

**Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия
(СибАДИ)»**

Кафедра «Геодезия»

ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АСТРОНОМИЯ

**Методические указания
к лабораторным работам**

Составитель А.В. Виноградов

Омск • 2016

УДК 523 : 528
ББК 26.11
Г46

Рецензент С.И. Шевцов (ООО «Геослужба», г. Омск)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве методических указаний.

Г46 Геодезическая астрономия [Электронный ресурс] : методические указания к лабораторным работам / сост. А.В. Виноградов. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2016. – Режим доступа:....., свободный после авторизации. – Загл. с экрана.

Излагается методика выполнения лабораторных работ обучающимися по дисциплине «Геодезическая астрономия».

К лабораторным работам дается материал в объеме, необходимом для выполнения заданий. Представлены задания и примеры решения задач по выполнению лабораторных работ.

Имеют интерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначены для обучающихся направления «Геодезия и дистанционное зондирование» профиль «Геодезия».

Текстовое (символьное) издание (350 КБ)

Системные требования : Intel, 3,4 GHz ; 150 МБ ; Windows XP/Vista/7 ; DVD-ROM ;
1 Гб свободного места на жестком диске ; программа для чтения pdf-файлов
Adobe Acrobat Reader ; Google Chrome

Редактор И.Г. Кузнецова

Техническая подготовка – Т.И. Кукина

Издание первое. Дата подписания к использованию 28.10.2016

Издательско-полиграфический центр СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5
РИО ИПЦ СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Геодезическая астрономия – раздел астрономии, в котором изучаются теория и способы определения географических координат точек земной поверхности и азимутов направлений из наблюдений небесных светил. Светила в геодезической астрономии играют роль опорных точек с известными координатами, подобно опорным точкам на Земле. Положения светил задаются в определенной системе координат и в определенной системе измерения времени. Геодезическая астрономия изучает также устройство и теорию инструментов, используемых для астрономических наблюдений, и методы математической обработки астрономических определений.

Основные моменты использования в геодезии результатов астрономических определений следующие.

1. Астрономические определения совместно с результатами геодезических и гравиметрических измерений позволяют: установить исходные геодезические даты; обеспечить ориентировку государственной геодезической сети, а также осей референц-эллипсоида в теле Земли; определить параметры земного эллипсоида; определить высоты квазигеоида относительно референц-эллипсоида.

2. Определение из астрономических наблюдений составляющих отклонения отвесной линии необходимо для установления связи между геодезической и астрономической системами координат, приведения измерений к принятой эпохе отсчета координат и гравитационного потенциала, правильной интерпретации результатов повторного геометрического нивелирования, изучения внутреннего строения Земли.

3. Астрономические определения азимутов направлений на земной предмет после введения поправок за отклонения отвесных линий контролируют в государственной геодезической сети угловые измерения, обеспечивают постоянство ориентировки геодезических сетей, ограничивают и локализуют действие случайных и систематических погрешностей в угловых измерениях.

4. В районах со слабо развитой геодезической сетью астрономические пункты с учетом данных о гравитационном поле используются как опорные для топографических съемок.

5. Астрономические определения азимутов выполняются для определения дирекционных углов направлений на ориентирные пункты при утрате наружных геодезических знаков.

6. Астрономические определения географических координат являются средствами абсолютного определения положений объектов, движущихся относительно земной поверхности на море и в воздухе.

7. Методы геодезической астрономии применяются в космических исследованиях и космической навигации.

8. Астрономические определения географических координат и азимутов направлений используются в прикладной геодезии для контроля угловых измерений в полигонометрических ходах и других угловых построениях, при эталонировании точных гироскопических приборов, для фиксирования на местности положения меридиана при топографо-геодезическом обеспечении войск.

Лабораторная работа 1

ЗНАКОМСТВО С КАРТОЙ ЗВЕЗДНОГО НЕБА И АСТРОНОМИЧЕСКИМ ЕЖЕГОДНИКОМ

Цели: разобраться с содержанием карты, найти знакомые созвездия, научиться определять координаты звёзд по карте; ознакомиться с содержанием астрономического ежегодника (АЕ).

Исходные материалы:

- карты звёздного неба;
- астрономический ежегодник.

В результате необходимо знать название таблиц АЕ и их содержание.

Основные таблицы АЕ: звёздное время в Гриническую полночь, таблицы Солнца, Солнце, название созвездий, средние места звёзд, средние места вблизи полюсных звёзд, видимые места звёзд, видимые места вблизи полюсных звёзд, вспомогательные таблицы (рефракция).

Выполнение заданий:

1. На карте звёздного неба выбрать две звезды – одну в эклиптических созвездиях, другую – вблизи полюсных созвездий, записать названия созвездий и обозначения звёзд. Звёзды по яркости выбирать не менее третьей величины.

2. Определить по карте прямое восхождение и склонение каждой звезды, выбранные значения занести в таблицу.

3. Найти выбранные звёзды в АЕ и выписать их экваториальные координаты с округлением до секунд.

4. Найти погрешности определения координат звёзд по карте.
5. Вычислить разности прямых восхождений и склонений звёзд, выбранные из АЕ. Перевести разности прямых восхождений звёзд в градусную меру, а разности склонений – в часовую меру.
6. Перевести прямые восхождения звёзд из часовой меры в градусную, склонения – из градусной в часовую и повторно вычислить разности. Сравнить полученные новые разности с вычисленными в пункте 5. Расхождения не допускаются.

Контрольные вопросы

1. Как определить по карте прямое восхождение звезды?
2. Как определить по карте склонение звезды?
3. Как найти погрешности определения координат звёзд по карте?
4. Как вычислить разности прямых восхождений и склонений звёзд?
5. Как перевести прямые восхождения звёзд из часовой меры в градусную?

Лабораторная работа 2

ПЕРЕВЫЧИСЛЕНИЕ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ. ВЫЧИСЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КООРДИНАТ В ПРОИЗВОЛЬНЫЙ МОМЕНТ ВРЕМЕНИ

Цель: вычислить горизонтальные координаты в произвольный момент времени.

Задание 1. Вычислить азимут и зенитное расстояние звезды $\xi U Ma$ (номер 325 по АЕ).

Исходные данные:

- широта пункта в г. Омске $\varphi = 55^{\circ} 01' 25''$ (стадион);
- звёздное время студент вычисляет по формулам:
 - 1-я группа (специалисты): $s = 2^h 50^m + 10^m \cdot \text{№}$;
 - 2-я группа (бакалавры): $s = 19^h 50^m + 10^m \cdot \text{№}$,

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Номер необходимо обязательно уточнить перед началом вычислений.

Вычисления выполнять до секунд. Результаты представлять в градусах, минутах и секундах (табл. 1). В долях градусов или часа работы не принимаются.

Таблица 1

Работа с картой и астрономическим ежегодником

| Название звёзды | Данные с карты | | Данные из АЕ | | Преобразованные координаты | |
|-----------------|-------------------------------------|---|---|---|---|---|
| | Прямое восхождение α (альфа) | Склонение δ (дельта) ($^{\circ}, ', ''$) | Прямое восхождение α (альфа) (h, m, s) | Склонение δ (дельта) ($^{\circ}, ', ''$) | Прямое восхождение α (альфа) ($^{\circ}, ', ''$) | Склонение δ (дельта) (h, m, s) |
| | | | $11^h 17^m 25^s$ | | | |
| Расхождения | | | | | | |
| | Карты с АЕ | | $\Delta \alpha (h, m, s)$ | $\Delta \delta (^{\circ}, ', '')$ | $\Delta \alpha (^{\circ}, ', '')$ | $\Delta \delta (h, m, s)$ |
| | $\Delta \alpha$ | $\Delta \delta$ | | | | |
| | | | $\Delta \alpha (^{\circ}, ', '')$ | $\Delta \delta (h, m, s)$ | | |

Задание 2. Решить параллактический треугольник.

Порядок работы:

1. Вычислить звёздное время s по приведённой формуле.
2. Выбрать из АЕ в таблице средние места звёзд, экваториальные координаты звезды $\xi U Ma$ (номер 325 по АЕ).
3. Записать данные в табл. 2.
4. Выполнить вычисления.
5. Расхождение в контрольных вычислениях не более $2 \cdot 10^{-5}$.

Решение параллактического треугольника представлено на рис. 1.

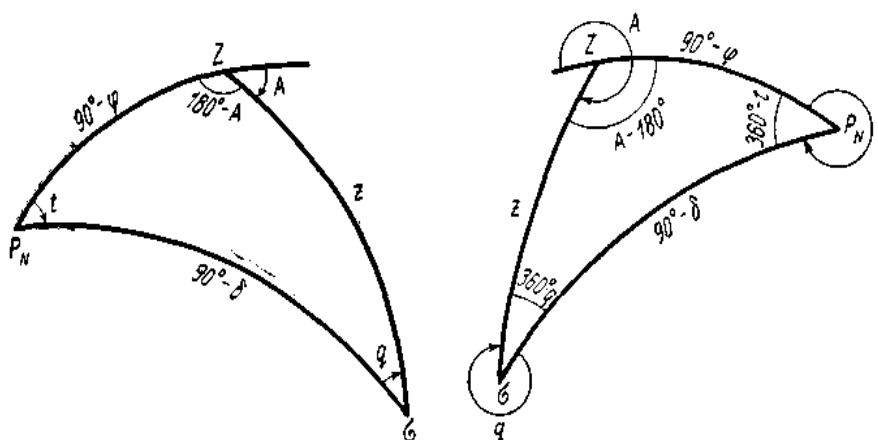


Рис. 1. Решение параллактического треугольника

Формулы для вычислений:

$$t = s - \alpha; \text{ если } t > 24^h, \text{ то } -24^h, \text{ если } t < 0^h, \text{ то } +24^h.$$

$$t^\circ = t^h \cdot 15 - \text{перевод в градусы.}$$

$$\operatorname{tg} N = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\cos t};$$

$$\operatorname{tg} A = \frac{\operatorname{tg} t \cos N}{\sin(\varphi - N)};$$

$$\operatorname{tg} z = \frac{\operatorname{tg}(\varphi - N)}{\cos A}.$$

$$A_{\text{маб}} = 180^\circ - |A| \text{ при } t < 12^h;$$

$$A_{\text{маб}} = 180^\circ + |A| \text{ при } t > 12^h.$$

$$\text{Контроль } |\sin z \cdot \sin A| - |\sin t \cos \delta| < 2 \cdot 10^{-5}.$$

Таблица 2

Вычисление горизонтальных координат звезды

| $s =$ | $\alpha =$ | $\delta =$ | АЕ года |
|--|------------|----------------------------------|------------|
| Схема вычислений | | | |
| Формулы | Вычисления | Формулы | Вычисления |
| s | | $\operatorname{tg}(\varphi - N)$ | |
| α | | $\cos A$ | |
| t^h | | $\operatorname{tg} z$ | |
| t° | | z | |
| $\operatorname{tg} \delta$ | | Контроль | |
| $\cos t$ | | $\sin z$ | |
| $\operatorname{tg} N$ | | $\sin A$ | |
| N | | $I = \sin z \cdot \sin A$ | |
| φ | | $\cos \delta$ | |
| $\varphi - N$ | | $\sin t$ | |
| $\operatorname{tg} t$ | | $II = \cos \delta \cdot \sin t$ | |
| $\cos N$ | | | |
| $\sin(\varphi - N)$ | | $I - II$ | |
| $\operatorname{tg} A_{\text{вычисл}}$ | | | |
| $A_{\text{вычисл}}$ | | | |
| A | | | |
| N – вспомогательная величина, выражается в градусах, минутах и секундах. | | | |

Контрольные вопросы

1. Как вычислить азимут звезды?
2. Как вычислить зенитное расстояние звезды?
3. Как вычислить звёздное время?
4. Как вычислить горизонтальные координат звезды?

Лабораторная работа 3

ПЕРЕВЫЧИСЛЕНИЕ ЭКВАТОРИАЛЬНЫХ КООРДИНАТ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ КООРДИНАТ ЗВЁЗД В МЕРИДИАНЕ, ПЕРВОМ ВЕРТИКАЛЕ И ЭЛОНГАЦИЯХ

Цель: определить горизонтальные координаты звёзд в меридиане, первом вертикале и элонгациях.

Пример 1. Выбор двух звезд.

Исходные данные представлены в табл. 3.

Таблица 3

Исходные данные

| Группа | Широта (для при- меров 1, 2, 3) | Прямое восхожде- ние α для двух звёзд | Склонение δ для двух звёзд |
|--------|---------------------------------------|---|--|
| 1-я | $50^{\circ} 22' 43'' + 15' \cdot N_0$ | $(N-1) < \alpha < N$ | $-15^{\circ} < \delta_1 < (\varphi - 2^{\circ});$ $(\varphi + 4^{\circ}) < \delta_2 < 82^{\circ}$ |
| 2-я | $50^{\circ} 16' 25'' + 10' \cdot N_0$ | $(N-10) < \alpha < (N-9)$ | $-15^{\circ} < \delta_1 < (\varphi - 2^{\circ});$ $(\varphi + 4^{\circ}) < \delta_2 < 82^{\circ}$ |

Формулы для вычислений координат в меридиане представлены в табл. 4.

Таблица 4

Формулы для вычислений координат в меридиане

| Верхняя кульминация | | Нижняя кульминация | |
|------------------------|------------------------|--|--|
| 1-я звезда | 2-я звезда | 1-я звезда | 2-я звезда |
| $S = \alpha$ | $S = \alpha$ | $S = \alpha \pm 12h$ | $S = \alpha \pm 12h$ |
| $Z = \varphi - \delta$ | $Z = \varphi - \delta$ | $Z = 180^{\circ} - (\varphi + \delta)$ | $Z = 180^{\circ} - (\varphi + \delta)$ |
| $A = 0^{\circ}$ | $A = 180^{\circ}$ | $A = 180^{\circ}$ | $A = 180^{\circ}$ |

Пример 2. Прохождение светилом первой вертикали.

Исходные данные:

1-я группа: $\alpha = \alpha_1 + 6^h$, склонение $5^\circ < \delta < (\varphi - 5^\circ)$;

2-я группа: $\alpha = \alpha_1 - 6^h$, склонение $5^\circ < \delta < (\varphi - 5^\circ)$.

Рабочие формулы:

$$\cos t = \frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \varphi};$$

$$\cos z = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi};$$

$$S_w = t + \alpha;$$

$$S_E = \alpha - t.$$

Пример 3. Элонгация светила.

Исходные данные:

1-я группа: $\alpha = \alpha_1 - 6^h$, склонение $\delta > (\varphi + 6^\circ)$;

2-я группа: $\alpha = \alpha_1 + 6^h$, склонение $\delta > (\varphi + 6^\circ)$,

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Рабочие формулы:

$$\sin t = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \delta};$$

$$\cos z = \frac{\sin \varphi}{\sin \delta};$$

$$\sin \alpha = \frac{\cos \delta}{\cos \varphi};$$

$$A_w = 180^\circ - \alpha; A_E = 180^\circ + \alpha;$$

$$t_w = t; t_E = -t; S_w = t_w + \alpha; S_E = \alpha - t_E.$$

Задание 1. Перевести время из одной системы счёта в другую.

Постоянные: $\mu = 0,002737909$;

$$v = 0,0027304336;$$

$$\lambda = 4^h 53^m 13,02^s.$$

Вычисления выполнять до $0,01^s$.

Вычислить звёздное время s по среднему времени m .

Сделать обратный перевод из s в m .

Исходные данные:

1-я группа: $m = 0,5(\text{№})^h + 19^m 15,73^s + (\text{№})^s$;

2-я группа: $m = 0,5(\text{№})^h + 21^m 02,65^s + (\text{№})^s$,

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Рабочие формулы:

$$s = t + \mu \cdot t;$$

$$t = s - \nu \cdot s.$$

Задание 2. Перевести местное среднее время в местное звёздное время (2 варианта).

Исходные данные:

1-я группа: $t = (\text{№})^h + 3^m(\text{№}) + 35,79^s$; дата (№) июня.

2-я группа: $t = (\text{№})^h + 2^m(\text{№}) + 24,68^s$; дата (№) июня,

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Рабочие формулы:

– для табл. 1 (в рабочей тетради) $s = t + \mu \cdot t + S_0 - \mu\lambda$;

– для табл. 2 (в рабочей тетради) $s = t - \lambda + \mu \cdot M + S_0 + \lambda$;

$M = t - \lambda$, где S_0 – звёздное время в Гриническую полночь.

Задание 3. Перевести местное звёздное время в местное среднее время (3 варианта).

Исходное время: к местному звёздному времени примера 2 прибавить 12 часов: $s_3 = s_2 + 12^h$.

Рабочие формулы:

– для табл. 1 (в рабочей тетради) $t = s - s_0 - \nu(s - s_0) + \nu\lambda$;

– для табл. 2 (в рабочей тетради) $t = s - s_0^* - \nu(s - s_0^*) + \nu(\nu(\lambda))$;

$s_0^* = s_0 - \nu\lambda$, где s_0^* – звездное время в местную полночь;

– для табл. 3 (в рабочей тетради) $t = s - \lambda - s_0 - \nu(S - S_0) + \lambda$;

$S = s - \lambda$; $M = S - S_0 - \nu(S - S_0)$, здесь расхождение не более $0,02^s$.

При расхождении в третьем варианте на 3^m55^s взять S_0 на предыдущую дату.

Задание 4. Перевести среднее время в истинное.

Исходные данные:

1-я группа: $t = 18^h + 11^m(\text{№}) + 35,152^s$; дата № декабря, 20.. года.

2-я группа (не выполняет),

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Рабочая формула:

$$M = t - \lambda,$$

где M – время в часах и его долях, вычислять до четвёртого знака после запятой.

Вычисления выполнять до 0,001 с.

Из АЕ выбрать уравнение времени на свою и на следующую даты E_0 и E_1 и часовые изменения времени V_0 и V_1 – третий столбец.

Рабочие формулы:

$$\begin{aligned}E &= E_0 + (M)^h v_0 + \Delta E; \\ \Delta E &= (V_1 - V_0) \cdot ((M)^h)^2 / 48; \\ t_{\odot} &= E + m.\end{aligned}$$

Задание 5. Перевод из истинного времени в среднее.

Выполнить обратный перевод. Формулы – аналогичные заданию 4.

Для задания 5 берём t_{\odot} из задания 4 и изменяем его на 12^h .

$t_{\odot} = t_{\odot} + 12^h$, дата (31– №) декабря 20.. года, где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Формулы – из задания 4.

Вычисления выполнять до 0,001 с.

$$\begin{aligned}T_{\odot} &= t_{\odot} - \lambda; \\ M &= T_{\odot} - E_0,\end{aligned}$$

где M – время в часах и его долях.

Из АЕ выбрать уравнение времени на свою E_0 и на следующую дату и E_1 и часовые изменения времени V_0 и V_1 – третий столбец.

$$\begin{aligned}E &= E_0 + (M)^h v_0 + \Delta E; \\ \Delta E &= (V_1 - V_0) ((M)^h)^2 / 48; \\ m &= t_{\odot} - E.\end{aligned}$$

Задание 6. Вычислить по декретному времени местное среднее время.

Выполнить обратное вычисление.

Исходные данные:

1-я группа: $D = N_{\odot}^h + 2^m N_{\odot} + 35,48^s$; дата № декабря (зимнее время).

2-я группа: $D = 3^h + N_{\odot}^h + 3^m \cdot N_{\odot} + 15,87^s$; дата № декабря (зимнее время),

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Рабочие формулы:

$$m = D - (N+1) + \lambda;$$
$$D = m - \lambda + (N + 1) .$$

Задание 7. Вычислить по декретному времени местное звёздное время.

Выполнить обратное вычисление.

Исходные данные:

1-я группа: $D = N^h + 2^m N^s + 35,48^s$; дата № декабря (зимнее время).

2-я группа: $D = 3^h + N^h + 3^m N^s + 15,87^s$; дата № декабря (зимнее время),

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Рабочие формулы:

$$M = D - (N+1);$$
$$s = M + \mu M + S_0 + \lambda;$$
$$S = s - \lambda;$$
$$M = S - S_0 - \nu (S - S_0);$$
$$D = M + (N+1).$$

Расхождения между результатами прямого и обратного перевычислений не допускаются.

Задание 8. Интерполировать координаты Солнца и звёзд.

Вычислить параллакс и рефракцию.

Задание 8.1. Интерполировать координаты Солнца.

Исходные данные:

1-я группа: $m = 6^h + 16^m N^s + 10^s \cdot N^s$; дата № мая 20 г.

2-я группа: $m = 12^h + 23^m N^s + 07,5^s \cdot N^s$; дата № мая 20 г.,

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Из АЕ выписать: прямые восхождения $\alpha_0 = \dots$; $\alpha_1 = \dots$, склонения $\delta_0 = \dots$; $\delta_1 = \dots$, часовые изменения склонений $\nu_{0,\delta}$, $\nu_{1,\delta}$ и часовые изменения уравнения времени $\nu_{0,E}$, $\nu_{1,E}$ (выбрать из АЕ на свою и следующую даты).

Рабочие формулы:

$$M = m - \lambda;$$
$$V_\alpha = 9,856^s - \nu_E;$$

$$\alpha = \alpha_0 + (v_{0,\alpha} + (v_{1,\alpha} - v_{0,\alpha})\eta/48)\eta;$$

$$\delta = \delta_0 + (v_{0,\delta} + (v_{1,\delta} - v_{0,\delta})\eta/48)\eta;$$

$$D_\alpha = v_{1,\alpha} - v_{0,\alpha};$$

$$D_\delta = v_{1,\delta} - v_{0,\delta};$$

$$v_\alpha = v_{0,\alpha} + (v_{1,\alpha} - v_{0,\alpha})\eta/48;$$

$$v_\delta = v_{0,\delta} + (v_{1,\delta} - v_{0,\delta})\eta/48.$$

Задание 8.2. Интерполировать видимые места вблизи полюсных звёзд.

Звезда α U Min (№ 4).

1-я группа: $s = (14^h 48^m) + (\text{№})^h$, № – март 20... г.

2-я группа: $s = (2^h 15^m) + (\text{№})^h$, № – март 20... г.,

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

В АЕ из таблицы вблизи полюсных звёзд выбрать прямое восхождение и склонение Полярной на три даты: на текущую дату, на предшествующий день и на последующий день. Порядок выполнения – в приложениях АЕ.

Задание 8.3. Вычислить параллакс и астрономическую рефракцию.

Исходные данные: дата № июля 20...г.

1-я группа: $z' = 48^\circ 12' 35'' + 10' \cdot \text{№}$.

2-я группа: $z' = 49^\circ 37' 48'' + 10' \cdot \text{№}$,

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Рабочие формулы:

$$p = P_0 \cdot \sin z';$$

$$z = z' - p,$$

где P_0 – суточный параллакс Солнца (выбрать из АЕ).

Вычислить рефракцию для видимого зенитного расстояния.

Исходные данные для двух групп: $t \text{ }^\circ\text{C} = (-20 \text{ }^\circ\text{C} + 0,5 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{№})$;

$p = (720 + \text{№})$ (мм рт. ст.).

1-я группа: $z' = 64^\circ 12' 35'' + 10' \cdot \text{№}$.

2-я группа: $z' = 69^\circ 37' 48'' + 10' \cdot \text{№}$,

где № – порядковый номер студента в списке группы в журнале преподавателя.

Рефракцию вычислять по АЕ и по формулам:

$$\rho_0 = 60'',17 \operatorname{tg} z' - 0'',052 \operatorname{tg}^3 z' + 0'',00013 \operatorname{tg}^5 z';$$

$$\rho = \rho_0 \left(\frac{p}{760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} \right),$$

где p – атмосферное давление, мм рт. ст.

$$\alpha = \frac{1}{273}; \quad z = z' + \rho.$$

Задание 9. Определить астрономический азимут по измеренному часовому углу.

Задания студентам даются индивидуально.

Рабочие формулы:

$$b = \frac{(L_1 + \Pi_1) + (L_2 + \Pi_2)}{2};$$

$$\Delta_Z = \Delta_R = b \cdot \operatorname{ctg} z \cdot \frac{\tau''}{2};$$

$$Z = 90^\circ - \varphi + I;$$

$$x = \frac{(L_1 - L_2) + (\Pi_1 - \Pi_2)}{2};$$

$$T = D - (N + 2) + S_0 + \mu(M) + \lambda;$$

$$t^h = T - (\alpha - u); \quad \Delta = 90^\circ - \delta;$$

$$\operatorname{tga}' = -\frac{m \cdot \sin t}{1 - n};$$

$$m = \operatorname{tg} \Delta \cdot \sec \varphi;$$

$$n = \operatorname{tg} \Delta \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \cos t;$$

$$v = \frac{1}{1 - n};$$

$$\delta \alpha = 0,32'' \cdot \cos \varphi \cdot \operatorname{cosec} z;$$

$$(Z) = (Z' + \Delta Z);$$

$$(R \pm 180^\circ) = (R' \pm 180^\circ) + \Delta R;$$

$$N_Z = (Z) - a;$$

$$N_R = (R \pm 180^\circ) - a;$$

$$a_{3,n} = N_d - N_z;$$

$$a_{3,n} = N_d - N_R;$$

$$a_{cp} = \frac{[a_{3.n}]}{4}; m_a = \sqrt{\frac{[v^2]}{n-1}}; M_a = \frac{m_a}{\sqrt{n}}.$$

Задание 10. Определить азимут земного предмета по измеренным зенитным расстояниям Солнца.

Задания студентам даются индивидуально.

Рабочие формулы:

$$\begin{aligned} z &= z' + \rho; \\ \Delta &= 90^\circ - \delta_{\odot}; \\ 2p &= z + \Delta + \Phi; \\ m^2 &= \frac{\sin(p-z) \cdot \sin(p-\Phi) \sin(p-\Delta)}{\sin(p)}; \\ \operatorname{tg} \frac{A}{2} &= \frac{m}{\sin(p-\Delta)}; \\ \operatorname{tg} \frac{q}{2} &= \frac{m}{\sin(p-\Phi)}; \\ \operatorname{tg} \frac{t}{2} &= \frac{m}{\sin(p-z)}; \\ \operatorname{tg} \frac{A}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{t}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{q}{2} &= \frac{m}{\sin p}; \\ u &= m - T; \\ Q &= N_{3.n} - N_{\bullet}. \end{aligned}$$

Когда Солнце на западе, используют формулы

$$\begin{aligned} N &= N_{\ominus} + A_{\bullet}; \\ A_{3II} &= N_{3.n} - N_{\ominus} - A_{\ominus}. \end{aligned}$$

Когда Солнце на востоке, используют формулы

$$\begin{aligned} N &= N_{\ominus} - A_{\bullet}; \\ A_{3II} &= N_{3.n} - N_{\ominus} + A_{\ominus}. \end{aligned}$$

Поясняющие схемы для вычислений азимута представлены на рис. 2.

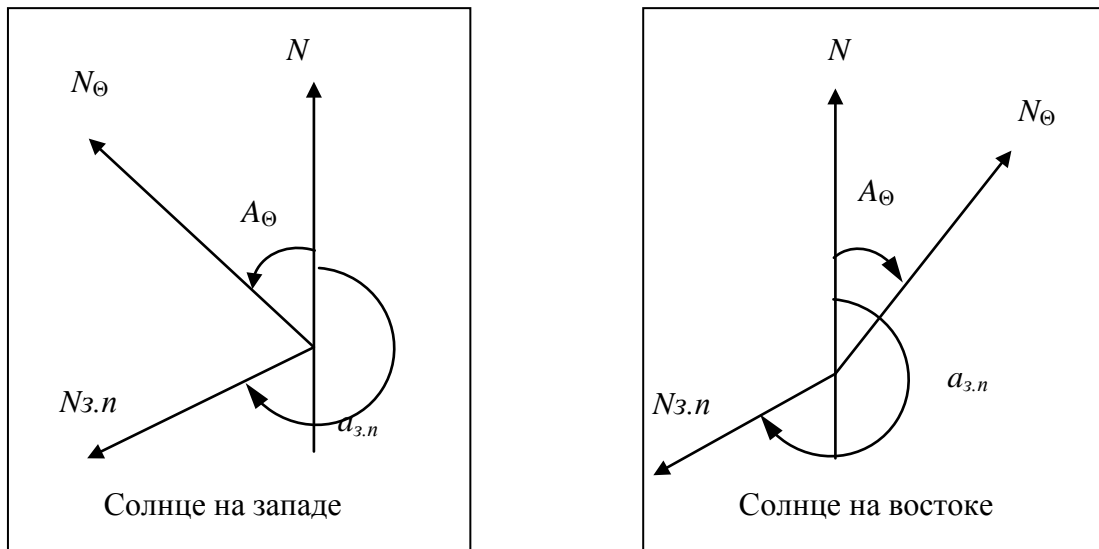


Рис. 2. Поясняющие схемы для вычислений азимута

Контрольные вопросы

1. Как перевести время из одной системы счёта в другую?
2. Как перевести время из местного среднего в местное звёздное?
3. Как перевести время из местного звёздного в местное среднее время?
4. Как перевести среднее время в истинное?
5. Как перевести время из истинного в среднее?
6. Как вычислить по декретному времени местное среднее время?
7. Как вычислить по декретному времени местное звёздное время?
8. Как вычислить параллакс и рефракцию?
9. Как определить астрономический азимут по измеренному часовому углу?
10. Как определить азимут земного предмета по измеренным зенитным расстояниям Солнца?

Библиографический список

1. *Герасименко, С.П.* Таблицы для перевычисления плоских прямоугольных координат Гаусса из одной зоны в другую / С.П. Герасименко, А.В. Буткевич. – М. : Недра, 1976. – 40 с.
2. *Лесных, Н.Б.* Теория математической обработки геодезических измерений. Метод наименьших квадратов : учебное пособие / Н.Б. Лесных. – Новосибирск : СГГА, 2003. – 60 с.
3. *Маркузе, Ю.И.* Основы метода наименьших квадратов и уравнительных вычислений : учеб. пособ. / Ю.И. Маркузе. – М. : МИИГАиК, 2005. – Кн. 2. – 280 с.
4. *Мицкевич, В.И.* Геодезическая астрономия : учебно-методический комплекс / В.И. Мицкевич. – Новополоцк, 2014. – 96 с.
5. *Поклад, Г.Г.* Геодезия : учебное пособие для вузов / Г.Г. Поклад, С.П. Гриднев. – 2-е изд. – М. : Академический Проект, 2013. – 592 с.
6. Таблицы для вычисления плоских конформных координат Гаусса в пределах широт от 30 до 80 °. – М. : Геодезиздат, 1958. – 120 с.
7. Параметры земли 1990 года (ПЗ–90.11). Справочный документ / Военно-топографическое управление генерального штаба Вооруженных сил Российской Федерации. – М., 2014. – 52 с.