 180^0 .

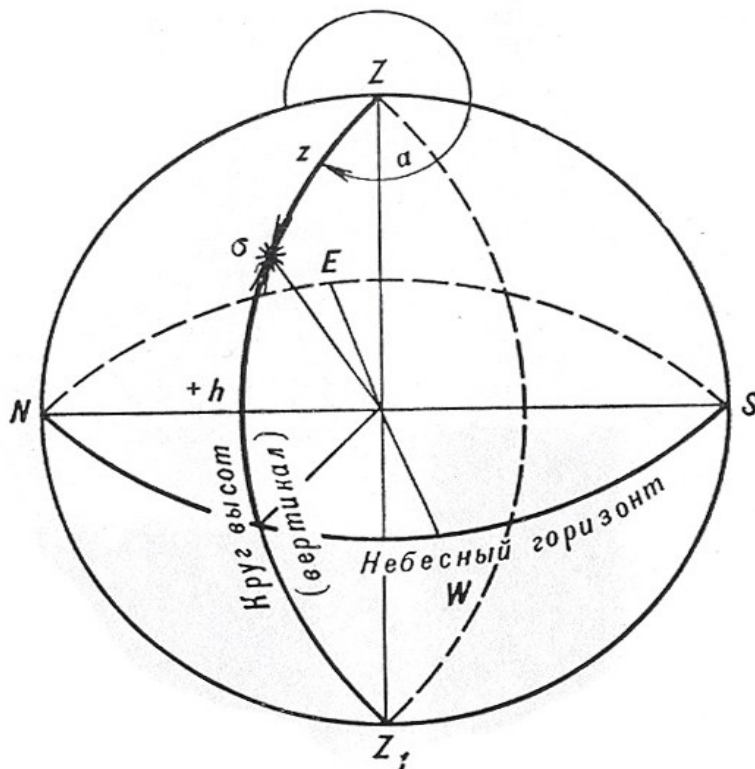


Рисунок 2 – Горизонтальная система координат

Высотой звезды называется угловая величина дуги круга высот от небесного горизонта до звезды. Высота звезды изменяется от 0^0 до $\pm 90^0$. При этом если звезда находится над горизонтом, ее высота считается положительной ($+h$), а если под горизонтом – отрицательной ($-h$). Высота и зенитное расстоя-

ние дополняют друг друга до 90° . Зная высоту, можно рассчитать зенитное расстояние и наоборот: $z=90^\circ-h$.

Азимут звезды α называется угловая величина дуги небесного горизонта от точки севера N до круга высот (вертикала) звезды.

Азимут звезды изменяется от 0 до 360° . измерение азимутов ведется от точки севера по ходу часовой стрелки (от точки севера N к точке востока E , далее через точку юга S к точке запада W).

При наблюдении на пункте прибор ориентируется в горизонтальной системе координат (вертикальная ось теодолита по уровню совмещается с отвесной линией ZZ_1 , либо ориентируется относительно меридиана). такое ориентирование прибора позволяет в процессе наблюдения получать измеренные величины в данной системе координат.

Вторая экваториальная (табличная) система координат используется при составлении ежегодников и других таблиц. В этой системе координат положение звезд на небесной сфере не зависит от положения наблюдателя на земной поверхности, поэтому на любой точке на земной поверхности положение звезд будет определяться одними и теми же величинами (координатами). В данной системе координат основным кругом является небесный экватор, а главным кругом – круг склонений.

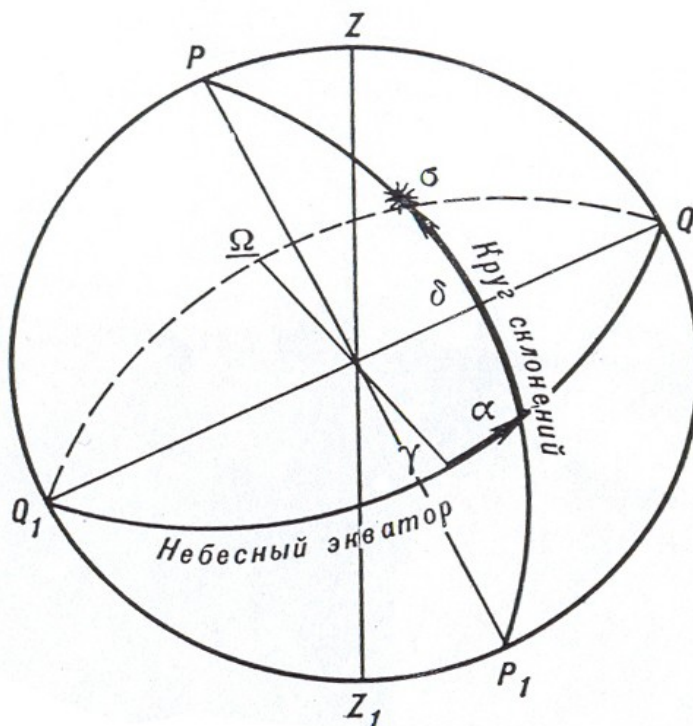


Рисунок 3 – Вторая экваториальная система координат

Кругом склонений называют круг на небесной сфере, проходящий через полюсы мира P и P_1 и звезду α .

Положение звезд на небесной сфере (см. рисунок 3), определяется прямым восхождением α и склонением δ .

Прямым восхождением α называется угловая величина дуги небесного экватора от точки весеннего равноденствия γ до круга склонения звезды. Прямое восхождение обычно выражается в часовой мере и изменяется от 0 до 24^h .

Склонение δ называется угловая величина дуги круга склонений от небесного экватора до звезды. Склонение изменяется от 0 до $\pm 90^\circ$. при этом склонение звезд, расположенных к северу от экватора, является положительным ($+\delta$), а к югу от экватора – отрицательным ($-\delta$). Координаты звезд во второй экваториальной системе выбираются из астрономического ежегодника или Каталога координат Солнца и ярких звезд.

Первая экваториальная (переходная) система используется для установления связи экваториальных координат, указанных в таблицах, и координат звезд, полученных из наблюдений (для связи второй экваториальной и горизонтальной систем). В данной системе координат основным кругом является небесный экватор, главным кругом – небесный меридиан. Положение звезды α на небесной сфере (см. рисунок 4), определяется склонением δ и часовым углом t .

Склонение δ принимает те же значения, что и во второй экваториальной системе координат.

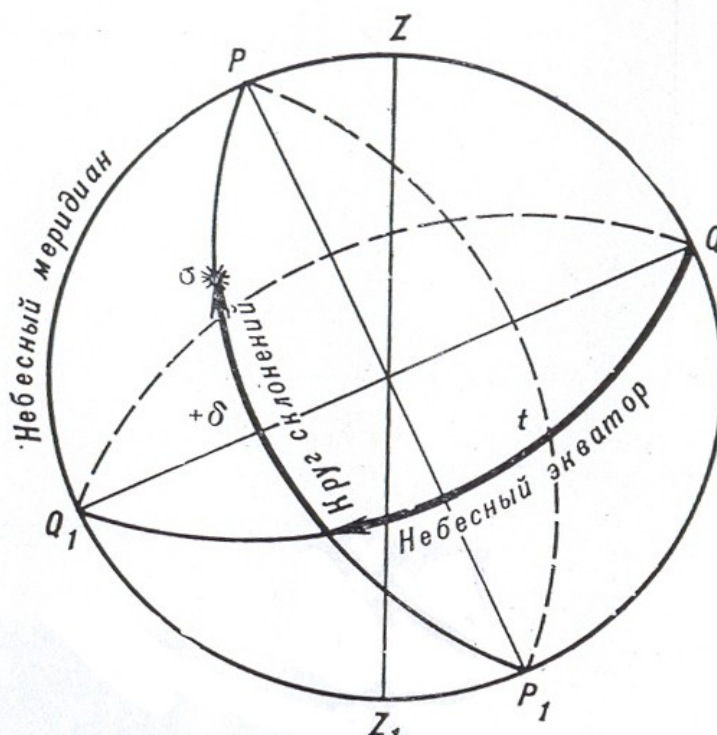


Рисунок 4 – Первая экваториальная система координат

Часовым углом t называется угловая величина дуги небесного меридиана до круга склонения звезды. Часовой угол выражается в часовой мере и изменяется от 0 до 24^h . Часовой угол звезды может быть получен из наблюдений. Величина его зависит от времени наблюдения звезды.

1.3 Определение астрономического азимута

Сущность определения астрономического азимута A направления на земной предмет заключается в определении астрономического азимута α какого-либо небесного светила в определенный момент времени и в измерении в тот же момент горизонтального угла Q между направлениями на светило и земной предмет (Рисунок 5).

Астрономический азимут направления на земной предмет вычисляется по формуле

$$A = \alpha + Q. \quad (1)$$

Из астрономических наблюдений могут быть определены также астрономические широты и долготы пунктов, которые используются при вычислениях высокоточных астрономических азимуты.

Все существующие способы астрономических определений азимута, широты и долготы основаны на измерении отдельных элементов сферического треугольника $PZ\sigma$, (см. рисунок 6). Сферический треугольник, у

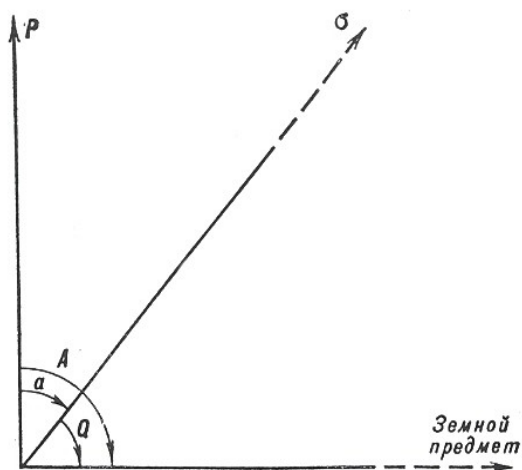


Рисунок 5 - Азимуты светила и земного предмета

которого вершинами являются полюс мира P , зенит Z и звезда σ , называется астрономическим, или параллактическим треугольником.

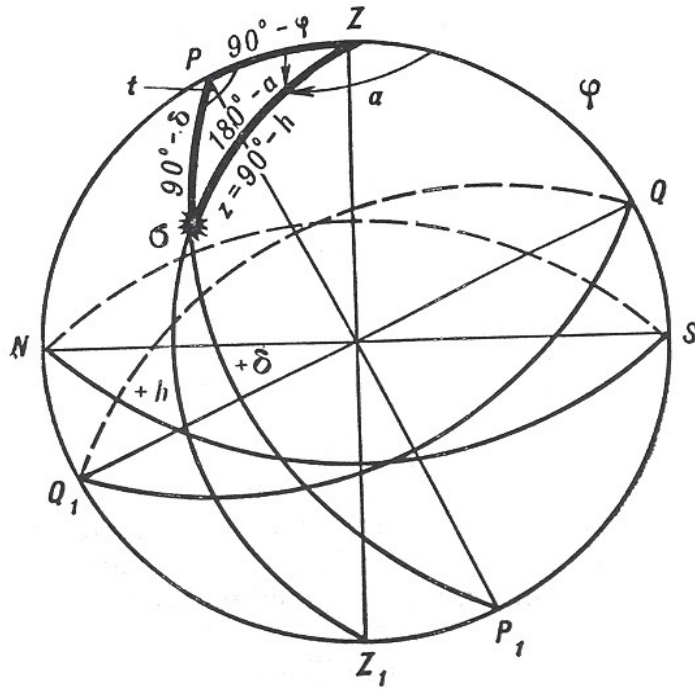


Рисунок 6 - Параллактический треугольник

Для решения параллактического треугольника достаточно знать три его элемента, тогда остальные его элементы легко находятся по формулам сферической тригонометрии.

Так по теореме синусов можно написать

$$\frac{\sin z}{\sin t} = \frac{\sin(90^\circ - \delta)}{\sin(180^\circ - \alpha)}, \quad (2)$$

откуда

$$\sin z \cdot \sin \alpha = \cos \delta \cdot \sin t \quad \text{или} \quad \sin \alpha = \frac{\cos \delta \cdot \sin t}{\sin z} = \frac{\sin t}{\sin z \cdot \sec \delta}. \quad (3)$$

По теореме косинусов можно написать

$$\cos z = \cos(90^\circ - \varphi) \cdot \cos(90^\circ - \delta) + \sin(90^\circ - \varphi) \cdot \sin(90^\circ - \delta) \cdot \cos t, \quad (4)$$

откуда

$$\cos z = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t. \quad (5)$$

По формулам пяти элементов, связывающим три стороны и два угла треугольника, можно написать

$$\sin z \cdot \cos(180^\circ - \alpha) = \sin(90^\circ - \varphi) \cdot \cos(90^\circ - \delta) - \cos(90^\circ - \varphi) \cdot \sin(90^\circ - \delta) \cdot \cos t, \quad (6)$$

откуда

$$\left. \begin{aligned} \sin z \cdot \cos \alpha &= -\cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \\ \cos \delta \cdot \cos t &= \cos \varphi \cdot \cos z + \sin \varphi \cdot \sin z \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

В зависимости от того, какие элементы параллактического треугольника считают определяемыми, а значения каких элементов выбираются из таблиц или находятся в процессе полевых наблюдений, различают способы астрономических определений азимутов, широт и долгот.

Для определения астрономических азимутов направлений наиболее широко используются следующие способы:

- по часовому углу Полярной звезды;
- по часовому углу Солнца.

В последние годы учеными разработаны способы, позволяющие по результатам астрономических наблюдений определять непосредственно геодезические азимуты направлений. Одним из них является способ определения геодезических азимутов направлений из наблюдений серии звезд в меридиане.

Вопросы для самоконтроля: 1. Начертить небесную сферу, на которой показать ее основные точки и линии, дать им определения.

2. Перечислить системы астрономических координат и указать порядок их использования. Показать на сфере звезду σ и определить ее положение в каждой системе координат.

3. Рассказать о сущности определения астрономического азимута. Начертить параллактический треугольник и обозначить его элементы.

4. Перечислить основные способы определения астрономических азимутов направлений.

2 Время и его измерения

2.1 Общие понятия об измерении времени

Развитие природы и человеческого общества, жизнь и трудовая деятельность людей происходит во времени. Основной единицей измерения времени с давних пор считается год. Годом называется период времени полного обращения Земли вокруг Солнца. Год делится на сутки. Сутками называется период времени полного оборота Земли вокруг своей оси. Сутки делятся на 24 части, называемые часами ($1 \text{ сутки} = 24^h$). Для счета часов были изобретены солнечные, песочные и водяные, а затем и механические часы.

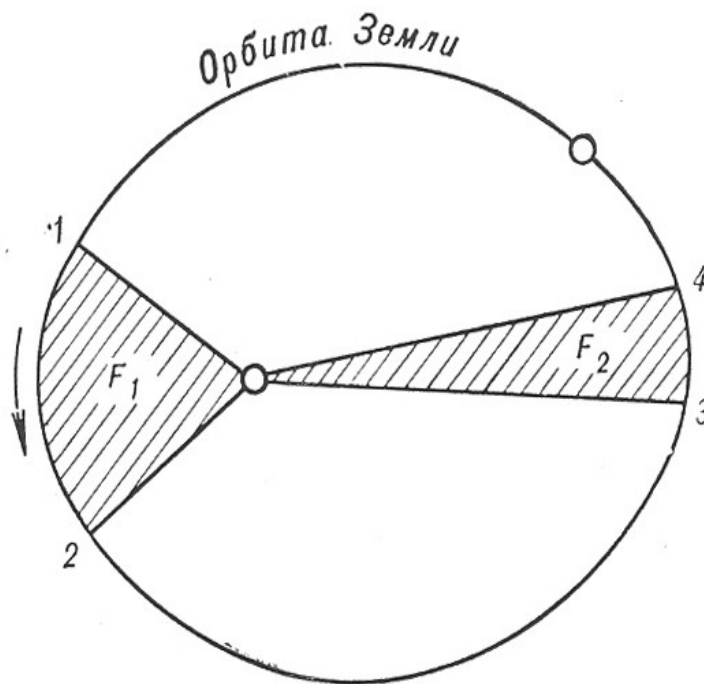


Рисунок 14 - К пояснению причин различной продолжительности суток в течение года

С развитием науки и техники счет времени с точностью до часа оказался недостаточным, поэтому в начале XVIII в. На механических часах сначала была установлена минутная стрелка, а через сто лет – секундная. Минутой стал называться период времени, равный $\frac{1}{60}$ части часа ($1^h = 60^m$), а секундой - $\frac{1}{60}$ части минуты ($1^m = 60^s$).

К концу XVIII в. Был накоплен определенный опыт в точном измерении времени и установлено, что вследствие неравномерного движения Земли по орбите вокруг Солнца, (Рисунок 14), продолжительность суток в течение года неодинакова. В период, когда в северном полушарии зима, сутки короче, а когда лето – длиннее. Разность между ними достигает 15 с. Неравномерная продолжительность суток происходит в результате того, что зимой расстояние от Земли до Солнца уменьшается¹⁾ и Земля убыстрит свое движение (точки 1 и 2), а летом, наоборот, с увеличением расстояния до Солнца движение Земли замедляется (точки 3 и 4).

Для того, чтобы сделать сутки равными по длительности в течение всего года, были введены понятия **истинные** солнечные сутки, **среднее** Солнце и **средние** солнечные сутки.

¹⁾ Смена времен года объясняется не величиной расстояния до Солнца, а величиной угла падения солнечных лучей на Землю.

2.2 Истинные солнечные сутки и средние солнечные сутки

С точки зрения измерения периодов времени нет разницы в том, рассматриваем ли мы действительное вращение Земли вокруг своей оси или видимое нами суточное обращение Солнца по эклиптике, так как эти периоды равны. Точно так же можно говорить о действительном движении

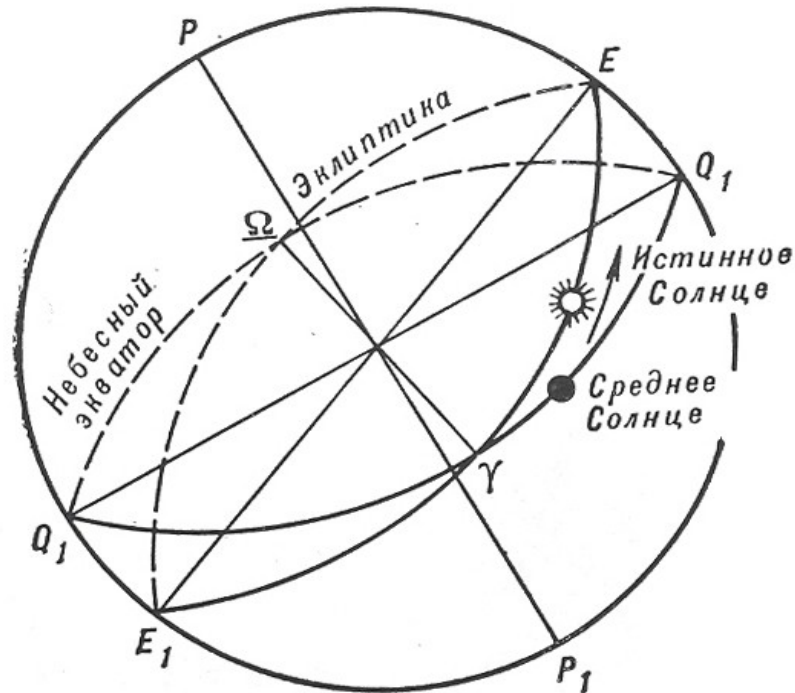


Рисунок 15 - Видимое обращение Солнца

Земли вокруг Солнца или о видимом нами годичном движении Солнца относительно звезд, так как эти периоды тоже равны.

В видимом суточном обращении Солнца по эклиптике оно дважды (в точках E и E_1) пересекает плоскость небесного меридиана, (см. рисунок 15), проходящий через пункт наблюдения.

Прохождение Солнца или звезды через плоскость небесного меридиана называется кульминацией светила, а сами точки на небесной сфере – кульминационными. Ближайшая к зениту кульминационная точка E называется верхней (полдень), а ближайшая к надиру E_1 – нижней (полночь).

Истинными солнечными сутками называется период времени между двумя последовательными нижними кульминациями центра диска Солнца. За начало истинных солнечных суток принимается момент, когда Солнце находится в нижней кульминационной точке (полночь). Но истинные солнечные сутки в течение года не равномерны по своей продолжительности, поэтому в настоящее время ими как единицей времени практически почти нигде не пользуются.

В науке, в производстве и в повседневной жизни пользуются **средними** солнечными сутками. Для этого истинное Солнце заменяется средним эквато-

риальным Солнцем. В качестве среднего экваториального Солнца принята условная точка, видимое годовое движение которой происходит равномерно, но не по эклипике, а по небесному экватору.

В видимом суточном обращении среднее Солнце, как и истинное, дважды пересекает плоскость меридиана. Средними солнечными сутками называется период времени между двумя последовательными нижними кульминациями среднего Солнца. За начало средних солнечных суток принимают момент, когда среднее Солнце находится в нижней кульминационной точке (полночь). Средние сутки делятся на 24 средних часа, час – на 60 средних минут, минута – на 60 средних секунд. Их обозначают также h , m , s , но с припиской средние.

Учитывая, что в каждой точке на земной поверхности проходит свой небесный меридиан, начало счета среднего солнечного времени в каждой точке будет свое. Такое время называется **местным средним временем**.

В повседневной жизни пользоваться местным средним временем также крайне неудобно. В 1884г. была введена система **поясного времени**. Для этого Земля была разделена на 24 пояса, каждый из которых шириной по долготе 15° (в часовой мере – 1^h). На всей территории пояса было принято единое среднее время по среднему меридиану данного пояса, которое называется поясным средним временем и обозначается T_N . Поясам присвоены номера от 0 до 23, с возрастанием нумерации с запада на восток. За средний меридиан нулевого пояса принят Гринвичский меридиан. Поясное время нулевого пояса называется Всемирным временем и обозначается T_0 .

В нашей стране поясное время было введено 8 февраля 1919г. С 16 июня 1930 г. по хозяйственным соображениям в России принято время, идущее на час впереди поясного, это время называется **декретным временем** и обозначается T_{N+1} .

Таким образом, в нашей стране в повседневной жизни и в производстве используется декретное время. Декретное время для пояса № 2, в котором расположена Москва, называется московским временем и обозначается T_M .

2.3 Тропический год. Календарный год

Тропическим годом называется период времени между двумя последовательными прохождениями среднего Солнца через точку весеннего равноденствия γ . Продолжительность года равна 365,2422 средних суток. Пользоваться дробным числом средних суток в году неудобно, поэтому продолжительность года принимается близкой к средней продолжительности года (365 или 366 суток).

Средняя продолжительность года, принятая в том или ином календаре, называется календарным годом. В настоящее время мы живем по григорианскому календарю. В этом календаре все годы, кроме тех, числовые обозначения которых не делятся без остатка на 4, приняты продолжительностью 365 суток, а те, которые делятся на 4, - 366 суток. Годы, в которых порядковый номер делится на 4, называются високосными, например $2004:4=501$, значит 2004 г. –

високосный. В високосный год лишний день приписывается к февралю, который в этот год насчитывает 29 дней.

2.4 Звездные сутки. Звездное время

Звезды в своем видимом движении делают в течение суток полный оборот по небесным или суточным параллелям (окружностям qq_1 параллельным небесному экватору). Вместе со звездами суточное движение совершает по небесной сфере и точка весеннего равноденствия, которая движется по небесному экватору, (см. рисунок 16).

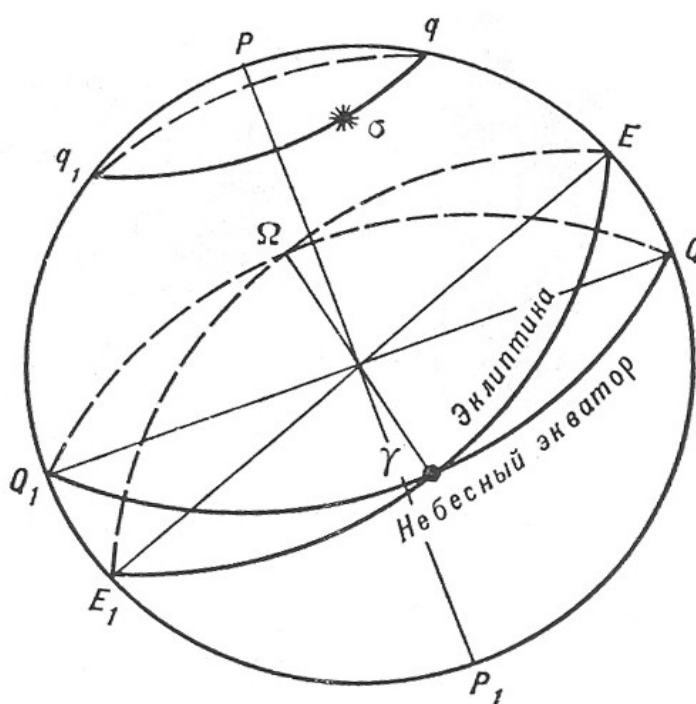


Рисунок 16 - Видимое суточное движение звезд и точки весеннего равноденствия

Период времени между двумя последовательными верхними кульминациями точки весеннего равноденствия называется **звездными сутками**. В каждом пункте наблюдения проходит свой меридиан и, следовательно, свое начало местных звездных суток и свое звездное время. Оно называется **местным звездным временем** и обозначается s . Звездное время на меридиане Гринвичской обсерватории называется Гринвичским звездным и временным и обозначается S .

Системы счета времени приведены в таблице 1

Таблица 1 – Системы счета времени

Название времени и его обозначение	Начало отсчета	Единица измерения времени
Местное среднее время T_m	Момент нижней кульминации среднего Солнца (средняя полночь) на меридиане точки наблюдения	Средние сутки
Всемирное время T_0	Момент нижней кульминации среднего Солнца (средняя полночь) на меридиане Гринвичской обсерватории	Средние сутки
Постоянное время T_N	Для часового пояса номер N – средняя полночь на меридиане с долготой $15^\circ N = N^h$ восточнее Гринвича	Средние сутки
Декретное время T_{N+1}	Для часового пояса номер N – средняя полночь на меридиане с долготой $15^\circ (N+1) = (N+1)^h$ восточнее Гринвича	Средние сутки
Местное звездное время s	Момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия на меридиане точки наблюдения	Звездные сутки
Гринвичское звездное время S	Момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия на меридиане Гринвичской обсерватории	Звездные сутки

2.5 Перевод звездного времени в среднее и обратно

Годичное движение среднего Солнца по небесному экватору совершается навстречу суточному движению звезд. Вследствие этого суточное движение среднего Солнца оказывается медленнее суточного движения звезд и точки весеннего равноденствия. Постепенно это отставание накапливается и в течение года становится равным одной окружности, т.е. в течение тропического года число суточных оборотов точки весеннего равноденствия будет на единицу больше числа суточных оборотов среднего Солнца, т.е. тропический год будет равен 366,2422 звездных суток. Из этого равноденствия выходят формулы для перевода звездного времени в среднее время и обратно. Обозначим через $\mu = \frac{1}{365,2422}$ и через $\nu = \frac{1}{366,2422}$. Тогда

$$T_* = T(1 + \mu) = T + T \cdot \mu ; T = T_*(1 - \nu) = T_* - T_* \cdot \nu , \quad (8)$$

где T_* - промежуток времени в звездных единицах;

T - промежуток времени в средних единицах.

Таблицы для перевода звездного времени в среднее и обратно (с точностью до 0^s01) приводятся в Астрономическом ежегоднике и Каталоге координат Солнца и ярких звезд.

Пользуясь формулами (8), можно определить, чему равны средние сутки в звездных единицах и чему равны сутки в средних единицах:

1 средние сутки = $24 (1 + \nu) = 24^h03^m56^s$, 56 звездных;

1 звездные сутки = $24 (1 - \nu) = 23^h56^m04^s$, 09 средних.

2.6 Зависимость между местным звездным временем и часовым углом звезды

Выше отмечалось, что за начало местного звездного времени в точке наблюдения принимается момент верхней кульминации точки весеннего равноденствия в пункте наблюдения. Следовательно, для определения значения местного звездного времени в какой-то другой момент времени достаточно было бы измерить часовой угол точки весеннего равноденствия в этот момент (Рисунок 17), так как $s = t^\gamma$. Но это выполнить нельзя, потому что точки весеннего равноденствия на небесной сфере реально не существует. Однако, зная часовой угол звезды t и ее прямое восхождение α , можно вычислить местное звездное время в момент наблюдения по формуле

$$s = t^\gamma = t + \alpha . \quad (9)$$

Если наблюдение звезды проводится в момент ее верхней кульминации, местное звездное время равно прямому восхождению звезды

$$s = \alpha . \quad (10)$$

Значение прямых восхождений звезд α указываются в Астрономическом ежегоднике. Зная местное звездное время s в точке наблюдения, по формулам, указанным выше, легко найти местное среднее время в этой точке.

2.7 Зависимость между местным звездным временем и долготой пункта наблюдения

Известно, что долготы точек на земной поверхности отсчитываются от Гринвичского меридиана. Поэтому, если из наблюдений звезды определено местное звездное время и на момент наблюдений звезды известно Гринвичское звездное время S , долгота пункта наблюдений (см. рисунок 18) будет

$$\lambda = s - S, \quad (11)$$

где s – местное звездное время;

S – Гринвичское звездное время.

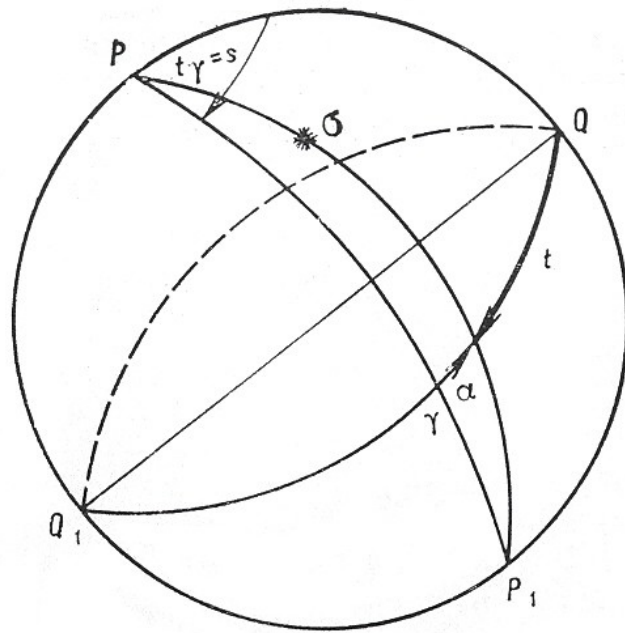


Рисунок 17 - Зависимость между местным звездным временем и часовым углом звезды

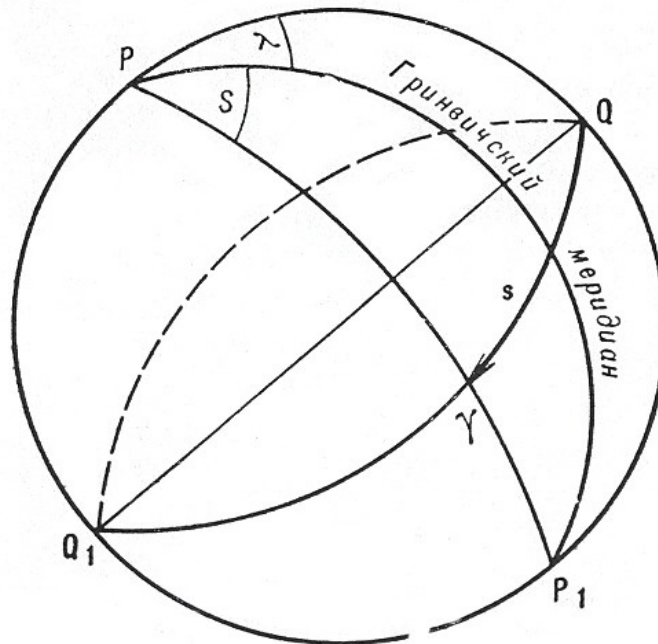


Рисунок 18 - Зависимость между местным звездным временем и долготой пункта

Гринвичское звездное время в момент наблюдения звезды вычисляется по отсчету, снятому с хронометра (часов), и результату последующей сверки хода хронометра (часов) со специальными радиосигналами времени, передаваемыми службами времени в установленные моменты по Гринвичскому среднему времени.

2.8 Перевычисление времени

Общая схема решения задач на перевод времени из одной системы счета в другую заключается в определении промежутка времени между началами отсчета. Если системы счета времени однородны, т.е. в двух пунктах наблюдения А и В известно звездное или среднее время, задачи на перевод времени решаются довольно просто (необходимо только знать долготы этих пунктов) :

$$\begin{aligned} S_A &= S_B + (\lambda_A - \lambda_B); \\ T_{mA} &= T_{mB} + (\lambda_A - \lambda_B). \end{aligned} \quad (12)$$

Если системы счета времени разные, т.е. в одном пункте известно звездное время, а в другом – среднее, для перевода времени необходимо знать дату наблюдения, значение долгот пунктов и иметь Астрономический ежегодник. Решение таких задач рассмотрим на примерах.

Пример 1. Найти всемирное время (время на меридиане Гринвичской обсерватории), если московское время $17^h 42^m 16^s$.

Р е ш е н и е:

$$T_0 = T_{N+1} - (N + 1)^h = 17^h 42^m 16^s - 3^h = 14^h 42^m 16^s$$

Пример 2. Найти местное среднее время в пункте наблюдения с восточной долготой $\lambda = 28^0 30' 00''$ для момента наблюдения $19^h 17^m 24^s$ декретного времени.

Р е ш е н и е:

- находится Всемирное время T_0 , соответствующее моменту наблюдения :

$$T_0 = T_{N+1} - (N + 1)^h = 19^h 17^m 24^s - 3^h = 16^h 17^m 24^s ;$$

- долгота пункта выражается в часовой мере [Каталог координат Солнца и ярких звезд (Каталог), с. 195]:

$$\lambda = 28^0 30' 00'' = 1^h 54^m 00^s ;$$

- местное среднее время T_m равно

$$T_m = T_0 + \lambda^h = 16^h 17^m 24^s + 1^h 54^m 00^s = 18^h 11^m 24^s.$$

Пример 3. Найти декретное время пояса № 2, если в пункте наблюдения с восточной долготой $\lambda = 28^\circ 30' 00''$ местное среднее время $21^h 12^m 32^s$.

Р е ш е н и е:

$$T_{N+1} = T_m - \lambda + (N + 1)^h = 21^h 12^m 32^s - 1^h 54^m 00^s - 3^h = 22^h 18^m 32^s.$$

Пример 4. Найти местное звездное время в пункте с восточной долготой $\lambda = 28^\circ 30' 00''$, если в момент наблюдения 23 сентября 2001 г. по московскому времени было $21^h 31^m 30^s$.

Р е ш е н и е:

- находится всемирное время T_0 , соответствующее заданному моменту T_{N+1} декретного времени пояса № 2:

$$T_0 = T_{N+1} - (N+1)^h = 21^h 31^m 30^s - 3^h = 18^h 31^m 30^s;$$

- выписывается Гринвичское звездное время в 0^h Всемирного времени 23 сентября 2001 г. (Каталог, с. 14):

$$S_0 = 0^h 04^m 45^s,7;$$

- промежуток среднего времени от 0^h до $T_0 = 18^h 31^m 30^s$ переводится в звездное время (Каталог, с.192):

$$T_0 + T_0^\mu = 18^h 31^m 30^s + 03^m 02^s,59 = 18^h 34^m 32^s,59;$$

- Гринвичское звездное время S , соответствующее моменту наблюдения московского времени (пояса № 2), будет

$$S = S_0 + T_0 + T_0^\mu = 0^h 04^m 45^s,70 + 18^h 34^m 32^s,59 = 18^h 39^m 18^s,29;$$

- местное звездное время в пункте наблюдения будет

$$s = S + \lambda = 18^h 39^m 18^s,29 + 1^h 54^m 00^s = 20^h 33^m 18^s,3.$$

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Что называется истинным и средним солнечными сутками, поясным и декретным временем?
- 2 Что называется тропическим и календарным годом, в чем их отличие?
- 3 Что называется звездными сутками и чему равны звездные сутки в средних единицах времени?
- 4 Как определить местное звездное время в пункте наблюдения?
- 5 Решить повторно примеры 1-4 на дату занятия.

3 Приборы для астрономических наблюдений

В зависимости от точности определения азимута в комплект для астрономических наблюдений входят универсальный или оптический теодолит, секундомер, радиоприемник.

Краткие технические данные некоторых теодолитов, используемых для астрономических наблюдений, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические данные теодолитов

Наименование параметра	2Т2	АУ 2"/10"
Увеличение зрительной трубы	25 ^x	56 ^x , 45 ^x
Наименьшее расстояние визирования, м	1,5	≈ 7
Диаметр горизонтального круга, мм	-	220
Диаметр вертикального круга, мм	-	135
Уровни, цена деления:		
– накладной	10"	2-2",5
– при алидаде горизонтального круга	15"	-
– при алидаде вертикального круга	20"	6-10"
– уровень Талькотта	-	1,2-15"
Вес теодолита, кг	5,5	37
Вес футляра (укладочных ящиков), кг	4,2	34
Вес штатива, кг	6	8,2

4 Способы определения азимутов направлений из астрономических наблюдений

4.1 Общие положения

Точность определения азимутов зависит от способа наблюдения звезд и строгости обработки результатов наблюдений, от точностных характеристик применяемых приборов и условий наблюдения.

Высококачественные определения азимутов (со средней квадратической ошибкой $\pm 0,5-2''$) выполняются универсальными астрономическими инструментами. Определение азимутов со средней квадратической ошибкой $\pm 5''$ и $\pm 10''$ выполняется оптическими теодолитами средней точности. Ниже рассматриваются способы определения астрономических и геодезических азимутов со средней квадратической ошибкой $\pm 5''$ и $\pm 10''$.

При выборе способа определения азимутов направлений прежде всего исходят из требуемой точности. Основные данные, которыми необходимо руководствоваться при выборе способа, приведены в таблице 3

Таблица 3 – Данные для определения способа наблюдений

Способ определения	Средняя квадратическая ошибка	Количество приемов	Приборы	Условия наблюдения
Астрономический азимут по часовому углу Полярной звезды	$\pm 5''$ $\pm 10''$	6 приемов 4 приема	2Т2, секундомер, радиоприемник	В широтах до 60° , ночью
Астрономический азимут по часовому углу Солнца	$\pm 10''$	6 приемов	2Т2, 3Т2, секундомер, радиоприемник	В широтах до 75° , днем

Работа по определению азимутов направлений из астрономических наблюдений заключается в следующем:

- подготовка приборов к работе;
- ориентирование теодолита в меридиане (при наблюдении Полярной звезды);
- выполнение программы наблюдений и полевая обработка журнала наблюдений;
- вычисление астрономических (геодезических) азимутов направлений.

Астрономические наблюдения можно выполнять с бетонного столба или со штатива. Для наблюдения со штатива под ножки штатива на глубину 30–40 см забиваются деревянные кольца диаметром 8–10 см. Центрирование теодолита и марок выполняется с точностью ± 1 мм.

Подготовка теодолита к работе включает:

- подключение электроосвещения (при необходимости);
- центрирование и нивелирование теодолита и марок;
- определение и исправление места зенита, если его величина превышает $2'$;
- определение и исправление двойной коллимационной ошибки, если ее величина превышает $20''$;
- фокусирование зрительной трубы теодолита на бесконечность.

Кроме того, при ночных наблюдениях для предохранения объектива зрительной трубы теодолита от запотевания заранее готовят и надевают на объектив защитную трубку из картона или плотной бумаги 8–10 см.

Перед наблюдением секундомер устанавливают по московскому времени и ориентируют теодолит относительно меридиана с ошибкой 1– $2'$.

Наиболее просто ориентирование прибора в меридиане выполняется по Полярной звезде. Значение азимута Полярной звезды выбирается из таблицы «Высоты и азимуты Полярной звезды» в Астрономическом ежегоднике или Ка-

талогe координат Солнца и ярких звезд по местному звездному времени s и широте пункта наблюдения.

Значение зенитного расстояния Полярной звезды вычисляется по формуле:

$$z = (90^\circ - \varphi) - f \quad (13)$$

где f – разность высот Полярной звезды и плюса мира (выбирается из той же таблицы по значению местного звездного времени s).

Пример. Определить z и α Полярной звезды на время $21^{\text{h}}20^{\text{m}}$ для пункта $\varphi = 49^\circ 13'$.

Решение:

1. Из Каталога, с. 31 по $s = 21^{\text{h}}20^{\text{m}}$ находим $f = +0^\circ 17'$. Тогда $z = 90^\circ - 49^\circ 13' - 0^\circ 17' = 40^\circ 30'$.

2. Из той же таблицы по s и φ находим $\alpha = 1^\circ 17'$.

Порядок определения прибора следующий:

- уровень при вертикальном круге выводят в среднее положение и зрительную трубу устанавливают на отсчет по вертикальному кругу, равный зенитному расстоянию Полярной звезды (с учетом места зенита);
- прибор разворачивают в направлении на Север и медленно вращают по азимуту до отыскания Полярной звезды;
- в рассчитанное время перекрестие сетки нитей наводят на Полярную звезду и на горизонтальном круге (с учетом показания оптического микрометра) устанавливают отсчет, равный азимуту Полярной звезды. После этого трубу наводят на местный предмет (марку) и записывают отсчет по горизонтальному кругу.

Программа астрономических наблюдений на пункте включает:

- прием сигналов времени;
- наблюдение Полярной звезды, Солнца;
- прием сигналов времени.

Прием сигналов времени проводят, как правило, через каждые 2 часа.

Результаты наблюдений при определении астрономических азимутов должны удовлетворять допускам, приведенным в таблице 4.

Таблица 4 – Допуска результатов наблюдений.

Элементы, к которым относятся допуски	Допуск при определении азимута с точностью	
	$\pm 5''$	$\pm 10''$
Разность в полуприеме между двумя наведениями на земной предмет	$\pm 8''$	$\pm 10''$
Колебание 2с в приеме	$\pm 10''$	$\pm 12''$

Продолжение таблицы 4

Разность величины $2c$ при наблюдении земного предмета и светила	$\pm 8''$	$\pm 10''$
Уход уровня при алидаде в приеме		
Расхождение значений азимутов, вычисленных в отдельных приемах	- $\pm 10''$	Не более одного деления $\pm 20''$

4.2 Определение астрономического азимута по часовому углу Полярной звезды со средней квадратической ошибкой $\pm 5''$ и $\pm 10''$

Определение азимута по Полярной звезде заключается в регистрации моментов времени наведения вертикальной нити сетки зрительной трубы теодолита на Полярную звезду и измерении горизонтального угла между Полярной звездой и местным предметом. Наблюдение Полярной звезды можно производить в течение всей ночи, а при наличии у инструментов хорошей оптики и днем. Не разрешается наблюдать Полярную звезду в течении 30 мин до и после восхода и захода Солнца. Перед определением азимута необходимо тщательно проверить перпендикулярность оси уровня при алидаде горизонтального круга к вертикальной оси вращения теодолита, а также перпендикулярность горизонтальной оси вращения трубы к вертикальной оси теодолита. Для регистрации времени используют секундомер. Определяется поправка часов (секундомера). Ориентирование прибора в меридиане и отыскание Полярной звезды выполняют в соответствии с рекомендациями, изложенными в «Общих положениях», раздел 4.1. При наблюдениях азимута с точностью $\pm 5''$ нивелирование теодолита производят перед наблюдением каждого приема. Отсчеты по уровню не берут.

Прием наблюдения азимута выполняют в следующем порядке.

Круг «лево» (КЛ):

- зрительную трубу наводят на земной предмет, снимают отчет по горизонтальному кругу;
- зрительную трубу наводят на Полярную звезду, снимают отсчеты по часам и горизонтальному кругу;
- зрительную трубу повторно наводят на Полярную звезду, снимают отсчеты по часам и горизонтальному кругу;
- зрительную трубу наводят на земной предмет, снимают отчет по горизонтальному кругу.

Переводят трубу через зенит и при круге «право» (КП) перечисленные действия повторяются.

При обработке наблюдений вычисляют:

- по отсчетам на земной предмет значения $2c$;

- T_{cp} в приеме разности $\Delta T = T_{cp} - T_i$;
- поправку хронометра для каждого приема наблюдений u до $0^s,1$ и $T_M = T_{cp} + u$;
- угол Q между земным предметом и Полярной звездой

$$Q = M - P,$$

где M – среднее из четырех отсчетов при наведении зрительной трубы на земной предмет при КЛ и КП;

P - среднее из четырех отсчетов при наведении зрительной трубы на Полярную звезду.

Результаты должны удовлетворять допускам, приведенным в таблице 4

Пример ведения журнала наблюдений приведен в таблице 5.

После обработки журнала наблюдений последовательно вычисляют:

- часовой угол Полярной звезды для момента наблюдения

$$t = (T_M - 3^h) + (T_M - 3^h) \cdot \mu + S_0 + - \alpha , \quad (16)$$

где T_M – момент наблюдения Полярной звезды по московскому времени;

$(T_M - 3^h) \cdot \mu$ - поправка за переход от среднего времени звездному (выбирается из таблицы 8 Каталога координат Солнца и ярких звезд);

S_0 – звездное время в 0^h Всемирного времени (выбирается из таблицы 1 Каталога);

λ - долгота пункта наблюдения (определяется по карте с точностью $\pm 5''$);

α - прямое восхождение Полярной звезды (выбирается из таблицы 3 Каталога);

- приближенный азимут Полярной звезды на средний момент ее наблюдения

$$\operatorname{tg} A_N = \frac{-m \sin t}{1 - n \cos t}, \quad (17)$$

где $m = \operatorname{ctg} \delta \cdot \sec$;

$n = \operatorname{ctg} \delta \cdot \operatorname{tg} \varphi$;

t – часовой угол;

δ - склонение (выбирается из таблицы 3 Каталога);

φ - широта пункта наблюдения (определяется по карте с точностью $\pm 5''$).

Таблица 5 – Пример ведения журнала полярной звезды

Направление 1 – 160 пир.

Дата: 29.11.06г.

Теодолит: Т2 № 1736

Часы: № 4312

Видимость: хорошая

Погода: тихо

Приём I

Объект наблюдения	'Т	Отсчеты ² L, R, и L*, R*	Среднее	Направления
КЛ				
№ 160 пир.	-	0°00'09" 10	10''	0°00'10"
Полярная звезда	15 ^h 06 ^m 05 ^s	120 44 37 35	36	120 44 36
Полярная звезда	15 08 16	120 44 37 38	38	120 44 38
№ 160 пир.	-	0 00 10 08	09	0 00 09
КП				
№ 160 пир.	-	18°00'08" 06	07''	180°00'07"
Полярная звезда	15 ^h 20 ^m 12 ^s	300 45 14 14	14	300 45 14
Полярная звезда	15 21 24	300 45 16 16	16	300 45 16
№ 160 пир.	-	180 00 12 12	12	180 00 12

$$\begin{aligned}
 T_{cp} &= 15^h 13^m 59^s & \Delta T_1 &= +7^m 54^s \quad 2c = -3'' \\
 Q &= 239^\circ 15' 14''; & \Delta T_2 &= +5 \ 43; \\
 u &= +6^s, 0; & \Delta T_3 &= -6 \ 13; \\
 & & \Delta T_4 &= -7 \ 25; \\
 T_M &= T_{cp} + u = 15^h 14^m 05^s
 \end{aligned}$$

– поправку ΔA_N к приближенному азимуту Полярной звезды

$$\Delta = -\operatorname{tg} A_N \frac{1}{4} \sum 2\rho'' \sin^2 \frac{\Delta T}{2} \quad (18)$$

(величины $2\rho'' \sin^2 \frac{\Delta T}{2}$ выбирают из таблицы по аргументу ΔT);

– исправленный поправкой азимут Полярной звезды по формуле

$$\alpha = A_N + \Delta A_N \quad (19)$$

и азимут земного предмета для каждого приема наблюдений

$$A = \alpha + Q; \quad (20)$$

² L, R, и L*, R* - отсчеты при КЛ и КП на земной предмет и звезду.

–среднее значение азимута земного предмета

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum A_i}{n}, \quad (21)$$

где n – число приемов наблюдений азимута.

Оценка точности определения азимута проводится по формуле

$$M_A = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}, \quad (22)$$

где $v = A_i - A_{\text{ср}}$.

Пример вычисления азимута приведен в таблице 6.

4.3 Определение астрономического азимута по часовому углу Солнца со средней квадратической ошибкой $\pm 10''$

Определение астрономического азимута осуществляется при высоте Солнца не более 50° . Наблюдения проводятся в утреннее и вечернее время, но не раньше чем через 30 минут после восхода Солнца и не позднее 30 минут до его захода.

Для регистрации времени используются палубные часы или секундомер, которые перед наблюдением устанавливаются по московскому времени. Наблюдение ведутся со светофильтром.

Прием наблюдения азимута выполняют в следующем порядке.

Круг «лево» (КЛ):

- зрительную трубу наводят на земной предмет и снимают отсчет по горизонтальному кругу;
- зрительную трубу наводят на левый или правый край Солнца, снимают отсчеты по часам и по горизонтальному кругу.

Круг «право» (КП):

- зрительную трубу наводят на правый или левый край Солнца, снимают отсчеты по часам и по горизонтальному кругу;
- зрительную трубу наводят на земной предмет и снимают отсчет по горизонтальному кругу.

Таблица 6 – Пример вычисления азимута по часовому углу Полярной звезды

	Обозначения	Прием I	Пояснения
1	2	3	4
1	T_M	$15^h 14^m 05^s$	Из журнала наблюдений

Продолжение таблицы 6

1	2	3	4
	$T_M - 3^h$	12 14 05	
3	$(T_M - 3^h)^\mu$	2 01	Из таблицы 8 Каталога
4	S_o	4 28 55	Из таблицы 1 Каталога
5	λ	2 46 58	Определяется по карте
6	s	19 31 59	(2) + (3) + (4) + (5)
7	α	2 05 55	Из таблицы 3 Каталога
8	t^h	17 26 04	(6) - (7)
9	t°	261°31'00"	
10	δ	89 08 26	Из таблицы 3 Каталога
11	φ	48 06 30	Определяется по карте
12	$-m \sin t$	+ 0,022 220	(13) x (14)
13	$\sin t$	- 0,989 059	
14	m	0,022 466	(16) x (15)
15	$\sec \varphi$	1,497 624	
16	$\text{ctg } \delta$	0,015 001	
17	$\text{tg } \varphi$	1,116 150	
18	n	0,016 743	(16) x (17)
19	$\cos t$	-0,147 522	
20	$n \cdot \cos t$	-0,002 470	(18) x (19)
21	$1 - n \cdot \cos t$	1,002 470	
22	$\text{tg } A_N$	+ 0,022 165	(12) : (21)
23	A_N	+1°16'11"	
24	$2^\rho \sin^2 \frac{\Delta T}{2}$	$\begin{cases} 122,5 \\ 64,1 \\ 75,9 \\ 108,0 \end{cases}$	Выбирается из приложения 8 Пособия, ч. II по аргументам $\Delta T_1, \Delta T_2, \Delta T_3, \Delta T_4$
25	Среднее	92,6	Среднее значение 2^ρ "
26	$-\text{tg } A_N$	-0,022	$\frac{\Delta T}{\sin^2 2}$
27	ΔA_N	- 2"	(26) x (26)
28	$a = A_N + \Delta A_N$	+1 16 09	(23) + (27)
29	Q	239 15 14	Из журнала наблюдений
30	A	240 31 23	(28) + (29)

При полевой обработке журнала наблюдений вычисляют:
– средний момент наблюдений Солнца

$$T_{cp} = \frac{T_{Л} + T_{П}}{2}; \quad (23)$$

где $T_{Л}$ – отчет по часам при наблюдении Солнца при круге «лево»;

$T_{П}$ – отчет по часам при наблюдении Солнца при круге «право»;

–значение горизонтального угла Q между направлениями на Солнце и земной предмет

$$Q = M - C, \quad (24)$$

где M – среднее из отсчетов при наведении зрительной трубы на земной предмет при КЛ и КП;

C – среднее из отсчетов при наведении на Солнце при КЛ и КП.

Результаты наблюдений должны удовлетворять допускам, приведенным в таблице 4

Пример ведения журнала наблюдений приведен в таблице 7.

После обработки журнала наблюдений последовательно вычисляют:

–часовой угол Солнца t для среднего момента наблюдения

$$t = T_{\circ} + (T_M - 3^h) + (T_M - 3^h)^h \cdot \Delta T_{\circ} + \lambda, \quad (25)$$

где T_{\circ} – часовой угол Солнца в 0^h Всемирного времени на меридиане Гринвича (выбирается из таблицы 1 Каталога на дату наблюдения);

ΔT_{\circ} – часовое изменение T_{\circ} (выбирается из той же таблицы);

$T_M = T_{cp} + u$ – московское время наблюдения Солнца с учетом поправки часов;

λ – долгота пункта наблюдения в часовой мере.

–Склонение Солнца в момент наблюдения

$$\delta = \delta_{\circ} + (T_M - 3^h)^h \cdot \Delta \delta_{\circ}, \quad (26)$$

где δ_{\circ} – склонение Солнца в 0^h Всемирного времени (выбирается из таблицы 1 Каталога);

$\Delta \delta_{\circ}$ – часовое изменение δ_{\circ} (выбирается из той же таблицы).

–азимут Солнца в момент наблюдения

$$\text{ctg } a' = x - \frac{y}{\sin t}, \quad (27)$$

где $x = \sin^{\theta} \cdot \text{ctg } t$;

$$y = \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta ;$$

φ - широта пункта наблюдения (снимается с карты 1 : 100 000 и крупнее);

t – часовой угол Солнца в момент наблюдения;

δ - склонение Солнца в момент наблюдения.

Таблица 7 – Пример ведения журнала Солнца
Направление Т2 – ОРП-5

Дата: 27.07.06г.

Теодолит: Т2 № 1736

Часы: № 4312

Видимость: *хорошая*

Погода: *тихо*

Прием I				
Объект наблюдения	T	Отсчеты L, R, и L*, R*	Среднее	Примечание
1	2	3	4	5
КЛ				
ОРП-5	-	0°00'17"	18"	U=+5 ^s ,4
☉	17 ^h 26 ^m 38 ^s	18	56	M= 0°00'19"
		132 18 55		C=132°19'12"
		56		Q = 227 41 07
				2c = -2"
КП				
☽	-	17 ^h 29 ^m 37 ^s	312°19'28"	28"
			27	20"
			180 00 19	
ОРП-5	-	20		

$$T_{cp} = 17^h 28^m 08^s; T_{M=cp} + u = 17^h 28^m 13^s,4$$

Наблюдатель _____
(подпись, фамилия)

Помощник _____
(подпись, фамилия)

Четверть, в которой лежит азимут a , определяется по знаку $\operatorname{ctg} a'$ и времени наблюдения. Если a в I четверти, азимут Солнца равен a' , во II четверти, - $180^\circ - a'$, в III четверти - $180^\circ + a'$ и в IV - $360^\circ - a'$;

–азимут на земной предмет из каждого приема наблюдения

$$A = a + Q, \quad (28)$$

– окончательное значение азимута земного предмета

$$A_{\text{ср}} = \frac{\sum A_i}{n}, \quad (29)$$

где n – количество приемов наблюдений.

Таблица 8 – Пример вычисления азимута по часовому углу Солнца $\varphi = 49^\circ 17' 30''$

.	Обозначения	Прием I	Пояснения
1	2	3	4
1	T_M	$17^{\text{h}}28^{\text{m}}13^{\text{s}},4$	Момент наблюдения (из журнала наблюдения)
2	δ_{\odot}	$19^\circ 24' 54''$	Склонение Солнца (из таблицы 1 каталога)
3	$\Delta \delta_{\odot}$	- 33,2	Часовое изменение (из таблицы 1 Каталога)
4	$(T_M - 3^{\text{h}})^{\text{h}}$	14,47	
5	$(T_M - 3^{\text{h}})^{\text{h}} \Delta \delta_{\odot}$	- 480'',4 = 8'00''	(3) x (4)
6	δ	$19^\circ 16' 54''$	(2) + (5)
7	T_{\odot}	$11^{\text{h}}53^{\text{m}}32^{\text{s}},7$	Уравнение времени (из таблицы 1 Каталога)
8	$(T_M - 3^{\text{h}})$	$14^{\text{h}}28^{\text{m}}13^{\text{s}},4$	(1)– 3 ^h
9	λ	$1^{\text{h}}54^{\text{m}}00^{\text{s}},0$	Долгота пункта (с карты)
10	ΔT_{\odot}	0,00	Часовое изменение (из таблицы 1 Каталога)
11	$(T_M - 3^{\text{h}})^{\text{h}} \Delta T_{\odot}$	0,00	(4) x (10)
12	t^{h}	4 15 46,1	(7) + (8) + (9) + (11)
13	t°	$63^\circ 56' 32''$	
14	$\sin \varphi$	+ 0,75 804	
15	$\text{ctg } t$	+ 0,48 898	
16	x	0,37 067	(14) x (15)
17	$\cos \varphi$	+0,65 221	
18	$\text{tg } \delta$	+0,34 984	
19	y	+0,22 817	(17) x (18)
20	$\sin t$	+0,89 899	
21	$\frac{y}{\sin t}$	+0,253 98	(19) : (20)

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4
22	$\text{ctg } a'$	+0,11 669	(16) – (21)
23	a'	83°20'40"	
24	Четверть III		Определяется по знаку $\text{ctg } a'$ и времени
25	a	263°20'40"	
26	Q	227°41'07"	Из журнала наблюдений
27	A	131°01'47"	Астрономический азимут (25) + (26)
28	$A_{\text{ср}}$	131 01 43,2	Окончательное значение астрономического Азимута
29	δA	+3,1	Поправка за уклон. отвесной линии: $\delta A \leq 3'',0$
30	A_{Γ}	131°01'46'',3	Азимут геодезический: $A_{\Gamma} = A + (L - \lambda) \sin \varphi$
31	γ	-1 00 12,2	Сближение меридианов: $\gamma'' = l'' \sin B''$, $l'' = L - L_0$, $L_0 = 6n - 3^\circ$, n – номер зоны
32	a	130 01 34,1	Дирекционный угол: $\alpha = A_{\Gamma} - \gamma$

Оценка точности определения окончательного значения азимута земного предмета проводится по формуле

$$M_A = \pm \sqrt{\frac{\sum v^2}{n(n-1)}}, \quad (20)$$

где $v = A_i - A_{\text{ср}}$.

Пример вычисления азимута земного предмета приведен таблице 8.

5 Определение координат точек методом трилатерации

Развитие геодезических сетей методом трилатерации производится в тех случаях, когда условия видимости исключают возможность измерения углов, но позволяют производить радиодальномерные измерения.

В трилатерации углы треугольников не должны быть менее 10° .

Определение пунктов из одиночных треугольников без контрольных измерений углов, а также из ряда треугольников, не опирающихся с двух концов на исходные стороны, не допускаются.

Средние квадратические погрешности измерения длин сторон должны обеспечивать заданную точность.

Вычисление координат пунктов трилатерации выполняется в три этапа: на первом по сторонам треугольников вычисляются углы, на втором – дирекционные углы, а на третьем – координаты.

Углы треугольников вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}\cos A &= \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc}; \\ \cos B &= \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}; \\ \cos C &= \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab},\end{aligned}\tag{21}$$

где A , B и C – углы треугольника; a , b и c – противолежащие им стороны.

Стороны выражаются в километрах с сохранением четырех десятичных знаков. В величинах a^2 , b^2 , c^2 , $2ab$, $2ac$ и $2bc$ сохраняются шесть, а при вычислении углов менее 60° и более 120° – семь значащих цифр.

Сумма вычисленных углов $A + B + C$ не должна отличаться от 180° более чем на $2''$.

Возникающую на пунктах невязку горизонта, пункт 1, рисунок 19, распределяют с обратным знаком пропорционально квадратам величин углов.

Порядок вычислений дан на примере сети трилатерации, (см. рисунок 19), включающей три основных и два определяемых пункта. Координаты исходных пунктов, длины и дирекционные углы исходных сторон приведены в таблице 9.

Таблица 9 - Исходные данные

Номер исходных пунктов	Название пунктов	Координаты х, м у, м	Дирекционные углы	Длины сторон
1	2	4	4	5
I	Оренбург	6 587 223,3 7 456 209,6	$314^\circ 19' 52''$	2 555,8

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

II	Орск	6 589 644,6 7 455 391,5	91 36 41	4 640,7
III	Павловка	6 589 514,1 7 460 030,4		

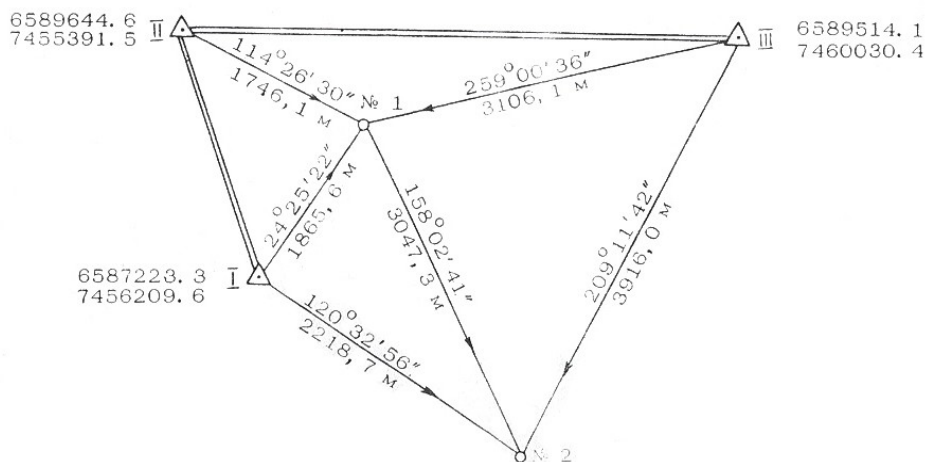


Рисунок 19 - Схема сети трилатерации

Вычисление углов треугольников выполняют в ведомости по форме таблицы 10, а дирекционных углов – таблицы 11.

Таблица 10 - Вычисление углов треугольников

Наим-ние вершин уг- лов	2 ав 2 ас 2 вс	Угол	Треугольник
1	2	3	4
II	16,20625	$22^{\circ}49'33''$	
III	28,82896	12 35 46	
I	10,84712	144 34 41 180 00 00	
III	24,3270	49 48 57	

Продолжение таблицы 10

1	2	3	4
---	---	---	---

2		51 08 36	
	23,8665	14	
1		79 02 27	
	18,93,04	180 00 00	
		-5	
1	11,3701	46 22 49	
2	13,5221	37 29 50	
1	8,27841	96 07 21	
		180 00 00	
		43 05 37	
I	9,53620	46 52 55	
II	8,92536	-18	
		90 01 28	
1	6,51505	180 00 00	

Невязка горизонта на пункте 1 = + 1'25".

Таблица 11 – Вычисления дирекционных углов сети

Направление	Значение направлений	Исходные дирекционные углы	Ориентированные направления	Дирекционные углы
1	2	3	4	5
I. Тополевка				
I - II	0°0'0"	341°19'52"	341 19 52	
- 1	43 05 37		24 25 29	24 25 22

Продолжение таблицы 11

1	2	3	4	5
- 2	139 12 58		120 32 50	120 32 56

$Z_R=341\ 19\ 52$				
II. Бровничи				
II - III	0 0 0	91 36 41	91 37 02	
II - I	22 49 33		114 26 35	114 26 30
II - I	69 42 28	161 19 52		
	$Z_R=91\ 37\ 02$	91 36 41		
III. Андреевка				
III - 2	0 0 0		209 11 58	209 11 42
III - 1	49 48 57		259 00 55	259 00 36
III - II	62 24 43	271 36 41		
	$Z_R=209\ 11\ 58$			
№ 1				
1 - 1	0 0 0	204 25 29	204 25 15	204 25 22
- II	90 01 10	294 26 35	294 26 25	294 26 32
- III	234 35 03	79 00 55	79 00 18	79 00 36
-2	313 37 16		158 02 31	158 02 41
	$Z_i = 204\ 25\ 15$	204 25 29		
		25 25		
		24 52		
№ 2				
2-1	0 00 00	300 32 50	300 33 01	300 32 56
-1	37 29 50	338 02 31	338 02 51	338 02 41
-III	88 38 26	29 11 58	29 11 27	29 11 42
	$Z_i = 300\ 33\ 01$	300 32 50		
		32 41		
		33 32		

Для вычисления координат пунктов сети трилатерации на схему, (см. рисунок 19) вписывают вычисленные дирекционные углы направлений на определяемые пункты и измеренные расстояния до них. Вычисления координат выполняют в ведомости, (см. таблицу 12) по всем имеющимся направлениям. За окончательные значения берут средние из них. Расхождения между вычисленными значениями координат определяемого пункта не должны превышать полуторной величины заданной средней квадратической погрешности координат $m_{x,y}$ создаваемой сети.

Таблица 12 – Вычисление координат пунктов трилатерации

Номер определяемых пунктов	x_m	y_m	Исходные пункты
1	2	3	4
1	6 588 922,1	7 456 981,1	I

Продолжение таблицы 12

1	2	3	4
	22,0	81,0	II

	22,0	81,3	III
Средние	6 588 922,0	7 456 981,1	
2	6 586 095,6	7 458 120,3	I
	95,6	20,2	III
	95,7	20,4	№ 1
Среднее	6 586 095,6	7 458 120,3	

Список использованных источников

1. Инженерная геодезия./под ред. Михелева Д.Ш.-М. Высшая школа 2001.- 464с.
2. Инженерная геодезия: учебное пособие для ВУЗов / под ред. И.П. Интулова , Воронежский гос. арх.- строит. Университет. – Воронеж, 2001.- 273с.
3. Руководство по астрономическим определениям : ГКИНП – 01 – 153 – 81 Главное управление геодезии и картографии , Москва, 1984 – 382с.